

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
им. акад. А.Н. Заварицкого

А. И. Малышев

Жизнь вулкана

Екатеринбург
2000

Малышев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000.
ISBN 5-7691-1071-6.

В основу работы положены многолетние наблюдения автора за процессом извержений одного из наиболее активных вулканов Камчатки – вулкана Безымянного. В ходе исследований выявлены некоторые закономерности развития вулканического процесса. Они проанализированы, обобщены и дополнены в теоретической части работы. Обосновывается, что источником движения вулканического процесса является динамическая активность магматических систем в приповерхностных условиях, возникающая как следствие выделения из расплава кристаллической и газовых фаз. Развитие вулканического процесса реализуется в форме полициклических автоколебаний, проявляющихся как в изменении количества поступающего на поверхность ювенильного материала, так и в циклической эволюции вулканического процесса по составу и формам извержений. Количественная сторона автоколебательного процесса описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка. Рассмотрена проблема практического использования выявленных закономерностей, в том числе примеры прогноза вулканических извержений. Работа может быть полезна широкому кругу специалистов в областях вулканологии, магматической геологии и геофизики.

Отв. редактор академик РАН, доктор геол.-мин. наук Коротеев В.А.

Рецензент профессор, доктор геол.-мин. наук Прокин В.А.

Более подробное знание вулканических сил и явлений, последовательности вулканических событий когда-нибудь откроет нам скрытый ритм в их деятельности и таким образом поможет сохранять жизнь и имущество, предупреждая об опасности.

Г.В. Тиррель [229].

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь человека слишком мала по сравнению с длительностью многих природных процессов и поэтому окружающая нас действительность воспринимается скорее в статике, чем в динамике. О том, что внутреннее развитие нашей планеты продолжается и в настоящее время, постоянно напоминают такие грозные явления природы, как вулканические извержения.

Целостное восприятие внутреннего единства и многогранности реального природного процесса – необходимая предпосылка для его понимания. Лишь в этом случае процесс познания начинает приносить определенную практическую пользу, тем большую, чем выше уровень понимания закономерностей развития природных систем. В этом плане изучение вулканического процесса особенно актуально, так как позволяет решить ряд важных практических задач, которые по степени непосредственной практической значимости можно подразделить на три группы.

Во-первых, действующий вулкан испокон веков представлял для человека источник повышенной опасности. Эффективные попытки прогноза этой опасности возможны лишь при условии правильного понимания процессов, протекающих в вулканической системе.

Во-вторых, вулкан, по образному сравнению Г. Макдональда, представляет собой окно в глубины Земли. Это справедливо постольку, поскольку действующий вулкан является единственным источником информации о современных процессах формирования вулканических горных пород.

В-третьих, вулкан можно рассматривать как окно в глубины Земли еще и потому, что он является единственным источником информации о реальных закономерностях развития магматических систем, динамике процессов, в них происходящих.

Данная работа – это попытка создания на примере исторических извержений вулкана Безымянного динамической модели развития вулканического процесса. Выбор в качестве объекта исследований этого вулкана не случаен. В плане выявления закономерностей вулканического процесса наибольшее значение для автора имели режимные наблюдения за эруптивным процессом этого вулкана. За семь лет наблюдений автору представилась возможность стать свидетелем последовательности из 9 сравнительно кратковременных эксплозивно-эффузивных и 5 затяжных деформационно-экструзивно-эффузивных извержений. Уникальность этой последовательности заключается в том, что Безымянный в настоящее время – не только один из наиболее активных вулканов мира, но и, пожалуй, единственный вулкан со столь быстрой эволюцией эруптивного процесса, за сравнительно небольшой период собрать представительные данные. Можно утверждать, что для получения такого же объема знаний по другим, не менее активным, но более медленно эволюционирующим вулканам, потребовалось бы не одно столетие.

В основу исследования положен системный анализ. Это направление методологии научного познания, рассматривающее объекты исследования как системы, ориентирует на раскрытие целостности объекта, выявление многообразия типов связей в нем и сведение их в

единую теоретическую картину. Если предположить, что развитию вулканического процесса действительно свойственны некие внутренние закономерности, то они должны проявляться в различных плоскостях, отражающих разные стороны этого процесса. В частности, при изучении количественного и качественного состава вулканитов, изменчивости форм извержений, особенностей сейсмического сопровождения мы фактически имеем дело с различными каналами информации, в которой в той или иной мере должны быть отражены общие закономерности процесса как единого целого. В первой части работы предпринята, на взгляд автора, достаточно успешная попытка выявления этих закономерностей для процесса исторических извержений Безымянного.

Однако любая вулканическая система представляет собой лишь частный случай выхода на поверхность магматической системы. Следовательно, если в деятельности конкретного вулканического центра установлены некоторые закономерности, то становится вполне обоснованной проверка их значимости в деятельности магматических систем вообще и вулканических – в частности. Это обстоятельство потребовало расширения сферы применения системного анализа и включения в нее поиска по литературным источникам аналогов этих закономерностей в деятельности различных вулканических систем. Наряду с расширением сферы применения системного анализа возникла необходимость и его углубления в плане улучшения качественной и количественной интерпретации выявленных закономерностей. Эти аспекты рассматриваются во второй, теоретической, части работы.

Третья часть посвящена возможности практического использования выявленных закономерностей. Основное внимание уделено прежде всего перспективам применения этих закономерностей в плане качественного и количественного прогноза вулканических извержений. В этой же части рассмотрено возможное влияние динамической модели вулканического процесса на некоторые проблемы рудной геологии.

В заключение следует заметить, что автора, вероятно, будет трудно упрекнуть в излишней любви к различным классификациям. Загоняя реальные природные процессы, их развитие, в прокрустово ложе неких идеализированных представлений, мы очень часто теряем самое главное – восприятие внутренней целостности, единства и многогранности процесса, заменяем живую функционирующую природную систему мертвым скелетом наших абстрактных представлений о ней. *«Разделение природы на ее отдельные части, разделение различных процессов и предметов природы на определенные классы... – все это было основным условием тех исполинских успехов, которые были достигнуты в области познания природы за последние четыреста лет. Но этот же способ изучения оставил нам привычку рассматривать вещи и процессы природы в их обособленности, вне их великой общей связи, и в силу этого – не в движении, а в неподвижном состоянии, не как существенно изменчивые, а как вечно неизменные, не живыми, а мертвыми»* [287]. Поэтому попытку передать восприятие живого вулканического процесса можно рассматривать как сверхзадачу работы.

Земля живая, и вулканы наиболее ярко свидетельствуют об этом. В работе сделана попытка выявить внутренние связи вулканического процесса, их взаимозависимости, самоорганизацию и саморазвитие, рассмотреть его «биологию». И через вулканы прикоснутся к тайнам Природы. Не властвовать, а хотя бы попытаться понять...

1. НАБЛЮДЕНИЯ: Объект исследования – вулкан Безымянный

1.1. Геологическое положение и история развития

Вулкан Безымянный (55°58' с.ш., 160°35' в.д., абс. высота до 1955 г. – 3085 м) расположен в самом центре Ключевской группы вулканов. Рельеф в районе вулкана сильно расчленен и активно формируется в настоящее время. Положение вулкана и сложный рельеф окружающей территории обуславливают локальную климатическую специфику района на фоне общих черт муссонного климата. Речная сеть в основном представлена руслами временных водотоков. Растительный и животный мир в окрестностях вулкана беден и однообразен. В целом район труднодоступен и абсолютно не освоен в хозяйственном отношении.

Геологическая обстановка района определяется его расположением в центре Ключевской группы вулканов, представляющей собой крупнейшее на Камчатке скопление из 13 вулканов. Из них к действующим относятся Ключевской, Плоский Толбачик, Безымянный. Помимо вулканических форм центрального типа, на территории Ключевской группы широко представлены лавовые плато и лавовые равнины, в образовании которых значительное участие принимали трецинные излияния. В развитии Ключевской группы вулканов просматриваются тенденции, во-первых, к локализации вулканической активности вдоль сравнительно узкой линейной зоны северо-восточного простирания и, во-вторых, к постепенному переходу от преимущественно ареального вулканизма к формированию долгоживущих вулканических структур центрального типа. Состав извергаемых продуктов и форм извержений закономерно эволюционирует с течением времени.

К концу 70-х годов в недрах расположенной к востоку от вулкана обширной Хапиченской впадины работами ГСЗ был обнаружен аномальный объект. Расчеты позволили аппроксимировать этот объект расплавами андезитов и андезитобазальтов [255]. В то же время в районе Хапиченской впадины выявлен минимум силы тяжести. Обсчет этой аномалии привел к заключению о существовании в коре на глубине порядка 15 км разуплотнения с поперечником 20–30 км [91]. Сейсмическая тень, выделявшаяся ГСЗ, оказалась лишь частью этой большой неоднородности. Кроме того, в недрах Хапиченской впадины были зафиксированы проводящие выступы с низким удельным сопротивлением, близким к таковому магматических расплавов [91]. Предполагалось, что аномальный объект Хапиченской впадины – источник питания вулкана Безымянного. К сожалению, более поздние сейсмические исследования [9,189] не смогли подтвердить этот вывод, поэтому вопрос об источнике питания Безымянного в настоящее время по-прежнему остается открытым.

Тектоника района отличается высокой сложностью. Если сам факт заложения и общие тенденции развития зоны повышенной проницаемости земной коры в пределах Ключевской группы вулканов, скорее всего, обусловлены региональными тектоническими (субдукционными) процессами, то локальная тектоника, по мнению автора, полностью определяется саморазвитием магматической системы в пределах земной коры и верхней мантии под Ключевской группой вулканов.

Вулкан Безымянный – сложный голоценовый вулкан, который можно в настоящее время разделить на сомма-Безымянный и современную часть постройки вулкана, расположенную внутри кальдеры 1956 г. Три четверти последней занимает экструзивный купол, рост которого начался непосредственно после пароксизмального извержения. Четвертую часть современной постройки вулкана занимает активный восточный блок, с которым связаны все извержения вулкана, по крайней мере с середины 70-х годов. Этот блок по сути является своеобразной переходной формой между экструзивным куполом и стратовулканом.

История развития Безымянного характеризуется макроциклическостью. Выделяются пять макроциклов, для начала каждого из них характерны вспышки экструзивной активности, сопровождающиеся мощными эксплозивными извержениями. В течение макроцикла происходят

постепенный переход от экструзивной деятельности к эффузивной, снижение и затухание активности. Вещественный состав меняется от роговообманковых дацитов и андезитов до двупироксеновых андезитобазальтов. В конце последних макроциклов установлена тенденция к эволюции в противоположном направлении. Помимо макроцикличности в работе вулкана отмечаются и направленные изменения в его деятельности: все большая локализация экструзивной активности – от существенно ареальной к преимущественно терминальной; последовательное снижение от цикла к циклу среднего коэффициента эксплозивности; уменьшение размаха колебаний в вещественном составе; сокращение временной длительности макроциклов; повышение деструктивной активности вулкана. Перечисленные особенности можно рассматривать как своеобразный мегацикл в развитии вулкана Безымянного, начавшийся в позднем плейстоцене.

Дополнительную информацию о динамике развития извержений дает анализ сопутствующих им сейсмических событий. Эти события для Безымянного представлены вулканическими землетрясениями и непрерывно-спазматическим дрожанием. Анализ динамики сейсмической подготовки извержений позволяет судить о закономерностях развития деформационно-экструзивного процесса, предвещающего извержение. А выявление этих закономерностей открывает путь для прогноза активности вулкана. Для исследования динамики бурных эксплозивно-экструзивных или эксплозивно-эффузивных кульминаций извержений большой интерес представляет изучение сопровождающего их непрерывно-спазматического вулканического дрожания, что особенно необходимо в те периоды, когда визуальные наблюдения за развитием извержения невозможны. Эту дополнительную информацию широко использовал автор при реконструкции развития извержений вулкана в 1981 – 1987 гг.

1.1.1. Географическое положение

Положение вулкана. Вулкан Безымянный (55°58' с.ш., 160°35' в.д.) расположен в самом центре Ключевской группы вулканов (рис. 1–2). К северу от него возвышается разрушенный конус вулкана Камень, к югу – массив Зиминой сопки, с юго-востока примыкают верховья р. Сухой Хапицы, а с юго-запада – истоки р. Студеной. Долины этих двух рек вдаются глубокими «заливами» в Ключевскую горную группу и разделяют ее здесь на две части. В месте сужения и расположен вулкан Безымянный.

Рельеф в районе вулкана сильно расчленен и активно формируется в настоящее время под воздействием двух основных факторов: современной вулканической деятельности и перераспределения отложенной рыхлой пирокластики при бурном снеготаянии, как за счет плоскостного смыва, так и по руслам временных водотоков. В целом для района характерно ярусное строение рельефа. Четко выражены два яруса: верхний – конусы вулканов, нижний – область аккумулятивных равнин подножий.

Абсолютная высота самого вулкана составляла до извержения 1956 г. 3085 м, тогда как его относительная высота над уровнем фундамента менялась от 700 м на севере (склоны вулкана Камень) до 1800 – 2000 м на юге (бессточная котловина меж-

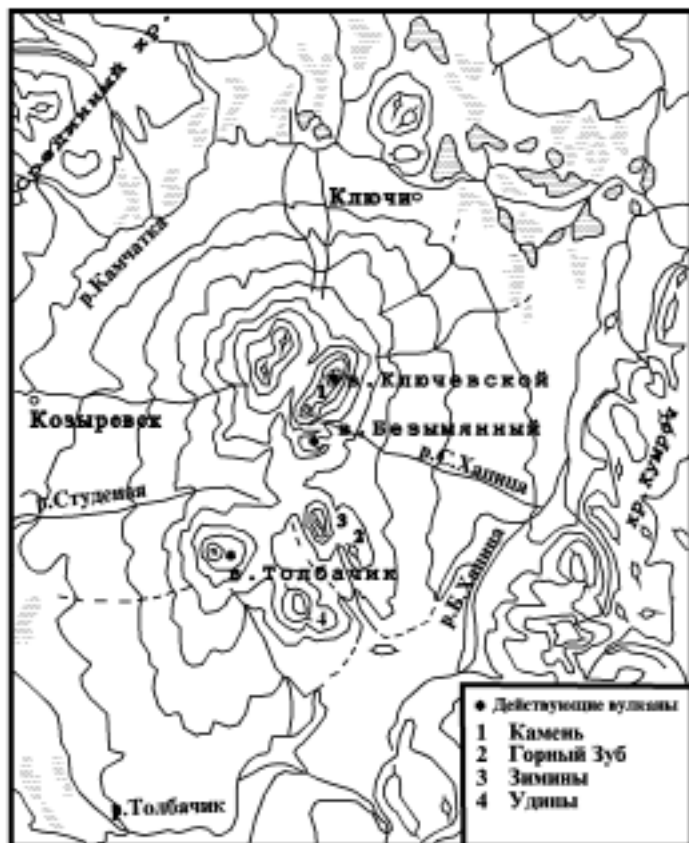


Рис. 1. Ключевская группа вулканов



Рис. 2. Вулкан Безымянный (крайний слева), за ним массив разрушенного вулкана Камень, еще далее – вулкан Ключевской (на переднем плане пирокластический поток Безымянного)

ду Зимиными сопками и Безымянным). К востоку и югу от вулкана рельеф осложняется наличием большого количества каньонообразных русел временных водотоков, к юго-западу и западу – рядом экструзивных куполов и бронирующих постройку вулкана лавовых потоков. К юго-востоку от вулкана между двумя субпараллельными хребтами расположена полого-наклонная равнина, на которой в основном и происходит аккумуляция отложений современных пирокластических потоков.

Климат. Положение Ключевской группы вулканов практически в центре Камчатского полуострова и ее сложный рельеф обуславливают климатическую специфику района на фоне общих черт муссонного климата. Характерна интенсивная циклоническая деятельность в течение всего года, но особенно осенью и зимой. Среднегодовая температура от -4° до -7°C . В районе подножия вулкана (абс. высота 1000–1200 м) январские минимумы температур менее выражены по сравнению с долиной р. Камчатки, в результате чего температура воздуха редко опускается ниже -30°C . Июльские максимумы обычно не более 20°C .

В течение года выпадает до 1000 мм осадков, преимущественно в виде снега, который в районе вулкана удерживается с октября по конец июня. Высота снежного покрова на границе лесной зоны достигает в отдельные годы 3 м. Выше в горы, благодаря сильным ветрам, распределение снежного покрова крайне неравномерно. Он достигает максимума в понижениях рельефа и на склонах, защищенных от господствующих ветров, тогда как на открытых для ветра местах снег сдувается практически до земли. Выше 1200 м (здесь и далее: абс. отм.) распространена многолетняя мерзлота.

Формирование **речной сети** в районе вулкана определяется бурным снеготаянием в течение короткого лета. Речная сеть в основном представлена руслами временных водотоков, так называемыми «сухими речками», обводненность которых полностью определяется таянием снега в горах, резко меняясь даже в течение дня.

Растительные формации в окрестностях вулкана развиваются в условиях длительного периода ранних морозов и низких температур. Отчетливо выражена высотная зональность растительности. Редкостойные леса, в которых господствует каменная береза (встречаются лиственница, тополь, рябина), поднимаются по склонам до высоты 700 м. Выше, до 800–900 м, распространены кустарники и стланики – ольховые, ивовые, карликовая береза, камчатский рододендрон. Из-за обильных зимних снегопадов кустарники прижаты к земле, а их стволы и ветви искривлены и переплетены. Еще выше, до 2000–2500 м, поднимается тундровая растительность – лишайники, мхи, изреженные травы. В секторе, расположенном юго-восточнее от вулкана, на характер растительности повлияли последствия катастрофического извержения вулкана в 1956 г.

Животный мир в окрестностях вулкана также особым богатством не отличается. У его подножия проходят миграционные тропы бурого медведя. Распространены заяц-беляк, евражка, встречается рассомаха, изредка – тарбаган, из промысловых птиц – куропатка.

Освоенность. Район вулкана труднодоступен и абсолютно не освоен в хозяйственном отношении. Ближайшая грунтовая дорога оканчивается в 16 км от вулкана на сейсмостанции Апахончич. Передвижение по ней возможно лишь в период со второй половины июня по начало ноября. У подножия вулкана проходит конная тропа – от с/ст Апахончич и далее в район вулкана Плоский Толбачик, но ее можно использовать лишь в июле-сентябре. Обычное транспортное средство здесь – вертолет.

1.1.2. Геологическое положение

Общая геологическая характеристика Ключевской группы вулканов. Ключевская группа (см. [2,29,43,77,168,187,205,228]) вулканов (площадь 6500 км²) находится в Центральной Камчатской депрессии и составляет часть Северной группы. Для Ключевской характерно господство молодых вулканитов и вулканогенно-осадочных толщ четвертичного возраста. Выходы более древних пород отмечены только в ее восточной периферии, зоне сочленения с хребтами Кумроч и Тумрок. Это объясняется тем, что большая часть территории приурочена к области новейших и современных тектонических опусканий. На различных участках меняется только темп этих опусканий.

Объем вулканических пород, продуктов их размыва и переотложения, находящихся выше уровня моря, составляет в Ключевской группе около 5000 км³ [2]. Это примерно столько же, сколько в каждом из трех других вулканических районов Камчатки – Восточной Камчатке, Южной Камчатке, Срединном хребте. Сходный объем имеют все четвертичные вулканиты Японии. Возраст вскрытых вулканических пород Ключевской группы не старше раннего плейстоцена, т.е. 500 – 600 тыс. лет (по данным спорово-пыльцевого анализа и палеомагнитных исследований) [2]. Не менее 40–50% объема пород извергнуто за последние 40–50 тыс. лет. С учетом вулканических пород, компенсирующих прогибание и поэтому опущенных сейчас ниже уровня вреза современных водотоков, общий объем вулканитов Ключевской группы, как считают исследователи [2], должен быть увеличен минимум в 1,5 раза, т.е. до 7,5 – 8,0 тыс. км³.

Основные геологические структуры. Ключевская группа вулканов (рис. 3) представляет собой крупнейшее на Камчатке скопление из 13 крупных вулканов: самый высокий и один из наиболее активных в Евразии – Ключевской – 4709 м (в 1984 г.), Камень – 4575, Крестовский (Плоская Ближняя сопка) – 4108, Ушковский (Плоская Дальняя сопка) – 3943, Острый Толбачик – 3682, Плоский Толбачик – 3085, Безымянный – около 3000 (в 1987 г.; до извержения 1955–1956 гг. – 3085), Овальная Зими́на – 3081, Острая Зими́на – 2744, Большая Удина – 2923, Малая Удина – 1945, Средняя сопка – 2990 м, а также около 400 более мелких форм (шлаковые и лавовые конусы, экструзивные купола, воронки взрыва).

Из перечисленных вулканических центров действующие – Ключевской, Плоский Толбачик, Безымянный. С 1980 г. наблюдается фумарольная активность на вершине вулкана Ушковского, который, вместе с расположенным рядом вулканом Крестовским, образует вершинную часть самого крупного на Камчатке вулканического сооружения объемом около 1200 км³. Все перечисленные вулканы очень молодые: возникли не ранее 40–50 тыс. лет назад, а самый активный из них, Ключевской, несмотря на огромные размеры (суммарный объем изверженных пород около 250–300 км³), всего около 7 – 8 тыс. лет назад.

Помимо вулканических форм центрального типа, на территории Ключевской группы широко представлены лавовые плато и лавовые равнины, в образовании которых значительное участие принимали трещинные излияния. Наиболее крупный и молодой (9–10 тыс. лет) Толбачинский Дол [29]. В его пределах в 1975–1976 гг. произошло самое крупное за последнее столетие на Камчатке извержение пород базальтового состава (объем около 2,2 км³).

Миграция центров вулканической активности в пространстве. Все действующие вулканические центры Ключевской группы вулканов и наиболее молодые вулканические структуры расположены в пределах линейной зоны северо-восточного простирания (СВ35°), обычно отождествляемой с Главным разломом Северной группы вулканов. По направлению с юго-запада на северо-восток эта зона последовательно трассируется вулканическими образованиями южной Толбачинской ареальной зоны, Толбачинских вулканов, Северной Толбачинской ареальной зоны, вулканов Безымянного, Камня, Ключевского.

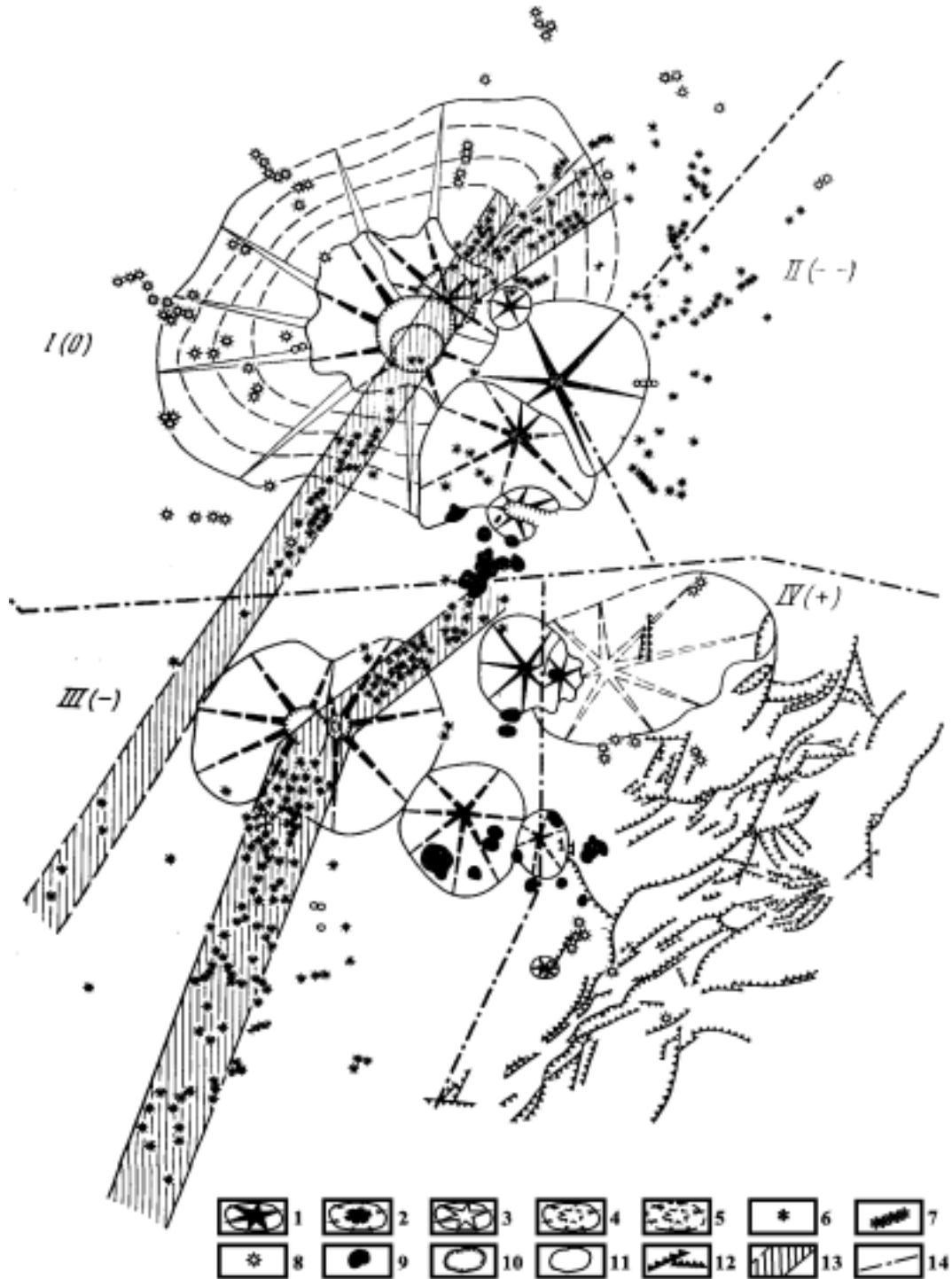


Рис. 3. Структурно-геоморфологическая схема Ключевской группы вулканов [168].

Стратовулканы: 1 – голоценовые (Q_0); 2 – позднеплейстоценово-голоценовые ($Q_3^4 - Q_0$); 3 – верхнеплейстоценовые – Q_3 ; 4 – средне-верхнеплейстоценовые ($Q_2 - Q_3$); 5 – щитовые вулканы верхнеплейстоценового возраста (Q_3); 6 – одиночные шлаковые и лавовые конусы голоценового возраста (Q_0); 7 – шлаковые и лавовые конусы трещинных извержений голоценового возраста (Q_0); 8 – одиночные шлаковые и лавовые конусы верхнеплейстоценового возраста; 9 – экструзивные купола верхнеплейстоценово-голоценового возраста; 10 – крупнейшие голоценовые кратеры и кальдеры; 11 – голоценовые воронки взрывы и маары; 12 – вулcano-тектонические нарушения, выраженные в рельефе; 13 – крупнейшие зоны трещинных излияний; 14 – границы геоморфологических участков с различным характером новейших движений: I – относительно стабильные, II – интенсивных опусканий, III – слабых опусканий, IV – слабых поднятий

Вкрест простирания этой линейной зоны просматривается общая тенденция к омоложению возраста вулканических образований по направлению к осевой зоне. Так, наиболее древними образованиями к востоку от Безымянного являются фрагменты лавовых плато (зон ареального вулканизма), расположенных на восточной периферии Ключевской группы Удинского и Хапиченского долов. Эти образования имеют возраст от нижне- до верхнеплейстоценового. Наиболее древнее образование центрального типа – полуразрушенная постройка вулкана Горный Зуб (Малая Зимина) среднеплейстоценового возраста. Еще ближе по направлению к современной осевой зоне расположен верхнеплейстоценовый стратовулкан Острая Зимина. За ним следуют вулкан Овальная Зимина (последние извержения которого относятся к раннему голоцену), далее группа экструзий в основном голоценового возраста, часть из которых расположена непосредственно на склоне Безымянного и является его латеральными образованиями. Аналогична картина последовательного омоложения вулканических структур от Удинского дола через Малую Удину, Большую Удину к Плоскому Толбачику.

К западу от осевой зоны возраст вулканических структур вновь начинает возрастать. Ряд ныне активно действующих вулканов с некоторым смещением к западу дублируется вулканическими центрами, пик активности которых пришелся на ранний голоцен. Для Плоского Толбачика это Острый Толбачик. Ряду Безымянный – Ключевской соответствуют Ушковский и Крестовский вулканы. Еще далее к западной периферии Ключевской группы на поверхность выходят все более древние лавовые толщи мега- и мезоплагиофировых базальтов вплоть до раннеплейстоценового возраста.

Таким образом, в современном развитии Ключевской группы вулканов отчетливо просматриваются две основные тенденции. Во-первых, это тенденция к локализации вулканической активности вдоль сравнительно узкой линейной зоны северо-восточного простирания, тогда как еще в недавнем прошлом (40–50 тыс. лет) вулканическая активность была распределена на сравнительно большой площади эллипсоидальной формы. Как показывает пример Толбачинского Дола, эта тенденция наблюдается даже в пределах зон современного ареального вулканизма. Во-вторых, в пределах Ключевской группы отчетливо выражена тенденция постепенного перехода от преимущественно ареального вулканизма к формированию долгоживущих вулканических структур центрального типа.

Эволюция вулканической активности во времени. Анализ истории развития вулканизма Ключевской группы показывает, что состав извергаемых продуктов (следовательно, и форма извержения) не статичен, а закономерно эволюционирует с течением времени. В основаниях лавовых толщ ареальных извержений доминируют мегаплагиофировые базальты. Вверх по разрезу прослеживается общая тенденция к их замене, последовательно, на мезо-, микроплагиофировые и афировые разности. В петрохимическом отношении эта тенденция соответствует переходу от излиятий преимущественно субщелочных глиноземистых базальтов к извержениям известково-щелочных магнезиальных базальтов умеренной щелочности.

В силу более высокой эксплозивности магнезиальных базальтов закономерно меняется и характер извержений. Если при излиятиях субщелочных глиноземистых базальтов формируются обширные лавовые поля с невысокими (5–100 м) шлаковыми конусами при низком коэффициенте эксплозивности (3% по оценкам для Толбачинского дола), то при доминировании магнезиальных базальтов резко возрастает коэффициент эксплозивности (до 20–30% по Толбачинскому долу) и начинают формироваться очень крупные шлаковые конусы. На эту общую тенденцию в эволюции вещественного состава и форм ареальных извержений накладывается изменчивость более низких уровней. В общем случае чередование излиятий субщелочных глиноземистых и магнезиальных базальтов с контрастными или плавными переходами и соответствующими изменениями форм наблюдается даже в ходе одиночного извержения.

Подобная изменчивость в более широких масштабах свойственна и долгоживущим вулканическим центрам. Все долгоживущие вулканы Ключевской группы прошли один или несколько циклов эволюции вещественного состава – от андезит-дацитового до базальтового состава и обратно, с соответствующими изменениями в характере извержений. Как правило, антидромное направление эволюции внутри каждого цикла протекало сравнительно устойчиво и плавно, тогда как гомодромное развивалось скачкообразно и в значительной степени редуцировано как по времени, так и по

объемам изверженного материала. Как и в случае ареальных извержений, эти общие тенденции осложняются изменчивостью меньших масштабов.

Цикличность в эволюции вулканических центров накладывает отпечаток и на их внешний облик. Финальные стадии развития гомодромного направления в каждом цикле развития вулкана, как правило, соответствуют катастрофическому эндогенному разрушению его постройки в форме кальдерообразования, вулканотектонического обвала или направленного извержения. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в следующих разделах. Здесь же необходимо подчеркнуть, что в пределах Ключевской группы вулканов нет сколько-нибудь длительно существующих вулканических центров чисто андезитового или чисто базальтового состава. Поэтому говорить о базальтовых или андезитовых вулканах имеет смысл лишь применительно к их текущему состоянию, а о потухших – к состоянию, в котором они завершили свое развитие.

Структуры, соседствующие с вулканом Безымянным. Северный сосед Безымянного – вулкан Камень высотой 4575 м, имеющий морфологически неоднородное и резко асимметричное строение. Его западная часть представляет собой крутосклонный конус с выположенным и расчлененным основанием. Восточная обрывается почти отвесной скалой, достигающей высоты 2300 м. Этот обрыв образовался в результате крупного вулканотектонического обвала [166] или направленного взрыва [76,77], произошедшего 1000 – 1200 лет назад. В самой постройке вулкана Камень выделяются выположенное основание и насаженный на него крутосклонный конус. Граница между основанием и конусом проходит на высоте 1600–2500 м. Основание вулкана сформировалось в средне-позднеплейстоценовое время, а стратовулканическая толща – в голоцене.

В позднем голоцене на склонах вулкана Камень была широко распространена побочная вулканическая деятельность, сформировавшая многочисленные шлаколавовые конусы. Наиболее широко лавовые потоки и шлаковые конусы развиты в долине Паразитов к юго-западу от Безымянного. Лавовые потоки имеют значительную длину (8,5 – 10,5 км) при небольшой мощности (2 – 4,5 м) и низкой пористости. Ширина потоков 5–200 м.

В восточном и северо-восточном секторе к постройке Безымянного примыкает слабо всхолмленная равнина, сложенная продуктами разрушения восточного склона вулкана Камень и пролювиально-пирокластическими отложениями. Продукты разрушения занимают междуречье Сухая Хапича – Голубельная и имеют пологую слабо всхолмленную поверхность, над которой сравнительно равномерно выступают огромные глыбы туфобрекчий. На высоте около 800 м столообразная поверхность отложений переходит в холмисто-грядовую.

Верхнеплейстоценовые лавово-пирокластические толщи, связываемые большинством исследователей с деятельностью вулкана Камень, выходят на поверхность и в юго-восточном секторе вулкана Безымянного. В виде двух близпараллельных хребтов эти образования протягиваются от самого основания современной постройки вулкана на расстояние 6 – 8 км. Между ними расположены так называемые «Ворота» Безымянного – узкая (1,5 – 2,5 км) долина, являющаяся основным путем движения пирокластических потоков исторических извержений. Далее, по направлению от вулкана, расположена слабо наклонная область аккумуляции пирокластических и пролювиально-пирокластических отложений.

С юга, юго-запада и запада к вулкану примыкает зона ареальных извержений. Региональная зона базальтовых извержений представляет собой пологую возвышенность в форме увала, сложенную мегаплагиофировыми лавами. Эта возвышенность соединяет северо-восточный склон Плоского Толбачика с северо-западным склоном массива Зиминых сопок. Излитые из трещин и кратеров на этом увале и из отдельных шлаковых конусов в стороне от него, молодые мезоплагиофировые лавы растекались на большие расстояния. По мнению Б.И. Пийпа [187], эта зона находит свое продолжение у южного подножия Безымянного в кратерах Гауза, Незаметном и др. Он также не исключал возможности, что зона ареальных базальтовых извержений протягивается и до кратера Пещерного на юго-восточном склоне Ключевской сопки, так как лава и характер поверхности этого кратера очень похожи на образования зоны.

Непосредственно в окрестностях Безымянного получил широкое распространение ареальный вулканизм среднекислого состава. В.А. Ермаков [77] в пределах постройки вулкана вы-

деляет 14 экструзивных образований. По данным более поздних тефрохронологических исследований [39] самыми древними являются купола, сложенные роговообманково-пироксеновыми дацитами, – Гладкий, Правильный, Расчлененный. Несколько позднее, во время второй фазы позднеплейстоценового оледенения, сформировались купола типа туюя – Плотина, Ступенчатый, Двуглавый, Разлатый, Кулич, морфология которых с определенностью указывает на образование при подледных извержениях. Состав пород варьирует от базальтов (в южной части Плотины) и андезитобазальтов до основных роговообманковых андезитов. В интервале от 5500 до 3300 лет назад сформировались экструзивные купола Экспедиции, Экструзивный Гребень, Треугольный Зуб, сложенные роговообманковыми андезитами.

1.1.3. Геофизические данные

Для получения информации об источниках питания вулкана большой интерес представляют материалы геофизических исследований.

Исследования электропроводности. При обсуждении конкретных данных необходимо иметь в виду, что магнитотеллурическими методами устанавливается лишь факт существования зон повышенной проводимости в земной коре. В ходе исследования проводимости в районе Ключевской группы вулканов выявлен ряд аномальных зон [216]. Восточная аномальная зона, выделенная методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ), соответствует области распространения четвертичных пород базальт-андезитодацитово-формации и, по мнению авторов работы [216], определяет положение коровых магматических очагов, связанных с такими вулканами, как Безымянный, Зимины сопки. В модели магнитовариационного профилирования (МВП) здесь два сочленяющихся выступа, возможно, тяготеющих к различным вулканическим центрам, хотя однозначно подобные соотношения не устанавливаются.

Малоглубинная зона повышенной проводимости фиксируется вблизи вулкана Острая Зимина и, вероятно, обусловлена апофизом очага либо минерализованными водами, источники которых обнаружены у подножия вулкана. Для западной проводящей неоднородности достаточно определенных связей с вулканизмом нет. Региональный слой повышенной проводимости на глубинах в среднем около 35 км отражает аномальность переходной коромантийной зоны. Допуская продолжение этого слоя в самой мантии, авторы работы [216] предполагают наличие его связи с мантийной областью магмообразования, являющейся непосредственным источником питания вулканов типа Ключевского. Проводящая неоднородность относительно глубинного плана, фиксируемая в аномалиях бухтообразных вариаций, по их мнению, соответствует зоне глубинных разломов северо-восточного простирания в центральной части Ключевской группы, контролирующей вулканы с мантийными источниками и ареальный вулканизм в том числе.

Интерпретация **гравиметрических данных** на основе разреза глубинного сейсмозондирования (ГСЗ) [92] показала приблизительное соответствие строения земной коры в районе Ключевской группы слоистой модели, несмотря на очевидную блоковость строений всего региона. Единственным участком, где не достигнуто относительное соответствие наблюдаемых аномалий и теоретических (при допустимых значениях избыточной плотности), оказалась Хапиченская впадина. Для объяснения остаточного минимума авторам работы [92] пришлось допустить существование в коре на глубинах около 15 км области разуплотнения.

Поперечные размеры неоднородности оцениваются в 20–30 км. Однако авторы работы [92] считают необходимым оговориться: поскольку поведение глубинных границ под Хапиченской впадиной не определено на профиле ГСЗ, то эту остаточную аномалию можно трактовать как отражение локального прогиба поверхности Конрада (что также может рассматриваться как область пониженной плотности). Тем не менее исследователи считают возможным высказать предположение, что эта область разуплотнения представляет собой коровой магматический очаг кислого или среднего состава (анатектоидный или результат дифференцирования основной магмы), питающий вулкан Безымянный.

Глубинное сейсмическое зондирование. Глубинное строение района Ключевской группы по данным ГСЗ начала 70-х годов [7, 10, 11] и имевшемуся в то время геологическому материалу пред-

ставлялось в следующем виде (по Б.В. Иванову [96, 97, 101, 102]). Земная кора района имеет мощность 25–32 км и относится к континентальному типу. Верхний структурный этаж района составляют рыхлые вулканогенные отложения четвертичного возраста мощностью до 2 км. Средний структурный этаж состоит из различной степени метаморфизованных вулканогенно-осадочных отложений неоген-палеоген-мела мощностью от 2 до 4 км. Нижний структурный этаж представлен «гранитным» и «базальтовым» слоями мощностью соответственно 10–20 и 7–8 км.

Кровля «гранитного» слоя в районе Центрально-Камчатской депрессии образует четко выраженное синклинальное погружение; под вулканической группой поверхность «гранитного» слоя залегает на глубине около 4 км, образуя пологую антиклиналь. Граница «базальтового» слоя выражена слабо и также полого воздымается с запада на восток. Учитывая геологические данные, можно полагать, что оба слоя состоят из вулканогенных и вулканогенно-осадочных формаций палеозойского возраста, метаморфизованных до стадии зеленых сланцев и амфиболитов. Поверхность Мохо в виде единой границы раздела не выражена и представляет собой переходную зону мощностью до 10 км. Вещественный состав зоны не ясен и характеризовался как коро-мантийная смесь. По сейсмическим данным, под Ключевским вулканом до глубины 50–60 км устанавливалась аномальная зона, в которой сейсмические границы в земной коре и верхней мантии не прослеживаются. Ее отождествляли с подводящим каналом, питающим Ключевской вулкан из подкорового источника.

Под вулканом Безымянным была обнаружена аномальная зона, располагающаяся на глубине от 10 до 20 км. Ее рассматривали как периферический магматический очаг вулкана, не имеющий прямой связи с верхней мантией, так как под вулканом отчетливо прослеживались сейсмические границы, связанные с переходным слоем на глубине от 30 до 40 км. В то же время была отмечена аномальная зона в прохождении сейсмических волн под всей вулканической группой – от Безымянного до Ключевского. Это послужило основанием для предположения, что аномальная зона с пониженными скоростями, выделенная под Безымянным на глубине 10–20 км, с некоторыми изменениями сейсмических параметров продолжается с погружением под вулканами Камень и Ключевской и уходит в верхнюю мантию, где соединяется с упомянутой выше зоной магмовода Ключевского вулкана. По этим оценкам вертикальные размеры магматического очага вулкана Безымянного не превышали 10 км. Считалось, что этот очаг имеет связь с зоной питания Ключевского вулкана по общей глубинной зоне разлома.

Таким образом, к концу 70-х годов установлено, что в недрах расположенной к востоку от вулкана обширной Хапиченской впадины находится аномальный объект со средними скоростями 4,5–5,3 км/с. Расчеты позволяли аппроксимировать этот объект расплавами андезитов и андезитобазальтов с содержанием кристаллической фазы соответственно 70 – 95 % и 40 – 60 % [255]. В то же время в районе Хапиченской зафиксирован значительный минимум силы тяжести. Обсчет этой аномалии привел к заключению о существовании в коре на глубине порядка 15 км (центр тяжести) разуплотнения с поперечником 20–30 км [91]. Сейсмическая тень, выделяемая ГСЗ, оказалась лишь частью этой большой неоднородности. Кроме того, в недрах Хапиченской впадины выявлены проводящие выступы с низким удельным сопротивлением, близким к таковому магматических расплавов [91]. Предполагалось, что аномальный объект Хапиченской впадины является источником питания вулкана Безымянного.

К сожалению, более поздние сейсмические исследования [9, 189] не смогли подтвердить этот вывод. Изучение земной коры под вулканическими постройками осуществлялось корреляционным методом преломленных волн и было выполнено комплексной геолого-геофизической экспедицией, работавшей в районе Ключевской группы вулканов в 1986–1987 гг. Сейсмический разрез анализировался до глубины 25 км. Заметных изменений в динамических особенностях (форме, амплитуде, частотном составе) Р-волн, просвечивавших эту толщу, не отмечено. В связи с этим авторы работы [9] вынуждены предположить, что магматический расплав, по крайней мере в интервале глубин 2 – 8 км ниже уровня моря, распространяется либо по мелким трещинам и каналам, которые не могут быть зафиксированы на сейсмических записях Р-волн, либо по глубинному разлому, разделяющему блоки коры. Если и имеет место скопление магматического расплава в каком-то объеме среды под вулканом, то, по мнению авторов работы [9], это происходит на глубинах, меньших или больших, чем исследованные, или же такие объемы, значительные по размерам, отсутствуют.

Поверхность кристаллического фундамента в районе вулкана четко фиксируется в волновом поле и охарактеризована скоростью около 6 км/с. Залегание границы близко к горизонтальному, глубина залегания около 6 км. К юго-востоку возможен ее подъем. Нижняя часть коры определяется полем докритических отраженных волн. Соответствующие им отраженные площадки были построены до глубины около 25 км. Наблюдается их концентрация и относительная выдержанность в интервале глубин 18–25 км. Здесь же расположены точки обмена сейсмических волн. Возможно, на этом уровне глубин происходит изменение упругих свойств коры, связанное со сменой напряженного состояния, что находит свое отражение в характере местной сейсмичности. Однако наличие более или менее крупных скоплений магматического расплава представляется весьма маловероятным и для этого интервала.

В связи с изложенным сделанный ранее вывод о существовании под вулканом Безымянным корового магматического очага и его возможной связи с «магмоводом» под Ключевским вулканом представляется малоубедительным. Таким образом, вопрос об источнике питания вулкана Безымянного в настоящее время по-прежнему остается открытым.

1.1.4. Тектоника района

В начале XX в. К.И. Богданович [77,292] считал, что Ключевская группа вулканов расположена в пределах кальдеры гигантского моногенного вулкана, открытой на юго-восток. По его мнению, с региональной тектоникой связано образование этого моногенного вулкана, а с вторичным пробуждением очага и обрушением его кровли – образование Ключевской группы вулканов.

В противоположность этому мнению, А.Н. Заварицкий [88] в 1935 г. предположил, что размещение вулканов контролируется региональными разломами. Он наметил линию основного разлома Северной группы вулканов (куда входит Ключевская группа) вдоль направления СВ 35°. Эта линия соединила действующие вулканы Шивелуч, Ключевской, Плоский Толбачик. Расположение отдельных вулканов внутри группы А.Н. Заварицкий связывал с поперечными разломами, пересекающимися с основным направлением.

В 1940 г. В.И. Влодавец [43] разграничил региональные тектонические и вулканотектонические разломы. К последним он отнес радиальные и кольцевые разломы на склонах вулканического нагорья, образовавшиеся, по его мнению, в результате энергии воздействия самой магмы. Спустя

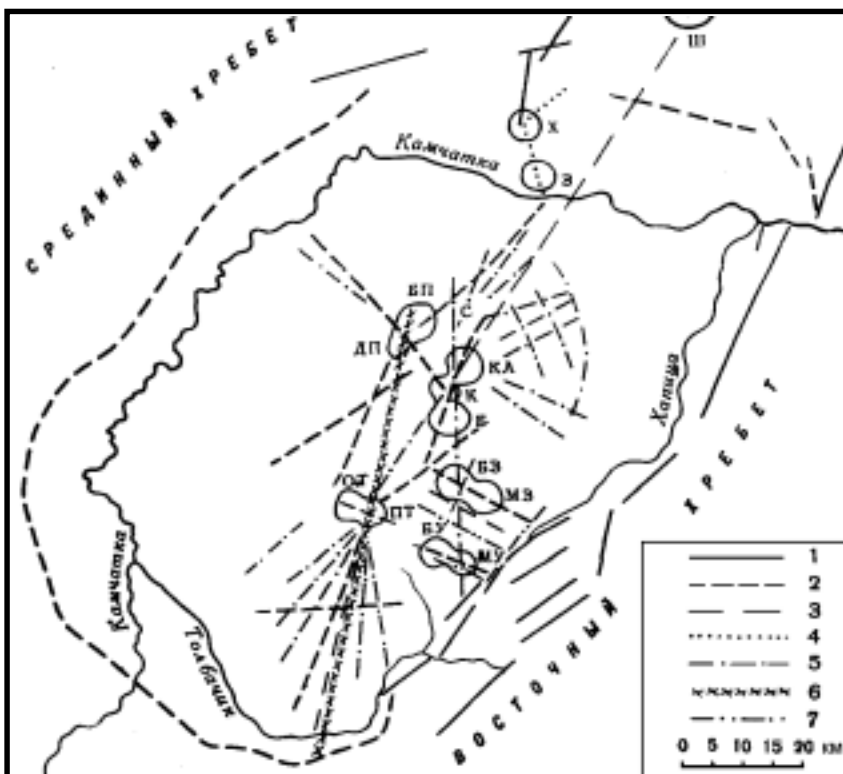


Рис. 4. Схема тектоники Ключевской группы по данным различных авторов [205].

Разломы:

- 1 – по А.Е. Святловскому [196];
- 2 – по Б.И. Пийпу [187];
- 3 – по А.Н. Заварицкому [88];
- 4 – по Н.В. Огородову [179];
- 5 – по В.И. Влодавцу [43];
- 6 – по В.И. Тихонову [231];
- 7 – по К.М. Тимербаевой [227].

Вулканы: Ш – Шивелуч; Х – Харчинский; З – Заречный; БП – Ближний Плоский (Крестовский); ДП – Дальний Плоский (Ушковский); С – Средний; КЛ – Ключевской; К – Камень; Б – Безымянный; БЗ – Большая Зиминая; МЗ – Малая Зиминая; БУ – Большая Удина; МУ – Малая Удина; ОТ – Острый Толбачик; ПТ – Плоский Толбачик

еще 16 лет Б.И. Пийп [187] пришел к выводу, что Ключевская группа вулканов располагается на разломах сбросового типа в кровле крутосклонной магматической колонны. Он использовал в своих представлениях основное положение К.И. Богдановича о том, что вулканизм сопровождается обрушением. Оба эти исследователя считали, что тектонические уступы Восточно-Камчатского и Срединного хребтов, окружающих вулканы Ключевской группы, являются фрагментами гигантской кальдеры обрушения, развивающейся синхронно с вулканизмом.

В 1957 г. А.Е. Святловский [196] высказал альтернативную точку зрения, считая, что нет оснований говорить об общем опускании Ключевской группы вулканов, синхронном с вулканизмом. Он пришел к выводу о дифференцированном характере тектонических движений в центральной части вулканического нагорья и на его периферии. По его мнению, вулканы приурочены к сводовому поднятию, окруженному по периферии впадинами, при этом оно развивается синхронно с вулканизмом. Вулканы располагаются на трещинах растяжения в осевой части и на крыльях поднятия.

В 1968 г. А.Н. Сиринов [205] предпринял попытку свести воедино разломные нарушения, выделяемые различными авторами (рис. 4). С его точки зрения, тектоническая структура Ключевского дола складывается из крупных региональных разломов, определяющих расположение главных вулканических сооружений, и из системы более мелких вулканических нарушений, образование которых обусловлено вулканической деятельностью. Нарушения первого типа распространяются по трем направлениям: северо-северо-восточному, северо-восточному и северо-западному. Разломы второго типа пространственно связаны с центральными вулканами, по отношению к которым расположены радиально либо концентрически.

А.Н. Сиринов утверждал, что подавляющее большинство отмеченных на схеме разломов – предполагаемые. Главный признак существования таких нарушений – линейное расположение вулканов, шлаковых конусов и экструзивных образований. Прочие данные весьма немногочисленны. На Ключевском доле, где в общей сложности насчитывается около 300 эруптивных центров, выделение разломов только по одному указанному признаку, по мнению А.Н. Сиринова, может легко привести к чисто геометрическим построениям, что он и пытался продемонстрировать своей схемой (см. рис. 4). На ней видно, что вулканы центрального типа соединены разломами почти во всех возможных направлениях.

В 70-х годах усиливается тенденция к переходу от чисто разломной тектоники к тектонике дифференцированных глыбовых движений. В 1970 г. И.В. Мелекесцев, Т.С. Краевая и О.А. Брайцева [168] на основании детальных геоморфологических исследований пришли к выводу о существовании в пределах Ключевской группы вулканов четырех блоков с разной направленностью тектонических движений в голоцене (см. рис. 3).

1. Блок северного и северо-западного подножий сопки Плоской. Южная граница – р. Студеная, восточная проходит по линии, соединяющей седловину сопки Плоская Дальняя Ключевская с нижней частью долины р. Киргурич. Этот участок характеризуется относительной стабильностью или медленными восходящими движениями в голоцене. Наиболее приподнят участок в районе Бараньих скал (верхове р. Студеной).

2. Блок юго-западного и южного подножий вулканов Толбачик и Зиминых сопки. Северная граница – р. Студеная, восточная – край вулканических плато Удинского дола. Этот участок в голоцене испытывает нисходящие движения, о чем, по мнению авторов [168], свидетельствует широкое развитие здесь послеледниковых наземных дельт, сложенных вулканогенно-пролювиальными и современными флювиогляциальными отложениями.

3. Восточное подножие Ключевской сопки от долины р. Сухой Хапицы на юге до восточной границы первого блока. Блок испытывает нисходящие движения в голоцене, в связи с чем верхнеплейстоценовые ледниковые комплексы перекрыты здесь более молодыми толщами.

4. Блок юго-восточного сектора подножия Ключевской группы вулканов, занятый приподнятыми и разбитыми сбросами участками вулканических плато, примыкающими к хребту Кумроч.

В середине 70-х годов В.А. Ермаков [77] выделил в пределах Ключевской группы уже шесть контрастных неотектонических структур (рис. 5, А).

1. Блок Центрального поднятия. Развивался в течение всего четвертичного времени, постепенно сокращаясь в размерах и приобретая более четкую северо-восточную ориентировку.
2. Хапиченский блок. По мнению В.А. Ермакова, ранее был южной частью центрального поднятия. Его обособление произошло в среднем или позднем плейстоцене.
3. Козыревская впадина. Площадь ее ограничена пос. Козыревском – на севере, пос. Макарьей – на юге, а с запада и востока, соответственно, р. Камчаткой и склонами вулканов Плоский Толбачик и Дальний Плоский. В.А. Ермаков считает, что можно говорить о длительном унаследованном развитии впадины, начиная, по крайней мере, с палеогена.

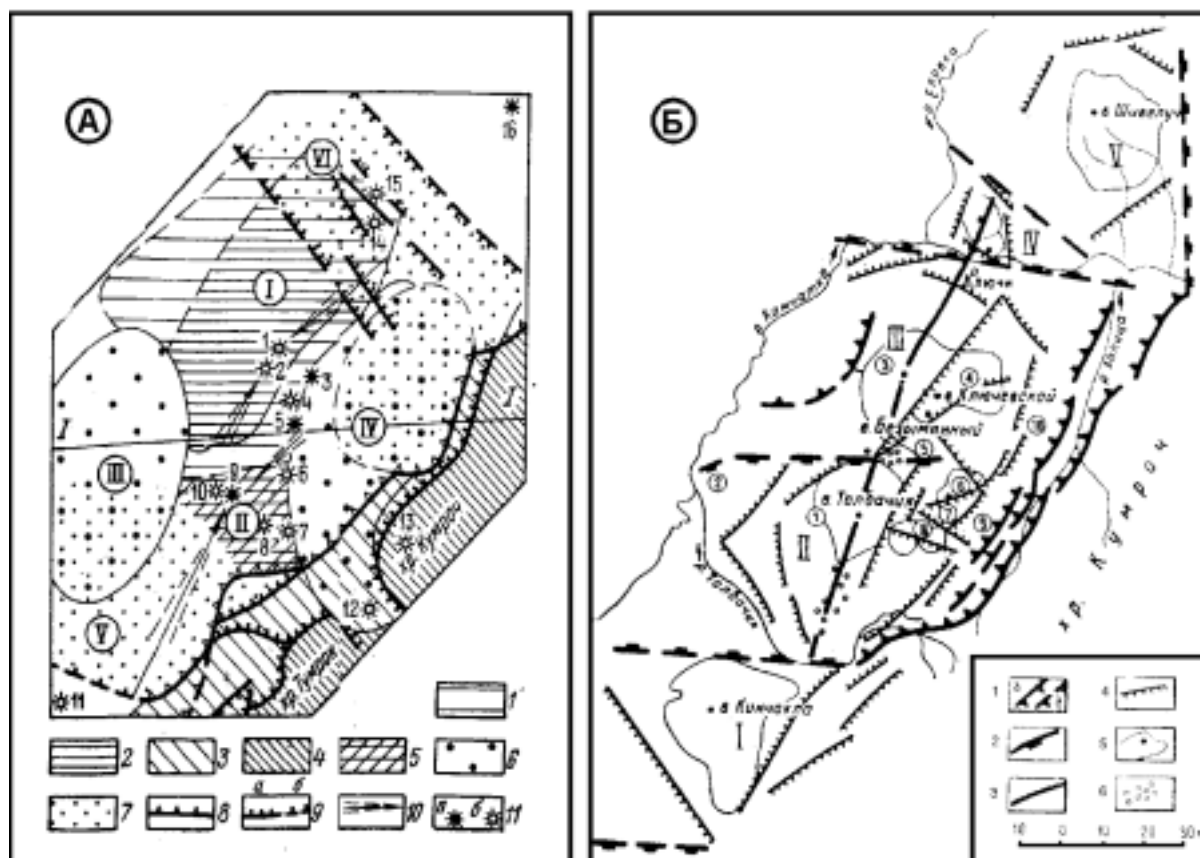


Рис. 5. Тектоника Ключевской группы по В.А. Ермакову (А) и Б.В. Иванову (Б).

А: 1, 2 – центральное поднятие (I) соответственно в допозднеплейстоценовое время и в позднем плейстоцене; 3, 4 – Восточно-Камчатский хребет соответственно в позднем плиоцене – раннем плейстоцене и в четвертичное время, 5 – Хапиченский блок (II), 6 – межгорные впадины (III – Козыревская, IV – Хапиченская), 7 – вулканотектонические депрессии (V – Толбачинская, VI – Ключевской грабен) и площади позднечетвертичной (голоценовой) аккумуляции, 8 – захороненные разломы (магнитная ступень), 9 – разломы (а – выраженные в рельефе, б – предполагаемые), 10 – зоны регионального вулканизма, 11 – вулканы (а – действующие, б – потухшие). Белое поле – не охарактеризованные участки. Вулканы: 1 – Ближний Плоский, 2 – Дальний Плоский, 3 – Ключевской, 4 – Камень, 5 – Безымянный, 6 – группа Зиминых сопок, 7 – Малая Удина, 8 – Большая Удина, 9 – Плоский Толбачик, 10 – Острый Толбачик, 11 – Николка, 12 – Успенский, 13 – Шиш, 14 – Заречный, 15 – Харчинский, 16 – Шивелуч.

Б: 1 – разломы (а – установленные, б – предполагаемые ступенчатые, ограничивающие сводово – глыбовое поднятие Ключевского дола), 2 – структурные мелового фундамента, 3 – глубинные сквозькоровые, контролирующие вулканизм центрального и арельного типов, 4 – ограничивающие отдельные блоки в пределах глыб, 5 – границы вулканических построек, 6 – зона арельного вулканизма. Структуры: I – Кинчоклокская глыба, II – Толбачинская, III – Ключевская, IV – Харчинская, V – Шивелучская. Блоки: 1 – Толбачинский, 2 – реки Студеной, 3 – Северозападный (Ближний и Дальний Плоские), 4 – Ключевской, 5 – Безымянного, 6 – вулканов Зиминых, 7 – Удинский, 8 – Удинских вулканов, 9 – Хапиченский, 10 – Хапиченская депрессия

4. Хапиченская впадина занимает площадь обширной равнины, расположенной между вулканическим нагорьем и хребтом Кумроч. По мнению В.А. Ермакова, развитие впадины началось на базе крутой флексуры и продолжалось в течение всего кайнозоя.
5. Толбачинская депрессия выделена В.А. Ермаковым и Э.Н. Эрлихом во время совместных полевых работ. Она расположена между Толбачинской и Удинской сопками на северо-востоке и вулканом Николка (Кинчокла) на юго-западе. Э.Н. Эрлих [288] приписывает Толбачинской депрессии черты крупной суперкальдеры, происхождение которой связано с вулканизмом в ее пределах. По его мнению, в центральной части депрессии захоронены остатки гигантского щитового вулкана. В свою очередь В.А. Ермаков рассматривает Толбачинскую депрессию как сложное полигенное образование, аналогичное, скорее, выделенному им же Ключевскому грабену, нежели типичным кальдерам.
6. Ключевской грабен, по В.А. Ермакову, занимает площадь от северо-восточного склона Ключевского вулкана до юго-западного подножия вулкана Шивелуч. Осевая его часть занята крупной озерно-аллювиальной депрессией долины р. Камчатки. В своих тектонических построениях В.А. Ермаков наряду с косвенными геологическими признаками широко использует данные ГСЗ, аэромагнитной съемки и гравиметрии.

Примерно в то же время Б.В. Иванов [10, 101] предложил существенно иную схему тектонического строения Ключевской группы вулканов (рис. 5, Б). В основу его построений положен принцип мозаичного строения фундамента вулканической группы. Сложная мозаичная структура фундамента, по его мнению, образовалась в результате воздействия региональных тектонических сил, возникших благодаря расположению района вблизи стыка двух структур – Камчатской вулканической зоны и Алеутской дуги. Рассматриваемые структуры района развивались на выступах и прогибах доверхнемелового фундамента. При таком размещении и напряженной тектонике создался ряд мозаичных глыб, которые определили расположение и характер вулканизма отдельных эруптивных центров.

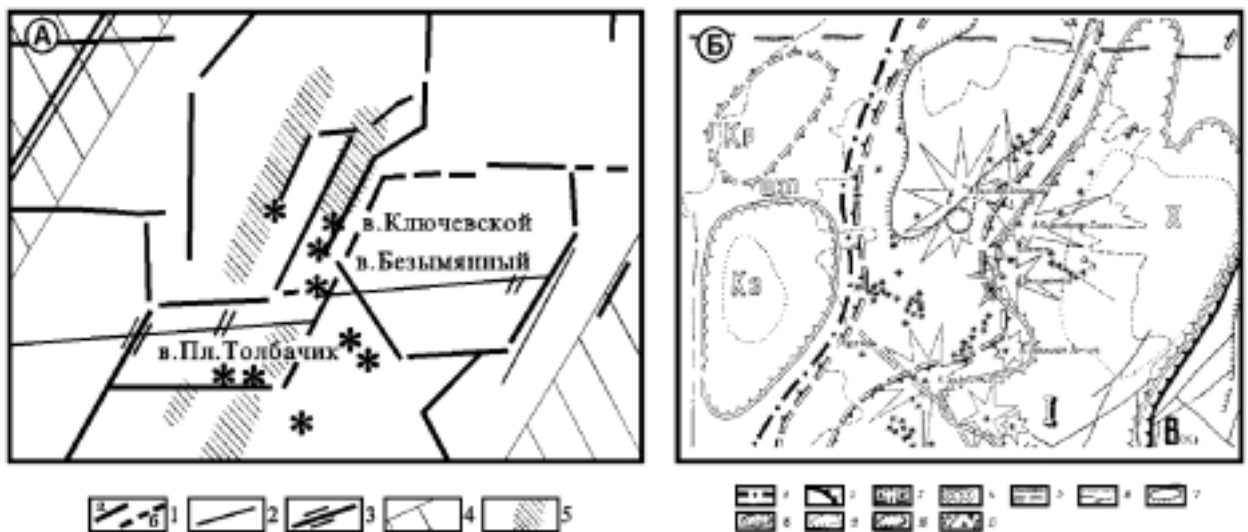


Рис. 6. Результаты интерпретации данных гравиметрической съемки (А – по М.И. Зубину и А.А. Таракановскому [92], Б – по С.Е. Апрелькову [9]).

А: разломы 1 – неглубокого заложения по гравиметрическим данным (а – выделяемые уверенно, б – выделяемые менее уверенно), 2 – геологически установленные, 3 – по данным ГСЗ; зоны 4 – тектонических нарушений регионального характера, 5 – ареального вулканизма.

Б: 1 – Центрально-Камчатский разлом, 2 – антиклинории и горстовые поднятия, 3 – границы погребенных поднятий и блоков (а – локальных, б – региональных), 4 – впадины, 5 – разломы по гравиметрическим данным, 6 – границы вулканических поясов и разломы трассируемые по вулканическим центрам, 7 – поднятые блоки фундамента, 8 – опущенные блоки фундамента, 9 – контуры наиболее глубоких частей впадин, 10 – морфологически выраженные кальдеры, 11 – вулканические постройки (а – стратовулканы, б – шлаковые конусы). Структуры: 1 – Восточно-Камчатская складчатая зона, В(к) – Кумрочский блок, ЦКП – Центрально-камчатский прогиб, Кр – Киреунский блок, Кз – Козыревская впадина, Х – Хапиченская впадина

По совокупности геологических и геофизических данных и дешифрирования аэрофотоснимков Б.В. Иванов выделяет пять мозаичных глыб: Кинчоклокскую, Толбачинскую, Ключевскую, Харчинскую, Шивелучскую. Они разделены разломами широтного и субширотного простирания в западной части района и северо-западного – в северной. Линии разломов, разделяющие глыбы, как правило, геоморфологически выражены долинами рек Толбачиком, Студеной, Камчаткой, Ильчинца. Мозаичные глыбы представляют собой структуры типа горстов (Кинчоклокская, Ключевская или Центральная, Шивелучская) и грабенов (Толбачинский, Харчинский), приподнятых или опущенных относительно друг друга и фиксируемых по гравиметрическим данным [92].

Расположение выделенных мозаичных глыб относительно домелового фундамента и друг друга определяет, по Б.В. Иванову, основные структурные особенности района вулканической группы. В пределах глыб развито большое количество вулканотектонических и тектонических разломов сбросо-взбросового типа неоген-четвертичного возраста, разбивающих глыбы на ряд ступенчатых блоков. Амплитуда сбросо-взбросовых колебаний составляет первые сотни метров. Всего Б.В. Иванов выделил около десяти таких блоков. Расположение их относительно мелового фундамента и друг относительно друга определяет тектонические особенности верхнего структурного этажа, образованного комплексом вулканитов четвертичного возраста, и некоторые локальные особенности вулканизма.

Из сравнения вышеприведенных схем (см. рис. 3 – 5) следует, что отмеченный А.Н. Сириным субъективизм тектонических построений при широком использовании геофизических данных не только не исчез, но наоборот, усилился. Это обусловлено неоднозначностью возможных интерпретаций самих геофизических данных. Проблему подобной неоднозначности мы уже затрагивали в предыдущем разделе по поводу анализа данных ГСЗ. Аналогична ситуация с результатами гравиметрии. В середине 70-х годов М.И. Зубин и А.А. Таракановский [92] провели площадные и маршрутные гравиметрические наблюдения, по результатам интерпретации которых составлена схема разломной тектоники Ключевской группы вулканов (см. рис. 6, А). Эти результаты имели определенное значение в тектонических построениях Б.В. Иванова для выделения границ мозаичных глыб. На рис. 6, Б приведена тектоническая схема, составленная в 1987 г. С.Е. Апрельковым [9] на основании гравиметрической съемки масштаба 1:200000. Показательно, что «достоверно установленные разломы» исчезают с увеличением детальности работ.

Изложенное еще раз подчеркивает сложное тектоническое строение Ключевской группы вулканов. Геофизические методы, ориентированные на выявление локальных неоднородностей в земной коре, оказываются малоэффективными в условиях, когда неоднородности различных масштабов, накладываясь друг на друга, имеют повсеместное распространение. В пределах Ключевской группы, претерпевшей напряженную эволюцию вулканизма в пространстве и во времени, имеет смысл говорить, скорее, о «локальных однородностях» в строении земной коры, если, конечно, таковые имеются.

По своей сути Ключевская группа вулканов представляет собой выход на земную поверхность зоны повышенной проницаемости земной коры. Как показано ранее (см. раздел 1.1.2), эта зона эволюционировала с течением времени, стягиваясь к линии северо-восточного простирания и формируя долгоживущие вулканические центры. Если сам факт заложения и общие тенденции развития зоны повышенной проницаемости земной коры, скорее всего, обусловлены региональными тектоническими (субдукционными) процессами, то локальная тектоника в пределах Ключевской группы вулканов (включая медленные дифференцированные движения ее блоков, заложение, эволюцию, отмирание и повторное возрождение различных разломов, миграцию подводящих каналов), по мнению автора, полностью определяется развитием (точнее саморазвитием) магматической системы в пределах земной коры и верхней мантии под Ключевской группой вулканов. К сожалению, для более или менее полной реконструкции тектонического развития Ключевской группы вулканов данных в настоящее время явно недостаточно.

1.1.5. Современное строение и история развития вулкана

История исследования. Впервые о вулкане Безымянном упоминается в работах С.А. Конради и Н.Г. Келль [127]. С.А. Конради дал название вулкану. Он описывает его как сравнительно слабо

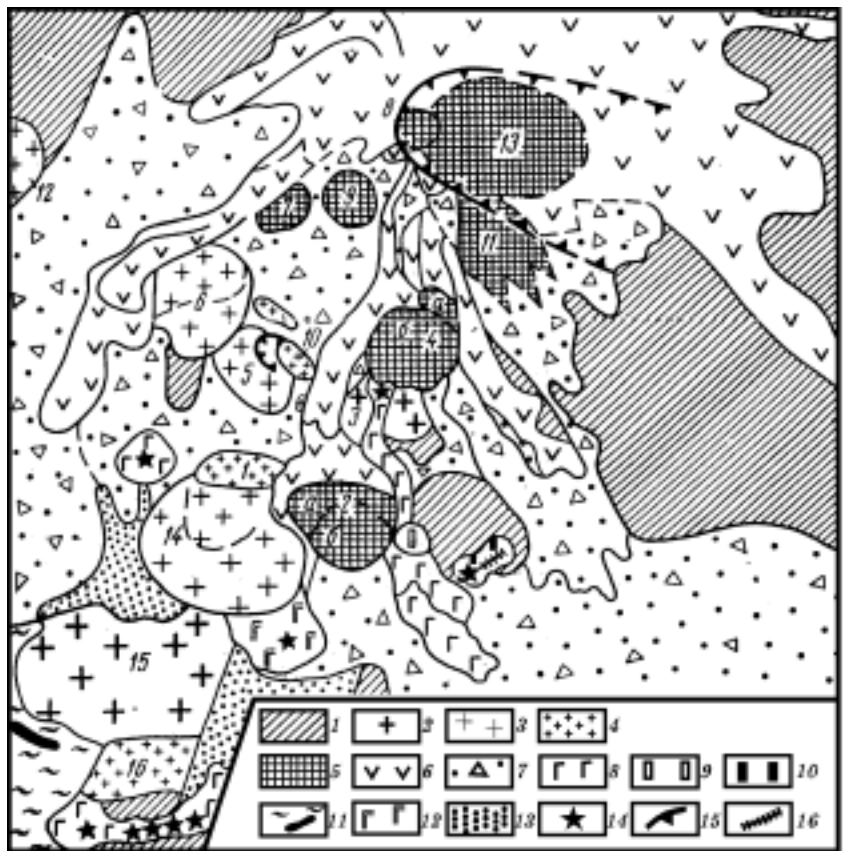
размытый вулкан с двойной вершиной, которая, возможно, представляет остаток небольшой соммы. Краткие сведения о вулкане и его породах опубликованы А.Н. Заварицким [85, 86, 87, 88] на основании обработки материалов и образцов Эрмана, С.А. Конради, А.Г. Трошина, Г.А. Дягилева, К.И. Богдановича и др. А.Н. Заварицкий впервые дал детальное петрографическое описание образцов пород вулкана Безымянного. Большое количество обломков роговообманкового андезита, аналогичного породам экструзий на юго-восточном склоне сопки Безымянной, позволило ему высказать предположение, что в основании сопки Безымянной находится крупная экструзия. В.И. Влодавец в своей работе [43] коротко охарактеризовал морфологию и петрографию района вулкана.

Обзорные исследования в районе вулкана проводил Б.И. Пийп [186, 187]. В работе [187] дается как морфологическая характеристика вулкана, так и его геолого-петрографическое описание. По мнению Б.И. Пийпа, сопка Безымянная – молодой, недавно потухший вулкан. Расположен он на линии сброса древнего вулкана Камень. В своей массе представляет экструзивное тело или вулканический купол. Южный склон покрыт лавовыми потоками, которые скрывают экструзивную лаву главного конуса. Сравнительная свежесть форм дала основание Б.И. Пийпу рассматривать сопку Безымянную как, «*быть может, не совсем еще потухший вулкан*» [186]. Взгляды Б.И. Пийпа на образование сопки Безымянной приведены в последней работе А.Н. Заварицкого [85], которая является результатом обработки материалов аэровулканологической экспедиции 1946 г. В ней даются геолого-морфологическое описание вулкана Безымянного и петрографическая характеристика экструзивных образований у его подножия.

При изучении в 1954 г. южного и западного склонов и западной части вершины сопки Безымянной Г.Е. Богоявленская [21] не нашла достаточно веских фактов, чтобы принять точку зрения Б.И. Пийпа. В этой части постройки обнаружена структура стратовулкана, а признаки купола найдены не были. В

Рис. 7. Схема геологического строения Безымянного по В.А. Ермакову [77].

1 – доголоценовые образования, фундамент вулкана, 2 – верхнеплейстоценовые экструзии, доледниковые или межледниковые (андезитодациты, дациты); послеледниковые голоценовые образования: 3 – столообразные экструзии (субафировые андезиты, андезитобазальты), 4 – то же (андезитодациты), 5 – латеральные и терминальные экструзивные купола (роговообманково-плагиоклазовые андезиты), а, б – фазы внедрения, 6 – лавы вулкана Безымянного (роговообманково-пироксеновые андезиты и андезитобазальты), 7 – нерасчлененные пролювиально-пирокластические образования, агломератовые потоки, 8-12 – продукты ареальных извержений, 13 – рыхлые озерно-пролювиальные отложения, 14 – центры извержений, 15 – контур воронки извержения 1955–1956 гг., 16 – дайки.



Экструзии: 1 – Правильный, 2 – Экспедиции, 3 – Пестрые Хребтики, 4 – Лохматый, 5 – Гладкий, 6 – Двуглавый, 7 – Погребенный, 8 – Экструзивный Гребень, 9 – Высокий, 10 – Побочный (рядом с ним на юге маленький обелиск – Треугольный Зуб), 11 – Старый, 12 – Кулич, 13 – Новый, 14 – Седло, 15 – Плотина, 16 – Кулиса

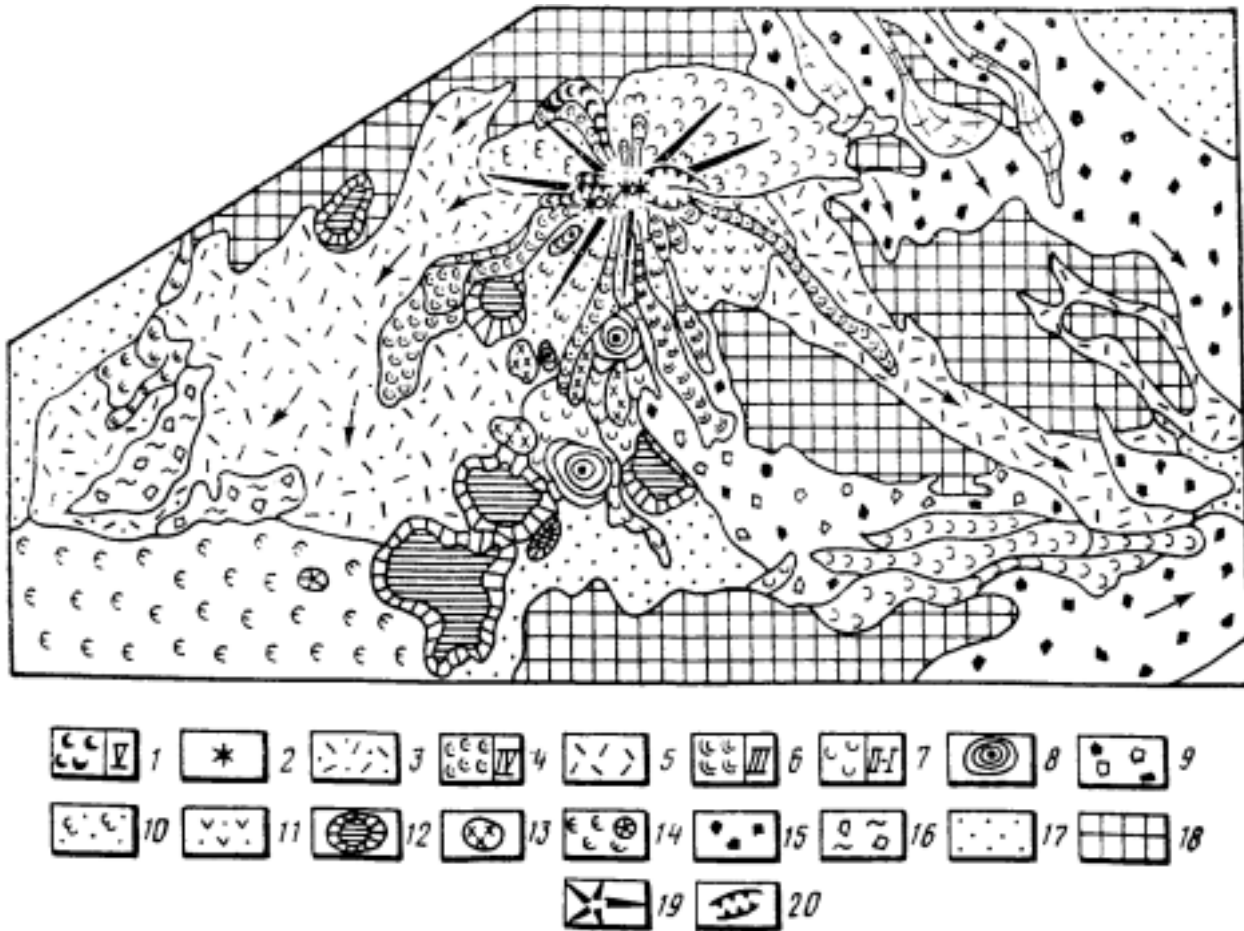


Рис. 8. Схема строения Безымянного до извержения 1955–1956 гг., по О.А. Брайцевой с соавторами [39].

1–11 – голоценовые вулканические образования: 1 – лавовые потоки V возрастной группы, 2 – привершинные эруптивные центры, 3 – пирокластический поток Западный, 4 – лавовые потоки IV, 5 – пирокластический поток Восточный, 6 – лавовые потоки III, 7 – лавовые потоки I и II, 8 – экструзивные купола, 9 – отложения обломочной лавины (обвала?) вулкана, 10 – лавы и пирокластики конуса стратовулкана Безымянного, 11 – постройка вулкана Пра-Безымянного, 12 – верхнеплейстоценовые экструзивные купола типа тютя, 13 – верхнеплейстоценовые экструзивные купола, 14 – голоценовые базальтовые потоки и шлаковые конусы, 15 – обвалы отложения вулканов Камень и Зимина, 16 – морена II фазы позднеплейстоценового оледенения, 17 – аллювиальные и пролювиальные верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения, 18 – породы вулканов Камень и Зимина, 19 – конус стратовулкана, 20 – эксплозивные рывины

1955 г. эти работы были приостановлены, и к моменту начала извержения восточная часть вулкана, уничтоженная в значительной мере в процессе извержения, детально не осматривалась.

До начала первого исторического извержения вулкана в 1955 г. личные наблюдения Г.С. Горшкова (в 1949 г.) ограничивались лишь беглым обзором со стороны. Однако, при дальнейшем изучении этого извержения, Г.С. Горшков [57] пришел к убеждению, что восточную часть массива слагал большой экструзивный купол. Поверхность этого купола была частично разрушена, сильно сглажена и уже потеряла свои характерные черты, но в ходе извержения формы купола отпрепарировались и факт его существования перестал вызывать сомнения. В этой же работе он указывал, что у подножия северо-восточной части массива есть следы лавовых потоков, которые свидетельствуют о былом существовании более древнего, чем купол, стратовулкана.

После катастрофического эксплозивного извержения вулкана 30 марта 1956 г. его строение стало объектом детальных исследований. В этом же году продолжила изучение Г.Е. Богоявленская. В ее работе [22] наряду с описанием последствий указанного извержения вулкана дан обзор основ-

История формирования вулкана Безымянного, по [39]

Возраст, лет назад	Периоды активизации	Основные события в истории вулкана	Состав
30 - наст.	БП	Рост купола Нового в кратере вулкана, связанные с ним пирокластические и лавовые потоки. Катастрофическое извержение: направленный взрыв, разрушение вершины вулкана, извержение пирокластического потока	Андезит
1000 - 30		Период покоя	
1350 - 1000	БП	Излияние лавовых потоков V. Крупное эксплозивное извержение с образованием пирокластического потока Западный. Излияние серии лавовых потоков IV. Крупное эксплозивное извержение с образованием пирокластического потока Восточного, обвал склона вулкана Камень, формирование экструзивного купола Лохматого.	То же
1700 - 1350		Период покоя	
2400 - 1700	Б1	Эксплозивная активность, излияние серий лавовых потоков II и III. Эксплозивная активность, крупное извержение с выбросом пемз в начале периода активизации	Андезит, андезитобазальт
3300 - 2400		Период покоя	
5500 - 3300	Б	Начало формирования стратовулкана Безымянного: эффузивно-эксплозивная активность, излияние лавовых потоков I, формирование экструзивных куполов Экспедиции, Экструзивного Гребня, Треугольного Зуба	То же
7800-5500		Период покоя	
7800 -(10000 -11000)		Формирование вулкана Пра-Безымянного	То же
До (10000 - 11000)		Формирование лавовых куполов типа тюйя – Плотины, Ступенчатого, Двуглавого, Кулича. Формирование экструзивных куполов Гладкого, Правильного, Расчлененного	Базальт, андезит, дацит

ных особенностей его строения до начала его исторических извержений, приведены подробные петрографическая и петрохимическая характеристики вещественного состава извержений как доисторических, так и 1955–1956 гг. Эти результаты наряду с данными всех предыдущих исследований обобщены в совместной работе Г.С. Горшкова и Г.Е. Богоявленской [61], подводящей итог наблюдениям за первым историческим извержением вулкана.

Среди работ последующих лет, имеющих значение для понимания строения и истории развития вулкана, следует особо выделить геолого-петрографические исследования В.А. Ермакова [77] и тефрохронологические – О.А. Брайцевой, В.Ю. Кирьянова [37] и О.А. Брайцевой с соавторами [39]. Выполняя систематическое описание вулканов Ключевской группы, В.А. Ермаков рассмотрел геологическое строение, петрологию и эволюцию вулкана Безымянного и составил геолого-петрографическую схему его окрестностей (рис. 7).

В ходе тефрохронологических исследований [37, 39] уточнена схема геологического строения окрестностей вулкана (рис. 8), выполнено возрастное расчленение экструзивных образований, лавовых и пирокластических потоков, а также сделана попытка восстановления истории формирования вулкана (табл. 1). В истории развития вулкана выделены четыре периода его активизации (Б, Б1, БП, БП1), шесть возрастных групп лавовых потоков, пять групп экструзивных куполов и три разновозрастных пирокластических потока. Однако следует отметить, что тефрохронологический метод при определении интенсивности вулканизма в различные эпохи имеет естественные ограничения, так как мощности пепловых прослоев сильно зависят от вариаций коэффициента эксплозивности. Так, при интенсивном росте экструзивного купола Новый в конце 60-х – начале 70-х годов эксплозивная деятельность практически отсутствовала, и по тефрохронологическим данным этот период мог быть отождествлен с периодом покоя вулкана.

Экструзивные образования. Постройка сомма-Безымянного в южной и юго-западной частях осложнена большим количеством экструзивных образований. В работах Г.Е. Богоявленской [21,22] наряду с экструзивными образованиями Седла (Плотины) описывается семь экструзивных куполов (Гладкий, Правильный, Лохматый, Экспедиции, Побочный, Двуглавый и Ступенчатый). В.А. Ермаков [77] в окрестностях вулкана выделил уже восемнадцать экструзивных образований. Эти данные уточнены в ходе последующих исследований [37,39].

Датирование тефрохронологическими методами экструзивных куполов очень затруднено, поскольку пирокластический чехол на них почти не сохранился. Наиболее древние экструзивные купола, сложенные роговообманково-пироксеновыми дацитами, – Гладкий, Правильный, Расчлененный (62–66 % SiO_2). Плейстоценовый возраст (более 10 – 11 тыс. лет) куполов установлен по обломкам их пород, присутствующим во флювиогляциальных отложениях II фазы позднеплейстоценового оледенения. Несколько позднее (во время II фазы оледенения) сформировались купола типа тюя – Плотина, Ступенчатый, Двуглавый, Разлатый, Кулич, морфология которых указывает на образование при подледных излияниях. Эти купола включают широкий спектр пород – от базальтов и андезитобазальтов (52–56 % SiO_2) Плотины и Ступенчатого до андезитов куполов Двуглавый и Кулич (58–60 % SiO_2).

Среди голоценовых экструзивных куполов выделяются три возрастные группы. Около 5 тыс. лет назад произошло формирование экструзивных куполов Экспедиции, Экструзивного Гребня, Треугольного Зуба, сложенных роговообманковыми андезитами. Около 1300 лет назад образовался экструзивный купол Лохматый, также сложенный роговообманковыми андезитами (61 % SiO_2). У подножия купола отмечены связанные с его формированием небольшие пемзовые пирокластические лавины. Предполагается, что одновременно с куполом Лохматым происходило формирование и другого молодого купола, названного исследователями Разрушенным. С его разрушением связывается образование пирокластического потока Восточного. Завершает ряд голоценовых экструзивных куполов выросший после извержения вулкана 30 марта 1956 г. в образовавшемся кратере купол Новый, также сложенный в основном роговообманковыми андезитами.

Лавовые потоки. Поверхность постройки бронируется лавовыми потоками, свежесть форм которых позволила Б.И. Пийпу [186] отнести сопку Безымянную к потенциально действующим вулканам еще до начала первого исторического извержения вулкана в 1955 г. В восточной части постройки лавовые потоки более короткие, тогда как в западной они достигают длины 5 км при ширине от 150 до 400 м и мощности 15–20 м. Потоки имеют глыбовую поверхность. Состав лав – двупироксеновые андезиты и андезитобазальты (иногда со спорадической роговой обманкой). Характерны крапленники крупных белых табличек плагиоклаза (до 4 мм).

В ходе тефрохронологических исследований определение возраста лавовых потоков проводилось по соотношению с маркирующими пеплами вулкана Шивелуча, а при дальнейшей детализации — по положению внутри пачек пеплов вулкана Безымянного. Выделены шесть возрастных групп лавовых потоков. К I группе отнесены самые древние. Лавы начального этапа формирования вулкана почти повсеместно перекрыты более молодыми отложениями. Окончания их обнаружены только на периферии южного подножия вулкана в ручье Тундровом. По составу потоки отвечают андезитобазальтам (54,5 % SiO_2).

Большинство лавовых потоков на склонах вулкана относится ко II возрастной группе. Они перекрывают весь северный склон. Хорошо выражены и на южном склоне, там, где не перекрыты более молодыми отложениями. По составу это андезитобазальты с содержанием SiO_2 от 54,5 до 57 %. Общий объем лав II группы составил 0,8 км³ (1,84 млн т). В самом конце периода активизации на южном склоне вулкана излились лавовые потоки III возрастной группы. Они очень однородны по составу и отвечают андезитам (59 % SiO_2). Общий объем этих лав 0,15 км³.

Потоки IV группы древнее пирокластического потока Западного и частично перекрыты его отложениями. Их лавы несколько основнее по составу (57,7 – 58 % SiO_2), чем пирокластический поток Восточный и экструзивные купола начала периода активизации БП. Завершился этот период излиянием коротких лавовых потоков V группы в привершинной части вулкана. Некоторые из них связаны с эруптивными центрами, расположенными вдоль западной рывины. Потоки V группы излились после образования пирокластического потока Западного. Они затекают в привершинную

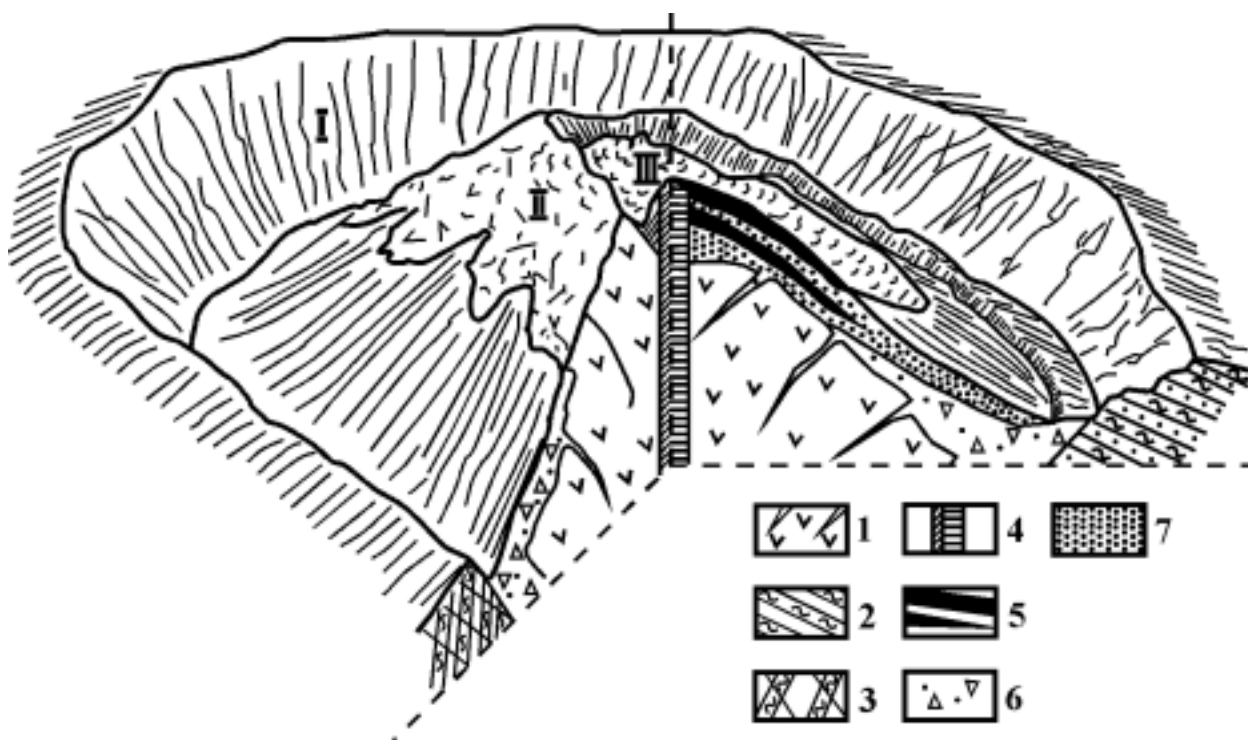


Рис. 9. Блок-диаграмма Безымянного по состоянию на 1979 г.

I – постройка сомма-Безымянного, II – стабильная экструзивная часть современной постройки, III – активный восточный блок; 1 – породы экструзивного купола, 2 – лавовые потоки сомма-Безымянного, 3 – зона мегабрекчий, 4 – предполагаемое положение магмоподводящего канала, 5 – современные лавовые потоки, 6 – мантия экструзивного купола, 7 – вулканокластические отложения последних извержений

западную рытвину, формирование которой связывается исследователями со временем извержения этого пирокластического потока. Состав лав потоков отвечает андезитам с содержанием SiO_2 от 58 до 60,5 %. К VI возрастной группе отнесены лавовые потоки современного эруптивного цикла.

Пирокластические потоки. С вулканом Безымянным помимо пирокластического потока 1956 г. связаны два более старых, которые распространились к западу и востоку от вулкана (см. рис. 8) и были названы исследователями соответственно Западным и Восточным. Более древний Восточный пирокластический поток в настоящее время почти повсеместно перекрыт молодыми отложениями и вскрывается только в долине правого притока р. Сухой Хапицы, впадающего в нее в 3 км от источника. Его извержение произошло около 1300 лет назад.

Отложения этого пирокластического потока представлены светло-серым пеплом с большим количеством обломков плотных роогобманковых андезитов. Размер обломков достигает 40–50 см, есть многочисленные блоки андезитов до 1–3 м в поперечнике. Заполнитель и обломки в пирокластическом потоке очень близки по составу и отвечают андезитам (60–61 % SiO_2). Поток состоит из двух единиц, близких по характеру отложений и составу материала. В кровле нижней единицы отмечены слоистые пирокластические отложения, которые представлены чередованием прослоев пирокластике разной крупности; в основании верхней единицы отмечены два слоя мелкообломочных отложений.

После короткого перерыва последовало новое мощное эксплозивное извержение с образованием крупного пирокластического потока (площадь 20–25 км², объем около 0,3–0,4 км³), который распространился к западу от вулкана. На вершине образовалась эксплозивная рытвина, открытая к западу. Этот пирокластический поток также содержит большое количество глыб рооговообманково-пироксеновых андезитов до 1–3 м в поперечнике. Заполнитель темно-серый, коричневатый или розоватый. По составу обломки и заполнитель сходны между собой (58–58,5 % SiO_2).

Строение. Безымянный представляет собой сложный голоценовый вулкан, который можно в настоящее время разделить на сомма-Безымянный и расположенную внутри кальдеры 1956 г. современную часть постройки вулкана (рис. 9). Постройка сомма-Безымянного представляет собой массив, несколько вытянутый в широтном направлении и состоящий из двух частей. Сохранившийся останец восточной части постройки (по О.А. Брайцевой с соавторами [39] – вулкан Пра-Безымянный) сложен преимущественно пирокластикой – грубыми агломератовыми туфами, прорванными дайками и включающими единичные лавовые потоки. Туфы имеют зеленоватый или коричневатобурый цвет, содержат многочисленные обломки от 5 – 10 см до 1 м в поперечнике. Пирокластика сцементирована слабо и на аэрофотоснимках эта часть вулкана хорошо выделяется рисунком расчленения типа бедленд. Дайки и лавовые потоки по составу отвечают андезитобазальтам (55,5 % SiO_2), заполнитель и обломки в агломератовых туфах охватывают более широкий диапазон пород от андезитобазальтов до андезитов (54,5 – 62 % SiO_2).

Западная часть сомма-Безымянного (по О.А. Брайцевой с соавторами [39] – стратовулкан Безымянный) представляет собой стратовулканический комплекс с преобладанием лав. Соотношение лав указывает на более молодой возраст этой части вулкана, что отмечалось и ранее [61]. Стратовулканическая часть сомма-Безымянного имеет хорошую сохранность, почти не расчленена эрозией и не несет следов ледниковой обработки. Лавовые потоки с сохранившимся первичным микрорельефом прекрасно выражены на северном, южном и юго-западном склонах вулкана. Как уже отмечалось, подножие и склоны этой части вулкана осложнены экструзивными куполами разного возраста и состава. У западного подножия вулкана простирается обширное поле доисторического пирокластического потока. В пределах восточного подножия повсеместно доминируют отложения 1955–1956 гг., которые перекрыли все более древние образования. Абсолютная высота вулкана до извержения 1956 г. составляла 3085 м, а в 1976 г. – около 2886 м по кромке кратера и 2869,1 м – для внутрикратерного купола Нового. Размер кратера 2,8 × 1,3 км. На западном склоне в привершинной части остались фрагменты рывины, которая была здесь хорошо морфологически выражена и до извержения 1955–1956 гг. (см. рис. 8).

За время, прошедшее после извержения 30 марта 1956 г., внутри кальдеры сформировалась современная часть постройки вулкана, три четверти которой занимает экструзивный купол, его рост начался непосредственно после этого извержения. Четвертую часть современной постройки вулкана занимает активный восточный блок, с которым связаны все извержения вулкана, по крайней мере, с середины 70-х годов. По сути этот блок представляет собой своеобразную переходную форму между экструзивным куполом и стратовулканом. Ее возникновение обусловлено, во-первых, тем, что в середине 70-х годов в восточной части экструзивного купола проработался постоянный магмоподводящий канал, что и вызвало локализацию извержений. Во-вторых, с 1976 г. извержения вулкана сопровождаются излиянием лавовых потоков, что ведет к образованию в этой части постройки вулкана стратовулканического комплекса. В то же время еще не потерял своего значения экструзивный процесс, которым в большей или меньшей степени охвачена постройка восточного блока в преддверии эксплозивно-эффузивных извержений. Это обстоятельство является третьей причиной формирования своеобразной структуры восточного блока.

Существование в постройке восточного блока субгоризонтальной неоднородности, характерной для стратовулканов, и субвертикальной неоднородности, свойственной экструзивным куполам, ведет к значительно меньшей прочности восточного блока по сравнению как с экструзивными, так и со стратовулканическими образованиями. Это делает более вероятным возникновение крупных вулканических обвалов, которые могут спровоцировать развитие мощных направленных извержений по аналогии с извержением вулкана Сент-Хеленс в 1980 г. Извержение Безымянного такого типа имело место в 1985 г. Подобные извержения приводят к значительным разрушениям в постройке вулкана, и стратовулканический комплекс начинает формироваться заново.

Фактически происходит не пассивное наложение стратовулканического комплекса на экструзивный купол, а периодическая активная переработка части постройки вулкана. В конечном счете, в формирующемся разрезе будут присутствовать лишь не подвергнувшаяся переработке часть экструзивного купола и достаточно зрелый стратовулканический комплекс. Все свидетельства о наличии переходного периода и постепенной эволюции вулкана будут стерты и

создастся впечатление контрастного, скачкообразного изменения в деятельности вулканического центра. По мнению автора, именно этим процессом, а не существованием двух разновозрастных вулканов (вулкана Пра-Безымянного и стратовулкана [39]) объясняется наличие двух резких различных частей в постройке сомма-Безымянного.

История развития. В ходе тефрохронологических исследований установлено, что во второй половине позднего плейстоцена в районе современного вулкана Безымянного произошло формирование группы экструзивных куполов сначала дацитового и андезитодацитового (Гладкого, Правильного, Расчлененного (он же Пестрые Хребтики по В.А. Ермакову [77])), а затем андезитового и андезитобазальтового (Плотины, Ступенчатого, Двуглавого, Разлатого, Кулича) составов. Нельзя исключить возможности активной экструзивной деятельности и на месте центра современной постройки вулкана Безымянного, положение которого находится внутри зоны образования экструзий. Скорее всего, именно к этому времени нужно отнести рождение самого вулкана как долгоживущего вулканического центра, но подтвердить или опровергнуть это тефрохронологическими методами невозможно из-за позднеплейстоценового оледенения. Наиболее древние из пород, отождествляемых с деятельностью собственно Безымянного, относятся к самому концу позднего плейстоцена – началу голоцена (10,5 – 11 тыс. лет назад, см. 1).

С самого момента рождения история развития вулкана Безымянного характеризуется ярко выраженной цикличностью. Эта цикличность (макроцикличность) просматривается как в изменениях форм деятельности вулкана и эволюции петрографического и петрохимического состава его продуктов, так и в количестве поступающего на поверхность ювенильного материала. Тефрохронологическими исследованиями в его истории установлены четыре эпизода активной экструзивной деятельности в районе вулкана. По нашему мнению, в истории вулкана имели место как минимум пять подобных всплесков высокой экструзивной активности (см. ниже). Их можно рассматривать как своеобразные вехи, помогающие проследить макроцикличность в истории развития вулкана.

Первый эпизод высокой экструзивной активности соответствует формированию упомянутых выше верхнеплейстоценовых экструзий. В ходе их образования произошел постепенный переход от роговообманково-пироксеновых дацитов к андезитам и андезитобазальтам. О последующей эволюции вещества в этом цикле формирования вулкана судить нет возможности в связи с отсутствием данных о возрастной последовательности пород. В наиболее древних породах собственно вулкана Безымянного наряду с пирокластикой присутствуют уже единичные лавовые потоки. Следовательно, к этому времени (7800 – 10000 лет назад) на общем фоне напряженной эксплозивной деятельности произошел переход от экструзивной к эффузивной деятельности. Общая продолжительность цикла, включая период покоя, составила около 5,5 тыс. лет. Вариации содержания в породах кремнекислоты – от 66 до 54,5 %.

Следующий всплеск экструзивной активности в истории вулкана произошел около 5500 лет назад, когда образовались купола Экспедиции, Экструзивный Гребень (Высокий и Погребенный по В.А. Ермакову [77]) и Треугольный Зуб, сложенные роговообманковыми андезитами. В ходе этого макроцикла активность вулкана сохранялась на достаточно высоком уровне более 2 тыс. лет. В этом макроцикле, как и в предыдущем, отмечается антидромная эволюция вещественного состава извергаемых продуктов до андезитобазальтов. Общая продолжительность цикла, включая период покоя, составила около 3,1 тыс. лет. Диапазон изменения вещественного состава по SiO_2 – от 61 до 54 %.

Третий макроцикл в истории вулкана начался мощным эксплозивным извержением около 2400–2300 лет назад. Мощность тефры этого извержения изменяется от 20 до 50 см вблизи вулкана, где она представлена пемзовыми лапилли и гравием, до 2 см в пос. Козыревске, где отложился грубый пепел. Для дальнейшего развития активности вулкана в рассматриваемом макроцикле характерны переход к эффузивной деятельности и излияние потоков дупироксеновых андезитов. Большинство лавовых потоков на склонах вулкана относится к этой возрастной группе, они перекрывают весь северный склон, хорошо выражены и на южном, там, где не перекрыты более молодыми отложениями. С одним из извержений рассматриваемого периода связано образование отложений обвальной обломочной лавины, залегающих в долине восточного купола Лохматого. Структурные формы, с которыми мог быть связан обвал, в современной постройке не выражены. Однако в кальдере вулкана

вскрыт ряд структурных несогласий, свидетельствующих, что ранее могли иметь место крупные разрушения постройки вулкана, залеченные в ходе последующей эффузивной деятельности.

Для этого и последующих макроциклов (в отличие от предыдущих) надежная возрастная последовательность вулканитов дает возможность судить не только об их составе, но и о закономерностях его эволюции во времени. Породы рассматриваемого цикла охватывают диапазон составов от андезитобазальтов до андезитов (содержание SiO_2 от 54,3 до 61,4 %), причем отмечается закономерная смена вещественного состава от более кислых разностей пород к более основным и затем опять к более кислым. Общая продолжительность этого макроцикла, включая период покоя, составила немногим более 1000 лет.

Четвертый макроцикл в истории формирования вулкана начался около 1350 лет назад с мощного эксплозивного извержения, за которым последовал очередной всплеск экструзивной активности вулкана. В это время начинается формирование экструзивных куполов Лохматого (61 % SiO_2) и Разрушенного. Последний, по мнению авторов [39], формировался на восточном склоне в привершинной части вулкана и был полностью уничтожен извержением 1956 г. Особенностью этого макроцикла стало развитие крупных эндогенных разрушений постройки вулкана, сопровождающихся формированием пеплово-глыбовых пирокластических потоков. Первое такое извержение произошло около 1300 лет назад. Образовался пирокластический поток (площадь 6 км², объем материала 0,1 км³), который распространился в восточном направлении. На вершине вулкана возникло углубление типа неглубокого кратера, открытого на восток. Заполнитель и обломки в пирокластическом потоке близки по составу и отвечают роговообманковым андезитам (60 – 61 % SiO_2). После извержения пирокластического потока Восточного активность вулкана продолжилась серией эксплозивных извержений и излиянием лавовых потоков. Лавы представлены двупироксеновыми андезитами и менее кислые по составу (57,7 – 58 % SiO_2), чем пирокластический поток и экструзивные купола начала периода активизации.

После короткого перерыва последовало новое мощное эксплозивное извержение с образованием крупного пирокластического потока (площадь 20–25 км², объем около 0,3–0,4 км³), который распространился к западу от вулкана. На вершине образовалась рытвина, открытая к западу. Этот пирокластический поток также относится к типу пеплово-глыбовых и содержит большое количество глыб роговообманково-пироксеновых андезитов до 1–3 м в поперечнике. По составу обломки и заполнитель сходны между собой (58 – 58,5 % SiO_2). Завершилась активность вулкана в рассматриваемом макроцикле излиянием коротких лавовых потоков в привершинной части вулкана (SiO_2 от 58 – 60,5 %).

В целом по четвертому макроциклу состав вулканитов отвечает андезитам с содержанием SiO_2 57 – 62 %. При этом еще более отчетливо просматривается общая тенденция к закономерной смене вещественного состава – от более кислых разностей пород к более основным и затем опять к более кислым. Общая продолжительность цикла составила около 1300 лет, из которых около 1000 лет приходится на завершающий период покоя. Свежесть форм и хорошая сохранность кратера позволили Б.И. Пийпу [186] рассматривать сопку Безымянную как «быть может, не совсем еще потухший вулкан», что и подтвердилось в 1955 г.

Пятый, современный, макроцикл начался в 1955 г. с мощного эксплозивного извержения, сопровождавшего интенсивное развитие экструзивного процесса. Последний спровоцировал крупнейшее в голоценовой истории развития вулкана разрушение его постройки с образованием кальдеры с размерами 1,5 × 2,5 км и объемом 0,738 км³ [197]. Сразу после образования кальдеры в ее пределах началось формирование экструзивного купола Нового.

К середине 70-х годов в постройке вулкана проработался магматический канал, а в характере извержений все большее значение стала приобретать эффузивная деятельность при одновременном снижении роли экструзивной. В пределах восточной части купола начала формироваться структура, переходная от экструзивной к стратовулканической. При формировании этой переходной структуры весьма вероятны крупные вулканические обвалы с последующим развитием мощного направленного извержения, после чего стратовулканический комплекс формируется практически заново.

Пирокластика и лавы современного этапа развития вулкана варьируют от роговообманковых андезитов в 1956 г. (59 – 60 % SiO_2) до двупироксеновых андезитобазальтов в 80-х годах

(до 56 % SiO₂). Следовательно, в современном развитии вулкана Безымянного имеет место антидромная тенденция в эволюции вещественного состава, характерная для начальных стадий всех предшествующих макроциклов.

Помимо макроцикличности в работе вулкана отмечаются и направленные изменения в его деятельности. От цикла к циклу просматриваются следующие наиболее общие тенденции:

- к пространственной локализации развития экструзивного процесса в начальные стадии макроциклов, соответствующая по своей сути переходу от ареальной экструзивной активности через латеральную к терминальной;
- к последовательному снижению от цикла к циклу среднего коэффициента эксплозивности, достигавшего максимальных значений в первом макроцикле;
- к уменьшению от цикла к циклу размаха колебаний в вещественном составе. Вариации в содержании SiO₂ уменьшаются от 66 – 54,5 % для первого макроцикла, до 62 – 57 % для четвертого;
- к сокращению временной длительности макроциклов от 5,5 тыс. лет (первый) через 3,1 тыс. лет (второй) до 1 – 1,3 тыс. лет (третий и четвертый);
- к повышению деструктивной активности вулкана, разрушению его постройки. Первые признаки появляются в третьем макроцикле – формирование обвально-обломочной лавины. Для четвертого макроцикла становятся характерны пеплово-глыбовые потоки, формирующиеся при разрушении привершинных частей вулкана. И, наконец, в пятом, современном, макроцикле – полное разрушение значительной части постройки вулкана.

Перечисленные особенности можно рассматривать как своеобразный мегацикл в развитии вулкана Безымянного, начавшийся в позднем плейстоцене. Вполне вероятно, что для истории вулканической активности в районе современного положения Безымянного этот мегацикл не единственный. Предположение о том, что древний купол Безымянного вырос в кратере предшествующего стратовулкана, высказывал Г.С. Горшков [57]. Однако какой-либо фактический материал, позволяющий подтвердить, опровергнуть или развить это предположение, в настоящее время отсутствует.

1.1.6. Сейсмическое сопровождение извержений

Дополнительную информацию о динамике развития извержений дает анализ сопутствующих им сейсмических событий. Для Безымянного они представлены вулканическими землетрясениями и непрерывно-спазматическим дрожанием.

Все землетрясения с очагом под вулканом Безымянным резко отличаются от местных тектонических землетрясений – большими периодами объемных волн и малыми фиктивными скоростями их распространения, а также наличием длинного шлейфа интенсивных поверхностных волн [241]. Записи однотипных землетрясений, зарегистрированных однотипной аппаратурой в одной и той же точке, но в различное время, очень похожи друг на друга и часто с точностью до деталей повторяют одна другую. Можно полагать, что вулканические землетрясения – следствие скачкообразного нарушения сплошности и смещения пород по образующимся разрывам. Поэтому анализ динамики сейсмической подготовки извержений позволяет судить о закономерностях развития деформационно-экструзивного процесса, предвещающего извержение. А выявление этих закономерностей открывает путь для прогноза активности вулкана.

Для исследования динамики бурных эксплозивно-экструзивных или эксплозивно-эффузивных кульминаций извержений большой интерес представляет изучение сопровождающего их непрерывно-спазматического вулканического дрожания. Это особенно необходимо в те периоды, когда визуальные наблюдения за развитием извержения невозможны. Эта дополнительная информация широко использовалась автором при реконструкции развития извержений вулкана в 1981 – 1987 гг. (см. раздел 1.2.4). При этом разработана простая, но, на наш взгляд, довольно эффективная методика. Ее суть можно охарактеризовать следующим образом.

Энергия низкочастотного дрожания определяется по формулам [29]

$$E(r)_R = \frac{4,48}{0,62^2} \pi \rho c_1^2 r e^{2k_1 r} \left(\frac{A_z^2}{T} \right)_{cp.} \Delta t \quad \text{для волн Релея}$$

$$E(r)_L = 4 \pi^3 \rho c_2 r H e^{2k_2 r} \left(\frac{A_y^2}{T} \right)_{cp.} \Delta t \quad \text{для волн Лява.}$$

Здесь ρ – плотность грунта; c – скорости распространения; k – коэффициент затухания; T – период волны; A – амплитуды смещения на вертикальной (A_z) и горизонтальной (A_y), перпендикулярной направлению волны, составляющих; Δt – интервал времени, для которого определяется энергия и на котором амплитуды и периоды колебаний неизменны; r – расстояние от точки регистрации до эпицентра источника дрожания; H – толщина слоя, в котором распространяется волна Лява.

Как видно из этих формул, определение абсолютных значений энергии вулканического дрожания представляет собой довольно сложную задачу. В то же время по своей точности эти формулы позволяют лишь оценить порядок величины энергии вулканического дрожания. Однако для установления его связи

с процессами, происходящими в этот момент на вулкане, вполне достаточно иметь представление об относительном изменении выделения сейсмической энергии в ходе извержения, а также возможность сравнивать сейсмическую энергию различных извержений между собой. При регист-

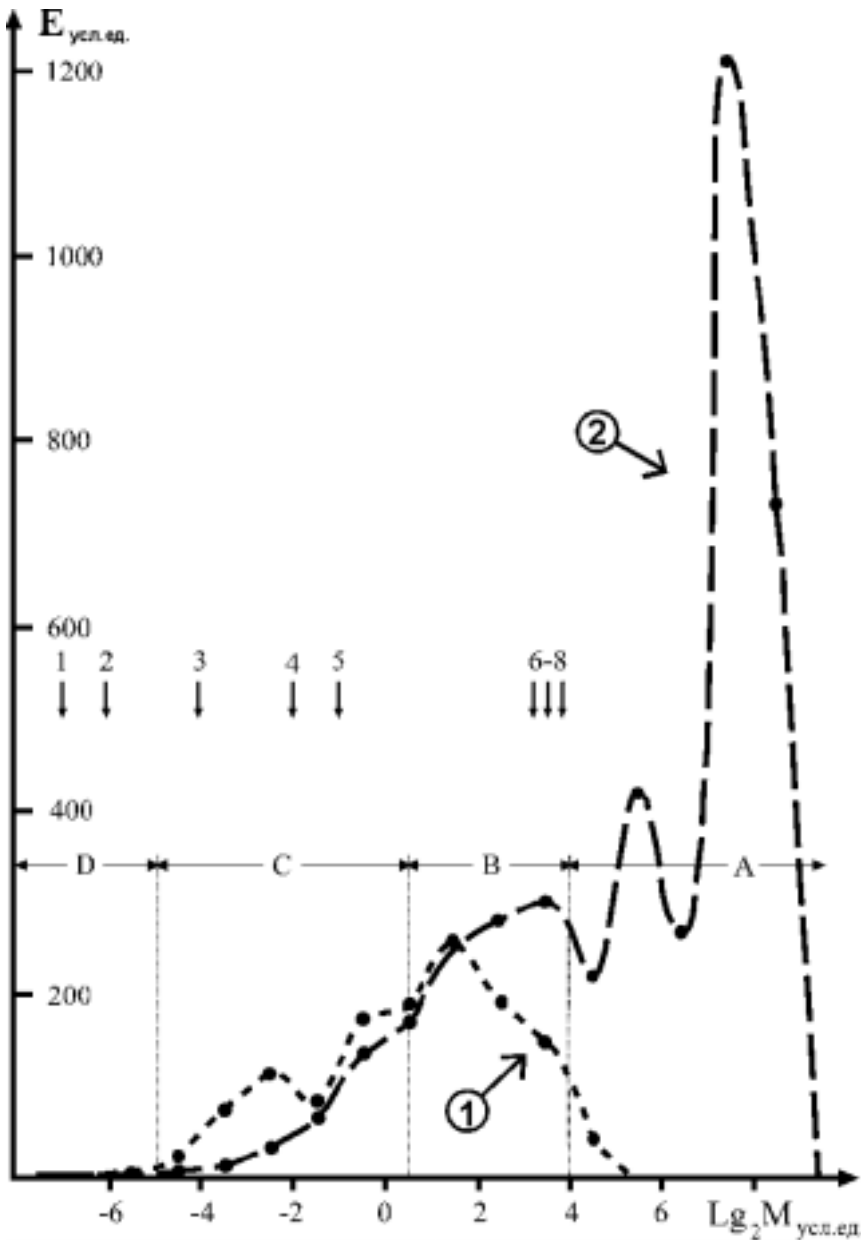


Рис. 10. Энергетические спектры сейсмического сопровождения кульминаций извержений осенью 1984 г. (1) и летом 1985 г. (2).

Вертикальными стрелки – уровни максимальной мощности сейсмического сопровождения обвальных лавин 12 и 18 июня 1985 г. (1–2), автоэкслозивных лавин 24–25 июня 1985 г. (3–5), пирокластических потоков 29 июня, утром 1 июля и утром 2 июля 1985 г. (6–8). Горизонтальные – диапазоны максимальной мощности сейсмического сопровождения, соответствующие спровоцированной пароксизмальной эксплозивности (А), формированию пирокластических потоков (В), автоэкслозивных (С) и обвально-каменных (D) лавин

рации вулканического дрожания от одного и того же источника в одной и той же точке можно перейти к относительным единицам и считать, что энергия и мощность дрожания пропорциональны отношению квадрата амплитуд колебаний грунта в пункте наблюдения к периоду колебаний.

При обработке результатов регистрации вулканического дрожания сейсмической станцией Апахончич мы использовали следующие допущения.

1. Провели поминутную обработку записей вулканического дрожания.
2. Изучали изменения мощности и энергии вулканического дрожания по волнам Лява (составляющая «Север-Юг» с/ст Апахончич), так как относительные изменения по мощности и энергии вулканического дрожания для волн Релея одинаковы.
3. В ходе обработки использовали максимальные амплитуды, так как, по мнению П.И. Токарева [236], *«для практических целей наиболее просто определять максимальные смещения в наиболее характерных цугах. При детальном анализе определяется среднеквадратичная амплитуда по записи около 1 мин. Обычно она составляет 0,25 – 0,5 максимальной амплитуды. Установив эту зависимость, в дальнейшем при рутинной обработке можно пользоваться максимальными амплитудами»*.
4. Колебания с максимальной амплитудой имеют период около 1 с, тогда как изменчивость квадрата максимальной амплитуды составляет несколько порядков (например, для извержения 13–14 октября 1984 г. – 4 порядка, для извержения 29 июня – 2 июля 1985 г. – 6 порядков). В связи с этим период колебаний мы рассматривали как величину условно постоянную, которая также исчезает при переходе к относительным единицам.

В конечном счете при обработке непрерывно-спазматического дрожания, сопровождавшего кульминации извержений Безымянного в 1981–1987 гг., за единицу мощности вулканического дрожания принята мощность дрожания, которая на с/ст Апахончич вызывает в течение минуты максимальное смещение грунта 1μ по составляющей «Север-Юг». Применение этой простейшей методики отнюдь не исключает возможность перехода от условных единиц к абсолютным, если такая необходимость возникнет. Расчеты по общепринятым методикам (см. приведенные выше формулы) показывают, что одна условная единица мощности равна $7,1 \cdot 10^5 \text{ Вт}$, а в течение минуты вулканического дрожания такой мощности выделяется $4,2 \cdot 10^7 \text{ Дж}$.

Продемонстрируем возможности данной методики на следующем примере. Если по горизонтальной оси откладывать логарифм мощности вулканического дрожания в условных единицах ($M_{\text{усл.ед.}}$), а по вертикальной – вклад в сейсмическую энергию дрожания такой мощности ($E_{\text{усл.ед.}}$), то будем иметь энергетический спектр извержения (рис. 10). Сопоставляя подобные спектры для разных извержений, можно, например, сделать вывод о том, что, в отличие от извержения вулкана осенью 1984 г., в ходе эксплозивной кульминации извержения летом 1985 г. большая часть энергии выделялась при вулканическом дрожании повышенной мощности. В то же время различным формам извержения соответствует и разный уровень максимальной мощности сейсмического сопровождения. И, если нельзя однозначно определять по вулканическому дрожанию, какие процессы происходят в этот момент на вулкане, то уже достаточно уверенно можно судить о том, каких процессов в этот момент не было. Так, при анализе энергетических спектров (см. рис. 10) можно сделать вывод о том, что большая часть сейсмической энергии в извержении летом 1985 г. выделялась в области спровоцированной пароксизмальной эксплозивности, в то время как в извержении осенью 1984 г. вклад вулканического дрожания с такой мощностью мал, а в сейсмическом сопровождении остальных обработанных извержений (1981-1987 гг.) оно вообще отсутствовало.

1.2. Динамика извержений вулкана

Наблюдение за извержениями осложняется рядом факторов. Даже при круглогодичном нахождении в районе извергающегося вулкана без приложения дополнительных усилий и при отсутствии четко отработанной методики исследований так называемые визуальные наблюдения оказываются малоинформативными. Описанию извержений вулкана Безымянного посвящено большое количество работ, однако изложенный в них фактический материал в плане описания происходящих на вулкане процессов чрезвычайно разрознан, временами весьма скуден, отрывочен и субъективен и требует обобщения и сведения в единую систему. Поэтому автор считал необходимым выполнить реинтерпретацию имеющегося материала, взяв за основу собственные наблюдения 1980 – 1987 гг.

С конца сентября 1955 г. постройка вулкана оказалась под воздействием мощного деформационно-экструзивного процесса, о чем свидетельствовала нарастающая интенсивность землетрясений с эпицентрами в районе вулкана. Ко второй половине октября в привершинной части постройки сформировалась ослабленная зона, через которую стал возможен прорыв летучих, в результате чего 22 октября 1955 г. усиливающимися газопепловыми выбросами началось первое историческое извержение вулкана. Достигнув максимума в первых числах ноября, эксплозивная деятельность стала снижаться и с декабря была представлена лишь одиночными газопепловыми выбросами и формированием автоэксплозивных лавин с растущей в кратере вулкана экструзии. 30 марта 1956 г. в результате продолжающегося деформационно-экструзивного процесса восточная часть постройки вулкана потеряла свою устойчивость и была разрушена мощным направленным эксплозивным извержением. Сразу после этого в образовавшейся кальдере вулкана начал расти экструзивный купол. Его непрерывный рост продолжался до начала 1957 г. С 1957 г. процесс извержений вулкана стал носить импульсный характер. Разделенные периодами покоя всплески эксплозивно-экструзивной активности вулкана имели место в феврале, июле и декабре 1958, в марте и октябре 1959, в апреле 1960 гг. Начиная с экструзивно-эксплозивного извержения вулкана в марте 1961 г., характер его активности несколько изменился и стал непрерывно-импульсным. После вспышек активности стабилизация вулкана происходила, как правило, при сохранении достаточно высокого уровня его экструзивной деятельности. Усиления активности вулкана, сопровождающиеся эксплозивной деятельностью преимущественно в виде нисходящих автоэксплозивных лавин и отдельных газопепловых выбросов, имели место в июне и декабре 1961, мае и декабре 1962, летом 1963, июле – сентябре 1964 гг.

В извержении вулкана в марте 1965 г. произошли первые крупные разрушения растущего в кальдере вулкана экструзивного купола. После этого извержения общий фон экструзивной деятельности повысился, а максимальный уровень вспышек активности, напротив, снизился. Характер активности вновь несколько поменялся с непрерывно-импульсного на непрерывный. Усиления активности вулкана сопровождались в основном увеличением интенсивности экструзивной деятельности, а также числа и мощности обвальных лавин. Эксплозивная форма деятельности проявлялась изредка и лишь в форме небольших автоэксплозивных лавин. Более сильная вспышка эксплозивной активности вулкана отмечена только в октябре 1969 г., когда еще раз произошли крупные разрушения растущей экструзии, обусловившие формирование более мощных автоэксплозивных лавин и небольших пирокластических потоков.

Непрерывный характер извержений вулкана сохранялся до второй половины 70-х годов. К концу этого периода в активности вулкана стала усиливаться роль эксплозивной формы деятельности в основном за счет явления автоэксплозивности при формировании обвальных лавин. В марте 1977 г. было довольно сильное извержение, в ходе которого произошли крупные разрушения постройки вулкана, спровоцировавшие бурную эксплозивную деятельность вулкана, а в образовавшуюся на восточном склоне купола Нового впадину излился первый для исторического цикла активности вулкана лавовый поток. С этого момента характер эруптивной активности вулкана вновь стал импульсным. Сильные эксплозивные извержения, предварявшиеся нарастающим развитием экструзивного процесса и сопровождающиеся излиянием лавовых потоков стали чередоваться с довольно длительными (до года и более) периодами спокойного состояния. После марта 1977 г. импульсы активности вулкана имели место в сентябре-октябре 1978, феврале и сентябре 1979, апреле и августе 1980, июне и декабре 1981, июне 1982, мае 1983, феврале и октябре 1984, июне – июле 1985, июне и декабре 1986 гг.

В восточном секторе купола благодаря сочетанию экструзивной и эффузивной форм деятельности вулкана стала формироваться структура, переходная от экструзивной к стратовулканической и из-за наличия субвертикальных и субгоризонтальных неоднородностей менее устойчивая. В результате для извержений вулкана стали нередки крупные разрушения постройки активного блока купола Нового. Наиболее крупные имели место в ночь на 1 июля 1985 г., что спровоцировало самое мощное после 1956 г. извержение вулкана.

В 80-е годы вновь стала прослеживаться тенденция к изменению характера извержений от импульсного через непрерывно-импульсный к непрерывному. С июня 1981 г. по июнь 1982 г. сохраняющаяся фоновая активность вулкана обусловила затяжное экструзивно-эффузивное извержение; во второй половине 1985 г. после летнего импульса активности вулкана продолжающийся деформационно-экструзивно-эффузивный процесс привел к формированию двух лавовых потоков в августе и декабре. Еще больше усилилась тенденция перехода к непрерывному характеру извержений во второй половине 80-х годов: после всплеска активности в декабре 1986 г. последовало затяжное экструзивно-эффузивное извержение, продолжавшееся более года; в аналогичное состояние перешел вулкан и после эксплозивной деятельности в августе 1989 г.

В целом в ходе исторических извержений вулкана происходит закономерная эволюция как форм извержений вулкана (с постепенным замещением экструзивного процесса эффузивным), так и его постройки (от экструзивного купола к стратовулкану), соответствующая эволюции вулкана в более ранних макроциклах (см. раздел 1.1.5). Еще одна характерная особенность извержений Безымянного – их полицикличность. Как при импульсном, так непрерывном режиме извержений, их развитие, как правило, осложняется кратковременными усилениями и ослаблениями активности, которые в свою очередь могут осложняться еще более мелкими неоднородностями.

1.2.1. Условия наблюдений

Вулкан Безымянный скрыт вершинами других сопков и наблюдать за ним невозможно практически из всех населенных пунктов, опоясывающих Ключевскую группу вулканов. Его вершина видна только из пос. Козыревска (45 км к западу от вулкана) и из д. Камаки (65 км к северо-востоку от вулкана). Благодаря этому, до начала своих исторических извержений о его существовании мало знали даже коренное местное население. Весь ход развития исторических извержений вулкана обусловил тот факт, что наиболее информативные наблюдения за вулканом возможны лишь с восточного и юго-восточного направлений. После локализации процесса извержений в пределах активного восточного блока вулкана наблюдениям с запада (из пос. Козыревска), стали доступны лишь парогазовые и газопепловые выделения над вулканом и их подсветка в ночное время.

Пункты наблюдений показаны на рис. 11. Основной из них – у окончания лавового потока Апахончич (16,5 км от вулкана), где в октябре 1960 г. была организована сейсмическая станция Апахончич (см. рис. 11, пункт 1). В конце 80-х годов в связи с переводом сети сейсмических станций на телеметрическую передачу данных с/ст Апахончич была законсервирована. Наблюдательный пункт у лагеря Карпинского (см. рис. 11, пункт 2) использовался лишь в начале исторических извержений вулкана. Серьезный недостаток этого пункта заключается в том, что процессы, происходящие в кальдере вулкана, не просматриваются из-за склонов сомма-Безымянного, над которыми видны лишь самые верхние части экструзивного купола и активного блока.

Вторым по значимости после с/ст Апахончич многие годы оставался лагерь Грива, расположенный в 3,5 км от центра вулканической постройки вблизи северо-восточного окончания стенок кальдеры (см. рис. 11, пункт 3). В середине 60-х годов здесь организовали временную сейсмическую станцию. Условия наблюдений из этого пункта были исключительно благоприятны, но, как показало дальнейшее развитие событий, далеко небезопасны: в 1985 г. два базовых домика, из которых собственно и состоял лагерь были сметены направленным извержением вулкана.

Поскольку подобное развитие событий летом 1985 г. ожидалось [149], то за ходом этого извержения следили из временного наблюдательного пункта, расположенного в 8,3 км от вулкана на северных отрогах Зиминых сопков (см. рис. 11, пункт 5). После разрушения лагеря Грива вторым по

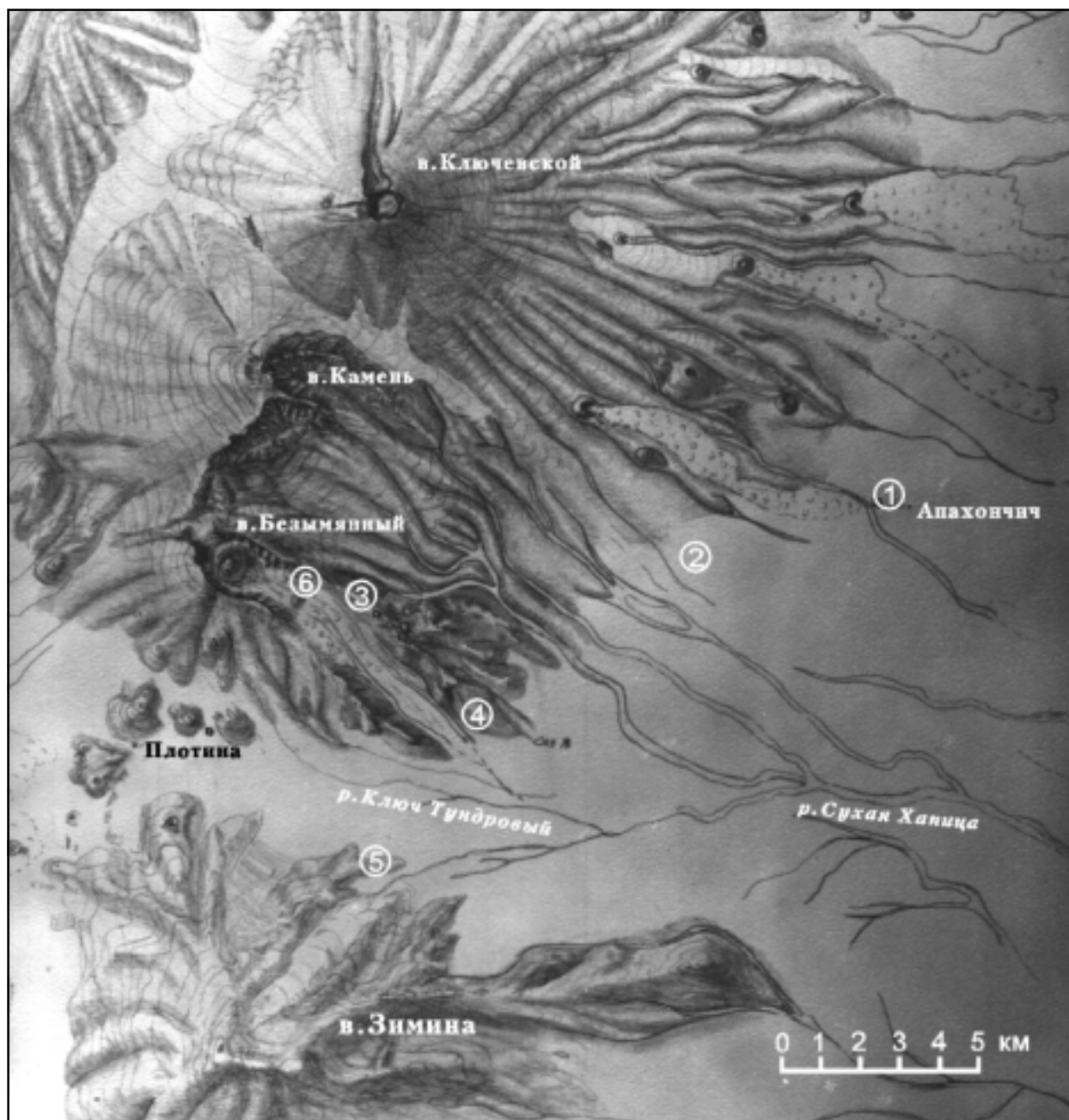


Рис. 11. Расположение основных пунктов наблюдений за извержениями Безымянного (цифрами обозначены наблюдательные пункты, см. текст).

значимости после с/ст Апахончич пунктом базирования стал лагерь Нижний (см рис. 11, пункт 4, рис. 12), расположенный в 7,4 км от вулкана и достаточно безопасный. Для проведения наиболее детальных наблюдений автор использовал смотровую площадку (см. рис. 11, пункт 6), расположенную у самого подножия активного восточного блока в зоне стыка северо-восточной части кальдеры и выходящего в этом районе из атрио вулкана каньона.

Восточно-юго-восточный сектор вулкана, где находятся основные пункты наблюдений, не населен, труднодоступен и отличается крайне неблагоприятным для наблюдений микроклиматом. По результатам многолетних наблюдений с сейсмической станции Апахончич вулкан бывает доступен для наблюдений не более 190–200 дней в году. Однако наблюдения и в эти дни далеки от идеала. Летом часто в самую хорошую погоду вулкан бывает открыт лишь в ранние утренние часы, после

Рис. 12. Базовый лагерь Нижний, использовавшийся автором при проведении наблюдений в 1985–1987 гг. (январь 1987 г.).



чего его быстро окутывают облака и наблюдения прерываются. Местные жители дали району Сухой Хапицы недобрые клички – «Гнилой Угол» и «Кислая Яма»: здесь стоит туман, даже когда кругом ясная погода. При низкой облачности автору иногда удавалось прорваться сквозь него, поднявшись еще на 300 – 400 м вверх по склону вулкана.

Лучше условия для наблюдений в зимний период, когда облачность скрывающая вулкан, отсутствует иногда целыми неделями. В то же время движение масс воздуха через перевал между Зимиными сопками и Безымянным обуславливает своеобразную ветровую специфику района. Сильные ветра зимой срывают снежный покров и переносят его вдоль поверхности земли, образуя при ясной погоде в 3–4-метровом слое воздуха своеобразную низовую пургу. Летом эти же ветра поднимают с поверхности пирокластических потоков пепел и песок. По самому полю этих потоков часто гуляют смерчи и вполне понятно, что проведение наблюдений в таких условиях весьма затруднительно.

Дополнительные трудности в этом плане создаются деятельностью самого вулкана. Как уже отмечалось, с начала его исторических извержений наблюдения за ним наиболее информативны из восточно-юго-восточного сектора, а в последние десятилетия, в связи с локализацией активности в пределах восточного блока, этот сектор стал единственным местом, откуда получают информацию о протекающих на вулкане процессах. Однако в хорошую погоду над Камчаткой господствуют ветра западных направлений, благодаря которым шлейф постоянных парогазовых (а при усилении активности вулкана – газопепловых) выделений вулкана сносится в восточном направлении, зачастую полностью скрывая от наблюдателей вершинную часть постройки вулкана.

Обратная ситуация возникает при смене направления ветра в верхних слоях атмосферы с западного на восточное. В этом случае, даже при высокой активности вулкана, – сильный ветер срывает с его поверхности завесу парогазовых и газопепловых выделений, обнажая мельчайшие детали строения активного блока и позволяя заглянуть в суть происходящих процессов. Но эта смена направления ветра – предвестник приближающегося циклона и резкого ухудшения погоды. Поэтому исключительно благоприятные для наблюдений периоды весьма кратковременны (не превышают суток) и редки (не более 2 – 3 в месяц) и бывает, что в течение многих месяцев нет никаких результатов лишь по той простой причине, что вулкан находится в состоянии покоя.

Все перечисленное выше можно рассматривать как совокупность объективных факторов, осложняющих выполнение наблюдений за извержениями вулкана Безымянного. В то же время большое влияние на получение сведений о развитии извержения имеет субъективный фактор, т.е. сама возможность восприятия развивающегося процесса наблюдателем. Дело в том, что процессы, протекающие на вулкане, имеют различные временные масштабы. Это далеко не способствует восприятию их человеком. В ходе медленно протекающих процессов вулкан день за днем, неделю за неделей

остается, казалось бы, в одном и том же неизменном состоянии. Накапливающиеся в ходе этих процессов плавные изменения оказываются за пределами восприятия человеческой психикой.

Другую крайность составляют такие быстро развивающиеся процессы, как движение пирокластических потоков, автоэкссплозивных лавин, вулканических обвалов. При наблюдении за ними многие немаловажные детали попросту выпадают из восприятия, тем более, что внимание исследователя поневоле приковывают другие, зачастую второстепенные, детали: вспышки молний, треск грозных разрядов и все то грозное великолепие, которое сопровождает эксплозивные извержения.

Все это делает наблюдения за развитием процесса извержений не такой тривиальной задачей, как это может показаться на первый взгляд. Даже если круглогодично находиться в районе извергающегося вулкана, то без приложения больших дополнительных усилий и при отсутствии четко отработанной методики исследований уделом так называемых «визуальных» наблюдений в лучшем случае могут стать чисто внешние проявления активности вулкана: форма и размеры парогазовых или газопепловых выделений, наличие или отсутствие свечения в ночное время, звуки, доносящиеся со стороны вулкана. Суть происходящих на вулкане процессов подобными наблюдениями, как правило, не затрагивается.

1.2.2. Представительность наблюдательного ряда данных

Описанию извержений вулкана Безымянного посвящено большое количество работ [4, 5, 22, 26, 28, 34, 49, 50, 57–62, 66, 67, 74, 80, 81, 83, 97–100, 103–109, 117, 119–122, 144, 148, 149, 152, 160–163, 197, 204, 232, 241, 265, 266, 280], однако изложенный в них фактический материал в плане описания происходящих на вулкане процессов чрезвычайно разрознен, временами весьма скуден, отрывочен и субъективен.

22 октября 1955 г. началось первое историческое извержение вулкана и 28 октября в район вулкана выехала экспедиция под руководством Г.С. Горшкова. За две недели экспедиционных работ они могли наблюдать вулкан и поднимающуюся над ним эруптивную тучу лишь утром 30 октября в течение 2,5 ч и краткие мгновения после захода солнца 4 ноября. Все остальное время наблюдениям препятствовали плохая погода и частые пеплопады. После завершения этой экспедиции неоднократные попытки приблизиться к вулкану с востока успеха не имели.

Следующей опорной точкой в наблюдательном ряде данных стал выполненный 25 января 1956 г. облет вулкана. Безымянный в течение всего времени облета был спокоен и проявлял лишь фумарольную деятельность. Это позволило детально осмотреть строение вулкана, включая кратер.

4 февраля экспедиционная группа в составе Н.К. Классова, В.А. Бернштейна, каюров Н.В. Селиванова и А.В. Удачина достигла лагеря, расположенного у окончания лавового потока Апахончич. В течение пяти дней они наблюдали подъем клубов пепла, сопровождавших периодическое формирование автоэкссплозивных лавин. Сами лавины из лагеря не просматривались, так как их путь был скрыт образующей конуса вулкана. Попытки осмотреть вулкан с запада в конце февраля и двадцатых числах марта оказались неудачны.

Направленное извержение вулкана 30 марта 1956 г. в силу своей мощи и прекрасной погоды наблюдали в той или иной форме из всех окрестных селений. Однако основные события в ходе извержения развернулись в юго-восточном секторе вулкана и лучше всего наблюдались из д. Камаки (В.П. Сорокиным), а также из пос. Ключи (Г.Е. Богоявленской).

23 – 28 апреля экспедиционная группа под руководством Г.С. Горшкова достигла лагеря у окончания лавового потока Апахончич, а затем прошла и в долину Сухой Хапицы. Густые облака паров и газов скрывали образовавшийся кратер вулкана и его строение не просматривалось. Основное внимание исследователей было направлено на изучение последствий извержения 30 марта.

В конце июня 1956 г. Н.К. Классову и А.В. Удачину удалось попасть в район среднего течения Сухой Хапицы. На фотографиях, сделанных Н.К. Классовым с расстояния 22 км, был зафиксирован растущий в кратере вулкана экструзивный купол.

22 июля, проводя полевые работы на южном склоне вулкана, Г.Е. Богоявленская наблюдала движение и подъем газопепловых облаков, сопровождавших формирование автоэкссплозив-

ных лавин. Как и в феврале (наблюдения Н.К. Классова), источник их формирования и большая часть пути из точки наблюдения не просматривались, так как находились в северо-восточной части постройки вулкана за образующей склона.

С конца июля 1956 г. к востоку от вулкана Безымянного работала группа Г.С. Горшкова. Облака часто скрывали вулкан, а в редкие дни, когда он был виден, масса поднимающихся паров закрывала кратер. Тем не менее исследователи могли эпизодически наблюдать над экструзивным куполом подъем на небольшую высоту клубящихся газопепловых столбов. В конце августа, когда активность вулкана снизилась, Г.С. Горшков, Г.Е. Богоявленская, Н.К. Классов и Л.А. Тимошкин совершили первое восхождение к кратеру вулкана и осмотр экструзивного купола.

В конце октября 1956 г. вулкан был осмотрен с самолета. В конце апреля 1957 г. Г.С. Горшков, Г.Е. Богоявленская совершили второй подъем к кратеру вулкана. 31 июля И.И. Гуценко наблюдал с территории лесоучастка Борового (40 км к юго-западу от вулкана) подъем газопепловых столбов над постройкой вулкана. Осенью 1957 г. Г.С. Горшков повторил осмотр вулкана и не обнаружил каких-либо изменений в его постройке по сравнению с апрелем. Во время посещений вулкан находился в состоянии покоя.

Регулярные наблюдения за деятельностью Безымянного в 1958 г. не осуществлялись. 1–2 марта 1958 г. Г.Е. Богоявленская и О.Г. Борисов, побывав у подножия вулкана, обнаружили, что снег на склонах сопки покрыт тонким слоем свежего пепла. Они же в августе 1958 г. произвели замеры высоты вершины и основания купола и наблюдали лишь постоянную однообразную фумарольную деятельность (с некоторыми усилениями в отдельные дни).

28 марта 1959 г. к вулкану Безымянному выехала экспедиция в составе Е.К. Мархинина, В.Б. Пугач и каюров А.В. Удачина и А.А. Тимошкина и на следующий день из лагеря у кратера Карпинского наблюдала усиление его активности в виде подъема парогазовых и газопепловых столбов над западной (не просматривающейся из точки наблюдений) частью купола. При этом был слышен глухой громоподобный гул. 31 марта Е.К. Мархинин и В.Б. Пугач совершили подъем к кратеру вулкана, однако из-за тумана и снегопада вершины купола и западной части кратера видны не были.

В течение августа и сентября 1959 г. В.Н. Борисова вела систематические наблюдения за сопкой Безымянной из лагеря, расположенного на пирокластическом потоке 1956 г. в районе оз. Ледникового. Из 44 дней наблюдений кратер был открыт 27 дней. Весь этот период вулкан находился в состоянии покоя.

12 октября 1959 г. выполнили облет вулкана, в ходе которого над ним временами наблюдались газопепловые выделения.

26 октября 1959 г. в связи с появлением признаков усиления активности Безымянного в район вулкана выехала группа в составе геологов К.М. Тимербаевой и В.Н. Борисовой, каюра А.В. Удачина и шофера Ф.И. Жаркова. Базируясь в районе с/ст Апахончич, они оказались в зоне пеплопада и лишь в течение нескольких часов утром 30 октября могли наблюдать парогазовые и газопепловые столбы над вулканом.

18 апреля 1960 г., спустя пять дней после зарегистрированного по сейсмическим данным извержения, в район вулкана выехали П.И. Токарев и В.Н. Борисова. 20 апреля вулкан открылся, и они смогли наблюдать выделение из кратера (до высоты 5 – 6 км) густых клубов пара сизого и серого цвета и слышать грохот обвальных лавин. 6 мая они вторично посетили кратер вулкана. Однако вулкан в это время уже находился в спокойном состоянии. С начала летних полевых работ (июль) до конца года наблюдения из районов прямой видимости вулкана проводили более или менее постоянно, однако проявлений его активности зарегистрировано не было. Летом наблюдения проводила В.Н. Борисова, а в октябре 1960 г. была организована с/ст Апахончич, от дежурных операторов которой и стали поступать первичные данные наблюдений за состоянием вулкана.

После организации с/ст Апахончич информативность наблюдений за вулканом резко возросла, что сразу же сказалось на данных о динамике извержения вулкана в марте – апреле 1961 г. В период с 18 марта по 17 апреля операторы сейсмостанции Б.Н. Сушко и В.А. Аристархов зарегистрировали формирование над постройкой вулкана газопепловых столбов с четко выраженной куль-

минацией извержения 25 – 26 марта. После кульминации наряду с подъемом над постройкой вулкана пепловых столбов в ночное время регистрировалось свечение лавин раскаленных обломков.

В период с 18 по 28 июня 1961 г. на с/ст Апахончич зафиксировали над вулканом подъем (на высоту до 2 км) небольших пепловых облаков. В ночь с 22 на 23 июня Г.Е. Богоявленская, Ю.М. Дубик и А.М. Сапожникова находились у подножия вулкана в 3 км от кратера и наблюдали образование и движение обвальных лавин раскаленных обломков.

С конца ноября и всю первую половину декабря 1961 г. на с/ст Апахончич с различной частотой вновь стали регистрироваться газопепловые столбы, поднимающиеся на небольшую высоту над постройкой вулкана. В ночное время наблюдали свечение обвальных лавин. В ночь с 9 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 газопепловых туч.

Следующая активизация вулкана имела место в период с 20 мая по 6 июня 1962 г. Из района с/ст Апахончич наблюдения за вулканом осуществляли оператор сейсмостанции Б.Н. Сушко (начальная стадия извержения), научные сотрудники А.Н. Сирин, О.М. Алыпина, Ю.М. Дубик, лаборанты В.Н. Бушин и Л.А. Семенов. Они регистрировали нисходящие автоэкссплозивные лавины, вертикальные эксплозии, пеплопады, обвальные лавины раскаленных обломков и их свечение в ночное время.

Купол вулкана Безымянного был обследован в апреле 1963 г. И.А. Меняйловым, В.А. Ермаковым и Ю.М. Дубиком. И.А. Меняйлов и Ю.М. Дубик побывали на Безымянном вторично в начале августа. Во время обоих посещений вулкан был спокоен, однако в период между посещениями произошло очередное извержение вулкана, которое никем не зафиксировано.

В июне – июле 1964 г. наблюдения за очередным извержением вулкана Безымянного осуществляли И.А. Меняйлов и Л.П. Никитина. В августе – сентябре они были продолжены В.А. Ермаковым. В сентябре работы на экструзивном куполе проводила Н.А. Озерова. В этот период наряду с обычными обвальными каменными лавинами зарегистрировали автоэкссплозивные лавины. 28 июля И.А. Меняйлов и Л.П. Никитина, находясь у подножия купола, наблюдали процесс зарождения небольших обвальных лавин.

В марте – апреле 1965 г. на с/ст Апахончич работал В.А. Широков. 9 и 10 марта 1965 г. он наблюдал только вспышки молний и звуки, напоминавшие взрывы. Лишь к утру 11 марта пепловая туча рассеялась и с 8 до 9 ч 11 мин марта он отметил три слабых пепловых выброса, а 12 марта с 9 ч 30 мин до 21 ч 20 мин он наблюдал скатывание с купола автоэкссплозивных лавин (небольших пирокластических потоков).

10 марта с 15 ч 30 мин до 18 ч облет вулкана произвел В.А. Ермаков. Он зафиксировал поднимающуюся над вулканом эруптивную колонну. В третьей декаде марта Ю.М. Дубик, И.А. Меняйлов вели наблюдения из окрестностей вулкана. Они зарегистрировали формирование многочисленных лавин раскаленных обломков. 2 апреля с 13 до 15 ч П.И. Токарев участвовал в облете Северной группы вулканов и отметил подъем над вулканом клубов пепла. С.В. Попов 2 – 3 апреля из пос. Козыревска наблюдал подъем клубов пепла из кратера вулкана и свечение в ночное время. 3 и 8 апреля на с/ст Апахончич наблюдались пеплопады, других проявлений активности вулкана зарегистрировано не было.

В июле – августе 1965 г. спокойное состояние вулкана позволило И.Т. Кирсанову неоднократно побывать на склонах и вершине купола Нового, изучая его строение. В результате облета вулкана в марте 1966 г. зарегистрирован новый экструзивный блок. В апреле он был осмотрен Ю.М. Дубиком, июле – августе 1966, в июле – августе 1967 и в июле – августе 1968 гг. – И.Т. Кирсановым. В марте 1968 г. и конце апреля 1969 г. были выполнены два облета вулкана, в ходе которых осмотрели растущие экструзивные блоки. В июне 1969 г. при посещении вулкана получили сведения о его состоянии и строении растущей экструзии. 11 октября выполнен еще один облет, после которого характер извержения изучали непосредственно у подножия вулкана. Регистрировали обвальные каменные и автоэкссплозивные лавины с одновременным подъемом на небольшую высоту пепловых столбов. 26–28 октября 1969 г. выполнен еще один облет вулкана, в ходе которого исследовали изменения в строении вулкана после его активизации в ночь с 24 на 25 октября.

В 1970 г. выполнили облет вулкана в конце апреля, а сам вулкан посещали в мае и июле. При этом наблюдали формирование каменных лавин, сопровождавшееся в мае свечением в ночное время. В 1971 г. операторы с/ст Апахончич наблюдали свечение каменных лавин в марте. Вулкан посетили и осмотрели в июле, когда он находился в спокойном состоянии. В течение 1972 г. на с/ст Апахончич по-прежнему регистрировали обвальные каменные лавины, сопровождавшиеся во время активизаций свечением в ночное время. 22 июля 1972 г. было совершено восхождение на экструзивный купол. Очередной облет вулкана выполнен в мае 1973 г., а в июле 1973 г. на вулкане побывала Г.Е. Богоявленская.

Основным источником информации о динамике извержений в 1974–1980 гг. по-прежнему оставались визуальные наблюдения дежурных операторов с/ст Апахончич. Как правило, они по мере возможности регистрировали внешние параметры поднимающихся над вулканом парогазовых и газопепловых выделений, обвальные каменные лавины, свечение постройки вулкана в ночное время и выпадение пепла в окрестностях вулкана. Особого упоминания заслуживают лишь выполненные в ходе экспедиционных работ наблюдения за извержением вулкана в период с 18 по 23 сентября 1980 г. [104]. Во время этого извержения удалось зафиксировать прохождение небольшого пирокластического потока в непосредственной близости. Ночью было видно, что вся поверхность потока усеяна раскаленными светящимися глыбами разных размеров.

С 1976 г. наряду с продолжающимися эпизодическими аэровизуальными осмотрами вулкана стала проводиться его аэрофотосъемка. Обработка материалов аэрофотосъемок позволила получить высокоточные количественные оценки изменений в строении вулкана по состоянию на 6 сентября 1976 г., 6 сентября 1977 г., 21 февраля и 20 октября 1979 г., 5 июля и 27 августа 1980 г.

С сентября 1980 г. к изучению вулкана Безымянного приступил автор. За семь лет наблюдений мне представилась возможность стать свидетелем последовательности из девяти сравнительно кратковременных взрывно-эффузивных и пяти затяжных деформационно-экструзивно-эффузивных извержений. В ходе исследований я пытался наиболее оптимально сочетать наблюдения из разных пунктов. При этом учитывал требования максимальной детальности в сочетании с безопасностью исследований.

Для устранения влияния субъективного фактора (см. предыдущий раздел) широко использована фоторегистрация как быстрых, так и очень медленных процессов, протекающих на вулкане. В последнем случае наряду с периодической фоторегистрацией изменений в постройке вулкана с фиксированных точек наблюдений практиковались наземная стереосъемка и теодолитные измерения параметров активного блока. В течение всего периода наблюдений события, происходящие на вулкане, соотносились с сейсмическими сигналами, регистрируемыми на с/ст Апахончич. Последствия извержений и формирующиеся отложения изучены в ходе маршрутных и экспедиционных работ.

В 1987 г. автор прекратил наблюдения за развитием извержений Безымянного. В последующие годы произошло резкое сокращение потока информации о его состоянии и извержениях. В конце 80-х годов в связи с переводом сети сейсмических станций на телеметрическую передачу данных была законсервирована с/ст Апахончич. Следовательно, прекратил свое существование единственный в юго-восточном секторе вулкана наблюдательный пункт, из которого десятилетиями круглогодично поступала первичная информация о состоянии вулкана.

Быстрое ухудшение экономического положения в стране далеко не способствовало проведению в районе вулкана экспедиционных работ и таких дорогостоящих видов наблюдений, как аэрофотосъемка и аэровизуальные осмотры состояния и изменений в постройке вулкана. Поэтому с конца 80-х годов получение информации об извержениях Безымянного стало возможным лишь при исключительно благоприятном стечении обстоятельств. Если судить по опубликованной информации, то такое уникальное стечение обстоятельств с конца 80-х годов имело место лишь однажды. В июле – августе 1989 г. Н.А. Жаринов и Ю.В. Демянчук при проведении полевых работ с базированием в районе лагеря Нижнего стали свидетелями взрывно-эффузивного извержения вулкана 2–3 августа 1989 г. Информация о процессах, протекавших на вулкане в последующие годы, практически отсутствует.

Наиболее детальные наблюдения получены для извержений в мае – июне 1962, в июне – сентябре 1964, в марте – апреле 1965 и октябре 1969 гг., т.е. в тех случаях, когда первичные наблюдения за вулканом осуществляли специалисты. Однако и в этих случаях исследователям не удавалось приподнять «пепловую завесу» над вулканом и проникнуть в суть происходящих событий. Частота аэровизуальных осмотров вулкана, аэрофотосъемок и проводившихся преимущественно в летний период времени экспедиционных работ была меньше или сопоставима с частотой ежегодных активизаций вулкана, что не позволяло в полном объеме отследить динамику его извержений.

Иногда были весьма субъективны и количественные оценки. Так, в ряде работ [27,117] приведены расчеты, согласно которым купол Новый к 1973 г. достиг объема $1,02 \text{ км}^3$, т.е. получалось, что не только восстановились произошедшие 30 марта 1956 г. разрушения постройки Безымянного (по приводящимся в тех же и более ранних работах данным – $0,8 \text{ км}^3$), но и на 25 % превысился объем этих разрушений. Правда, остается непонятным, как при подобных количественных характеристиках купол Новый по-прежнему (вплоть до настоящего времени находится) **внутри** кальдеры 1956 г., а не покрывает своим чехлом отложения сомма-Безымянного.¹

Низкая информативность первичных наблюдений за вулканом обусловила в 70-е годы некоторое снижение интереса к изучению процесса извержений вулкана. Его посещения специалистами становятся все более редкими и приурочиваются к периоду летних полевых работ (июль – август). Основным объектом внимания исследователей становится вещественный и фациальный состав продуктов извержений. Некоторый всплеск интереса к динамике извержений вулкана вызывает лишь появление во второй половине 70-х годов первых лавовых потоков. Однако и этот интерес угасает, как только лавовые потоки для извержений вулкана становятся обычным явлением.

Одновременно с падением интереса к динамике извержений вулкана в представлениях о протекающих на вулкане процессах стал усиливаться элемент парадигмальности. Собственно говоря, влияние этого элемента на восприятие событий, происходящих на вулкане, всегда было достаточно велико и сказывалось даже в используемой при наблюдениях терминологии. Любые пепловые выделения над постройкой вулкана автоматически именовались «газопепловыми выбросами» или «взрывами». И, хотя исследованиями П.И. Токарева, В.Н. Борисовой, А.Н. Сирина, И.А. Меняйлова, Ю.М. Дубика, В.А. Ермакова и других неоднократно устанавливалась генетическая связь пепловых выделений над вулканом с обвальными процессами, подобные «взрывы», а, следовательно, и обуславливающая их «эксплозивная деятельность» устойчиво возрождалась в последующих наблюдениях.

Еще хуже обстояли дела в те периоды, когда вулкан в силу плохой погоды или пеплопадов не был доступен для наблюдений. В этом случае любые низкочастотные звуки, доносящиеся с его стороны, автоматически отождествлялись с происходящими на вулкане «взрывами». Тем самым сразу генерировалась определенная картина развития извержения, далеко не всегда соответствующая действительности. Источником звуков (наряду с упоминавшимися обвальными процессами) могли быть и электрические разряды в пепловых тучах и даже снежные и каменные лавины с вулкана Камень, находящегося по соседству с Безымянным.

К середине 70-х годов, несмотря на явный дефицит информации о протекающих на вулкане процессах, сложились определенные достаточно устойчивые представления о развитии его извержений. Они дополнялись и совершенствовались за счет реконструкций развития извержений. Эти реконструкции выполнялись на основе изучения последствий извержений в ходе полевых работ, которые проводились иногда спустя несколько месяцев. В качестве примера можно привести представления о динамике извержения вулкана в марте 1977 г. [26]. Но если уж выполняется реконструкция хода извержения по его последствиям, то трудно рассчитывать, что подобные описания прольют дополнительный свет на процесс извержения вообще и на генезис вулканических пород в частности, так как в процессе реконструкции а priori уже закладываются некие представления о происходящем. По сути это порочный, тавтологически замкнутый круг, делающий практически невозможным получение сколько-нибудь объективных сведений о происходящих процессах. И после многократного

¹ По данным стереофотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемок [186] объем разрушений постройки вулкана 30 марта 1956 г. оценивается в $0,738 \text{ м}^3$, а объем купола Нового по состоянию на 6 сентября 1976 г. – лишь $0,363 \text{ м}^3$.

Рис. 13. Развитие вулкана Безымянного в 1955–1957 гг.

использования этого подхода может оказаться, что «обычная для вулкана Безымянного серия газопепловых эксплозий вулканского типа» [26, с.17] обычна, скорее, для неких абстрактных представлений исследователей, но имеет мало общего с реальными процессами, протекающими на вулкане.

Тем не менее, накопленный за первые 25 лет исторических извержений вулкана большой фактический материал о протекающих на вулкане процессах требует обобщения и сведения в единую систему. Поэтому автор счел необходимым выполнить реинтерпретацию имеющегося фактического материала, взяв за основу собственный наблюдательный материал и имеющийся опыт. Большое значение для реинтерпретации имеет тот факт, что на протяжении ряда лет автор имел возможность оценить степень соответствия реального развития процесса с его описаниями в публикациях [98, 99, 109, 265, 266], освещавших состояние вулкана в тот же период времени. Это помогло проанализировать существующие расхождения и учесть их влияние в ходе реинтерпретации.

В связи с изложенным, все описание процесса исторических извержений Безымянного условно поделено на три части (см. следующие разделы). При этом период исследований автора (1980–1987 гг.) – как опорный для систематизации

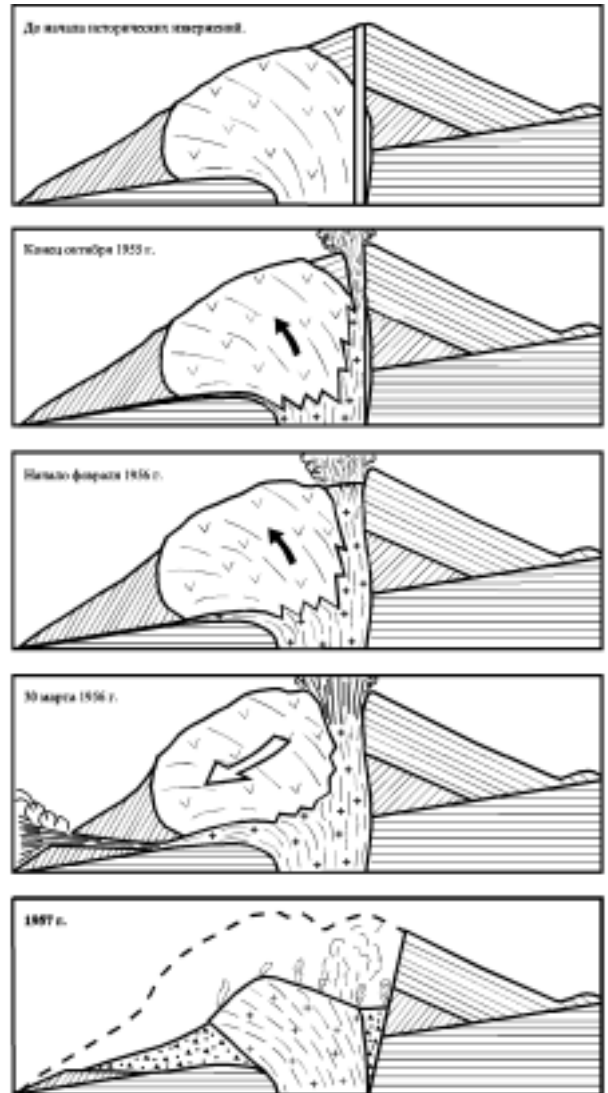


Рис. 14. Извержение сопки Безымянной 24 октября 1955 г., слева – вулкан Камень; вид с запада из Козыревска.

Фото Г.С. Горшкова [61]

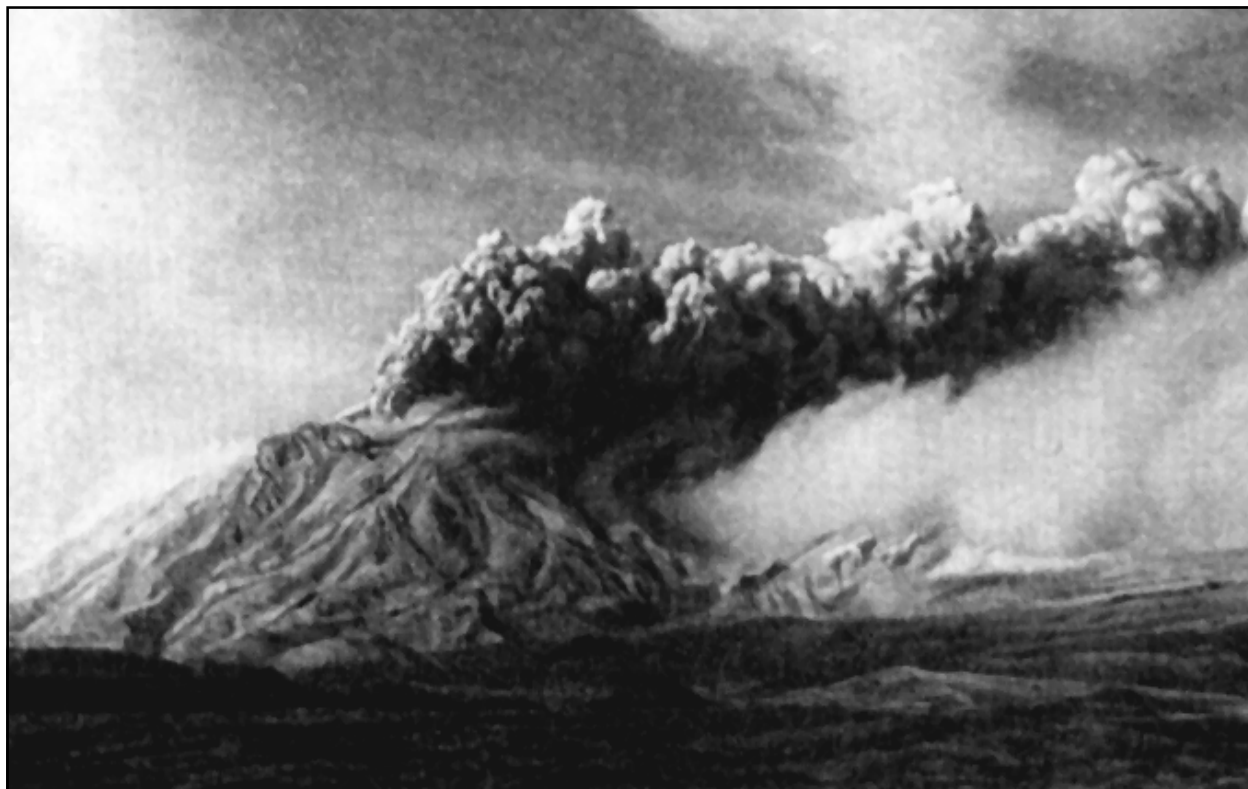


Рис. 15. Извержение Безымянного 30 октября 1955 г. Вид с востока из лагеря 1 (см. рис. 11).
Фото Г.С. Горшкова [61]

и обобщения наблюдений других ученых – проанализирован до мельчайших подробностей. К сожалению, объем работы не позволяет останавливаться на каждом из фактов, подвергнувшихся переосмыслению, и аргументировать его реинтерпретацию. Единственное исключение сделано для описания событий, произошедших на вулкане 30 марта 1956 г., в связи с их исключительной важностью и тем влиянием, которое они оказали на представления о направленных взрывах в современной вулканологии.

1.2.3. Извержения 1955–1980 гг.

Первые признаки пробуждения вулкана Безымянного после длительного периода покоя относятся к 29 сентября 1955 г. [57,61], когда на с/ст Ключи было зарегистрировано землетрясение со смещением почвы 11 μ с очагом под вулканом. После первого толчка хрупкое разрушение пород в пределах постройки вулкана и под ней стало лавинообразно нарастать. Вероятно, именно к этому времени относятся первые смещения погребенного в постройке вулкана древнего экструзивного купола под воздействием мощного магматического давления.

Близкое к экспоненциальному увеличение количества землетрясений и их суммарной энергии привело к тому, что уже с 11 октября смещение почвы в пос. Ключи стало превышать 100 μ , а с 19 октября ежесуточно регистрировали уже более сотни землетрясений. Первые (еще сравнительно небольшие) подвижки погребенного купола привели к созданию на границе этого купола со стратовулканическим комплексом ослабленной зоны для последовавшего прорыва летучих.

22 октября около 6 ч 30 мин через эту зону началось первое историческое извержение вулкана Безымянного (рис. 13). Вначале белые парогазовые выбросы быстро потемнели и вскоре вся южная часть горизонта (от Ключей) оказалась затянутой плотной пепловой дымкой. Затем пепловая мгла заволокла седловину между сопками Ключевской и Плоской. Во второй половине дня пелена пепла скрыла и вершину Ключевского вулкана. 24 октября над вулканом на

высоту до 2 км поднялся густой столб газов с пеплом, от которого к юго-востоку (в долину р. Сухой Хапицы) оттягивалась полоса пеплопада (рис. 14).

Именно в это время, т.е. спустя двое суток после начала извержения, напряженность его сейсмического сопровождения достигла максимума, соответствовавшего выделению энергии землетрясений $2,8 \cdot 10^{11}$ Дж/сут. В ночь на 25 октября прошел первый очень слабый пеплопад в пос. Ключи, а 27 октября – и на берегу океана в пос. Усть-Камчатске. 28 октября на расстоянии 25 км к востоку от вулкана мощность пепла достигла уже 2 см. В этот день из Козыревска при ясной погоде можно было наблюдать высокий столб густых клубов пепла – 4 км над кратером. Верхняя часть пеплового облака отклонялась к северу, а нижняя – к востоку в виде густой тучи.

Мощность сейсмического сопровождения снижалась и к 30 октября стабилизировалась на уровне $3,9 \cdot 10^{10}$ Дж/сут. К этому времени в районе границы древнего экструзивного купола и стратовулканического комплекса проработался новый кратер, диаметр жерла которого (если судить по размерам столба пепла) не превышал 250 м, а диаметр его гребня – 350 м. На общем фоне продолжающихся постепенных деформаций постройки вулкана происходило практически непрерывное выделение газопепловой взвеси (рис. 15). У самой кромки кратера газопепловая взвесь буквально вскипала, приобретая характерный облик типа «цветной капусты». Скорость подъема клубов пепла при наборе первых 300 м высоты составляла около 50 м/с. До высоты 600–700 м столб пепла поднимался почти вертикально, а затем начинал отклоняться по ветру, образуя плотный газопепловый шлейф. В периоды усиления деятельности вулкана высота столба увеличивалась до 2 км.

Относительно стабильное состояние вулкана продолжалось не более недели, и уже с 6 ноября мощность сейсмического сопровождения извержения вновь стала возрастать, достигнув к середине ноября уровня $1,2 \cdot 10^{11}$ Дж/сут. Одновременно происходило и усиление эксплозивной деятельности вулкана. 7 ноября было замечено некоторое расширение кратера вулкана в направлении погребенного экструзивного купола, вызванное все более заметным смещением последнего. Поздним вечером 8 ноября из экспедиционного лагеря 1 (см. рис. 11) над вулканом зарегистрировали слабое, но устойчивое тускло-красное освещение.

К середине ноября высота плотного газопеплового столба достигала иногда 7 км над вулканом. В его окрестностях проходили все более интенсивные пеплопады. 17 ноября самый сильный пеплопад с начала извержения наблюдался в пос. Ключи. Всего с начала извержения к 21 ноября (за месяц) в Ключах слой выпавшего пепла составил 22 мм ($14,42 \text{ кг/м}^2$), причем 75 % выпало за последнюю неделю, а 52 % – за одни сутки (16–17 ноября). В эти ноябрьские дни сильные пеплопады прошли повсюду вокруг вулкана. Темнота наступала даже в д. Еловке (100 км к северу) и пос. Усть-Камчатске (120 км к востоку).

После бурной эксплозивной деятельности 7–20 ноября сила извержения пошла на убыль. В окрестностях вулкана все еще проходили пеплопады, но уже не столь интенсивные. С 22 по 28 ноября за пять пеплопадов в Ключах в сумме выпало $1,13 \text{ кг/м}^2$ – слой около 2 мм. 30 ноября впервые вместо сплошной тучи, закрывающей весь небосвод, от Безымянного протянулась узкая (хотя все еще очень густая) полоса пепла. 1 декабря еще выпал пепел толщиной около $0,5 \text{ мм}$ (345 г/м^2), но в дальнейшем пеплопады были уже более слабыми. Одновременное плавное снижение напряженности сейсмического сопровождения извержения привело к новой его стабилизации на уровне $2,3 \cdot 10^{10}$ Дж/сут. В этом режиме вулкан находился вплоть до своего пароксизмального извержения 30 марта 1956 г. Лишь трижды это стационарное состояние нарушалось более или менее существенными отклонениями, выразившимися в повышенной активности вулкана в середине декабря 1955 г. и некотором ее снижении в двадцатых числах января и во второй половине марта 1956 г.

Эта стабилизация извержения на новом, более низком уровне проявилась и в характере самого извержения. Продолжалось постепенное смещение древнего экструзивного блока и, как следствие – расширение расположенного между этим блоком и стратовулканическим комплексом кратера. К концу ноября последний имел диаметр 700–800 м и, будучи слегка удлиненным в широтном направлении, захватывал часть вершины древнего купола и весь западный кратер стратовулкана. С начала декабря 1955 г. (за исключением событий середины месяца) эксплозивная деятельность вулкана практически прекратилась.

Основным источником пепла для проходивших изредка в радиусе 50–60 км слабых пеплопадов стали пепловые тучи автоэксплозивных лавин. Их высота, как правило, не превышала 1–1,5 км над кратером. Чаще из кратера на высоту 1–2 км поднимались плотные снежно-белые клубы фумарольных газов без примеси пепла. По состоянию на 25 января 1956 г. кратер, несколько вытянутый в широтном направлении, имел диаметр около 1000 м и сравнительно небольшую глубину. Его дно в виде полого наклоненного, выпуклого щита было покрыто пирокластикой, из-под которой в 2–3 местах выступали острые скалы темной лавы. По краям купола на границе его со стенками кратера отмечены слабые взрывы, вероятно, обвально-автоэксплозивного генезиса.

Судя по всему, произошедшие во второй половине ноября плавное снижение активности вулкана и постепенный переход извержения в состояние стационарного развития соответствовали уменьшению газонасыщенности поступающего на поверхность ювенильного материала и началу формирования на вулкане Безымянном внутрикратерного экструзивного купола (см. рис. 13). В начале февраля материал автоэксплозивных лавин стал все больше распространяться за пределы кратера на южный склон вулкана (рис. 16). При формировании наиболее мощных лавин столбы пепла поднимались на высоту 2–3 км над кратером. 9 февраля одна из таких лавин достигла подножия вулкана за 50 с (50–60 м/с или около 200 км/ч при угле 35°).

Рост внутрикратерного купола сопровождался подвижками на юго-восточном склоне вулкана и теперь отчетливо выделялись древний купол и граница между ним и стратовулканом. Причем происходили не только местные подвижки, но и общий подъем древнего купола, слагающего эту часть массива. Величина подъема определялась приблизительно в 100 м, а с учетом осыпания перекрывавших его пород – около 230 м. Новая линия склона заметно передвинулась к юго-востоку. Вулкан как бы расширился, причем особенно бросающееся в глаза расширение вершины было обусловлено не только увеличением кратера, но в значительной мере и смещениями всего юго-восточного блока вулкана.



Рис. 16. Раскаленная лавина на склоне Безымянного 9 февраля 1956 г.
Вид с востока из лагеря 2 (см. рис. 11).

Фото Н.К. Классова [61]

Рис. 17. Извержение Безымянного 30 марта 1956 г. Вид из Козыревска.

Фото В.А. Шамшина [61]

Этот блок, состоящий в основном из древнего экструзивного купола, в целом испытывал не столько вертикальные, сколько горизонтальные смещения. Под воздействием мощного магматического давления блок как бы разворачивало от центра вулкана вокруг расположенной под юго-восточным склоном вулкана горизонтальной оси (см. рис. 13). Крутизна этой части склона заметно увеличилась – с 30 до 35°. Верхние 300 м были сложены массивным телом купола, а низ – рыхлой пирокластикой. Наряду со смещениями древнего купола продолжался и рост внутрикратерной экструзии. К концу марта интенсивность лавин настолько возросла, что 28 марта в Ключах после 50-дневного перерыва наблюдался слабый пеплопад, в ходе которого выпало 10,8 г/м² пепла.

В то же время быстро снизился уровень сопровождающей извержение сейсмичности. В последние две декады марта средняя частота регистрируемых на с/ст Ключи землетрясений уменьшилась по сравнению



с предыдущим месяцем (1,7 и 3,5 землетрясения в сутки соответственно), снизилась их средняя энергия с $7,7 \cdot 10^9$ до $1,4 \cdot 10^9$ Дж. В результате среднесуточное выделение сейсмической энергии упало более чем на порядок (с $2,7 \cdot 10^{10}$ до $2,3 \cdot 10^9$ Дж/сут). Факт снижения сейсмичности на фоне усиливающейся активности вулкана свидетельствует о том, что на этой стадии извержения в охватившем постройку вулкана деформационном процессе падает доля дизъюнктивных дислокаций по сравнению с пластическими. Вероятно, этот феномен обусловлен тем, что в ходе мощного выжимания экструзивного купола произошли отрыв корней раскристаллизованного массива древнего купола и внедрение ювенильного материала под его основание (см. рис. 13). Высокотемпературный и газонасыщенный ювенильный материал, играя роль смазки, уменьшал долю хрупких разрушений в постройке вулкана и одновременно делал ее состояние все более неустойчивым.

30 марта 1956 г. произошло направленное извержение вулкана Безымянного (рис. 17). В результате вершинная часть вулкана была полностью разрушена на глубину до 1 км и на ее месте образовалась кальдера размерами 2,5 на 1,5 км (рис. 18). Общий объем разрушений $0,738 \text{ км}^3$ [197]. Над вулканом на высоту 40 км поднялось эруптивное облако, которое сносилось ветром на северо-восток. Пеплопад прошел узкой полосой шириной 50 км и длиной 400 км. Количество пепла, выпавшего на этой площади, 0,2–0,3 км³ [28].

Большая часть материала разрушенной постройки была отложена в пределах узкого сектора подножия вулкана, покрыв площадь больше 60 км² и образовав поля островершинного холмисто-

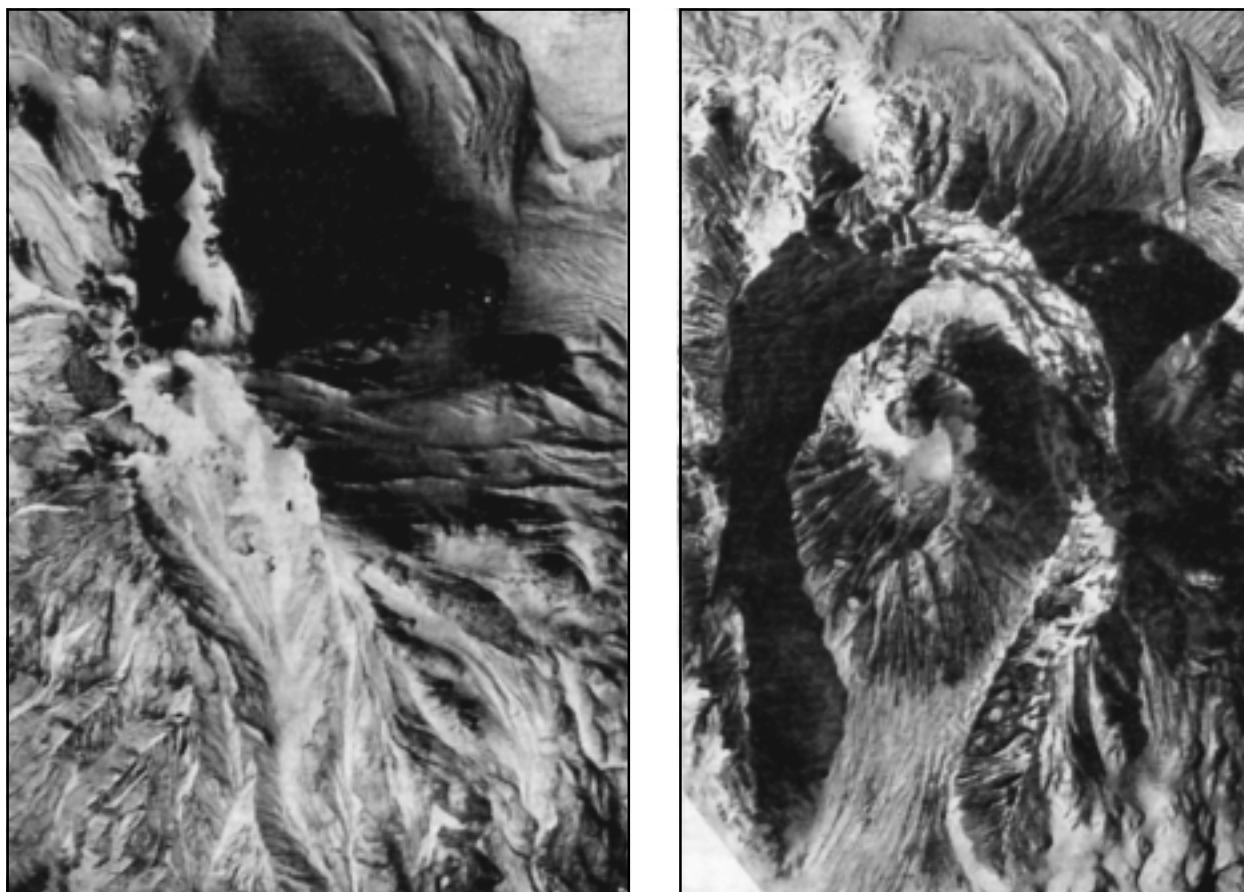


Рис. 18. Плановые аэрофотоснимки в. Безымянного (слева – до извержения, справа – после) [61]

котловинного рельефа с относительными превышениями от 1–2 до 10–15 м. Материал распространился независимо от подстилающего рельефа: он выстилал понижения и речные долины, одновременно залегая на крутых склонах. Отложения представлены несортированным грубообломочным агломератом — песчано-алевролитовым материалом с большим количеством щебня и глыб, максимальный размер которых достигал 1–1,5 м.

В юго-восточном секторе от центра извержения песчаный и алевролитовый материал с рассеянным вулканическим гравием и сравнительно мелкими обломками размерами от 1–2 до 20 см в поперечнике образовал в наиболее удаленных (до 30 км) от вулкана частях так называемой области «направленного взрыва» отложения мощностью в первые сантиметры. Вблизи вулкана мощность отложений этого «песка направленного взрыва» достигала 60–70 см.

Вся растительность в этой зоне была высушена и местами обуглена. По мнению исследователей, пепел не падал спокойно сверху, а вырывался из кратера с колоссальной силой, подобно струе из пескоструйного аппарата. Базовый домик, расположенный в 12 км от вулкана, был буквально сметен, от него не осталось ни одной доски. На расстоянии до 25–30 км от кратера стволы деревьев и кустарников со стороны, обращенной к вулкану, были гладко ободраны, тогда как на противоположной стороне кора полностью сохранилась.

В юго-восточном направлении от вулкана на расстоянии до 18 км отложился материал пирокластических потоков, покрыв площадь около 30 км² и заполнив речные долины местами на глубину 60–65 м. Общий объем пирокластического материала этих потоков достигал 1 км³. Раскаленный материал отложился на площади около 500 км², и таяние снегов было очень бурным. В долине Сухой Хапицы и на склонах сопки Ключевской и Зиминной образовались бурные грязевые потоки (лахары), которые понесли вниз, перенося крупные камни и сокрушая все на своем пути. Наиболее мощный грязевой поток прошел от конца пирокластического потока по р. Сухой Хапице, оставив после себя

отложения мощностью до 20 м. В районе протоки Чистой и оз. Урукулон, на расстоянии 80–85 км от вулкана, лахар впал в долину р. Камчатки. Озера Катлыныч и Бочкарево оказались целиком заваленными отложениями грязевого потока. В конце лахара в виде своеобразной конечной морены отложилась хаотическая смесь грязи, стволов и ветвей деревьев. Уровень р. Камчатки повысился на 35 см.

Общепринятая на данный момент точка зрения трактует это событие достаточно однозначно [22–24, 57–59, 61, 241]. Вершина вулкана взорвалась в буквальном смысле этого слова. Взрыв был направлен под углом 30–45°. При угле взрыва в 45°, определяющем максимальную дальность баллистических траекторий разлета продуктов взрыва в 30 км, максимальная начальная скорость оценивается в 500 м/с, а с учетом сопротивления воздуха даже до 600 м/с. Минимальная начальная скорость, требующаяся для транспортировки по воздуху на расстояние порядка 13 км основной массы разрушенной постройки вулкана, оценена исследователями в 360 м/с.

Вслед за направленным взрывом началась плинианская деятельность. Над кратером поднялось эруптивное облако на высоту 35–40 км – пеплопад прошел полосой шириной в 50 км и продолжался около 4 ч. Одновременно с образованием эруптивного облака через образовавшуюся брешь началось извержение пирокластических потоков, заполнивших долины рек подножия вулкана. Стремление максимально отодвинуть момент начала формирования пирокластических потоков и признать его наступление после образования эруптивной колонны еще более обозначилось в последних работах [23, 24], поскольку исследователи пытаются привести наблюдательный материал в полное соответствие с моделью Фишера [305], согласно которой сами пирокластические потоки могли возникнуть лишь как результат обвала (коллапса) уже сформировавшейся эруптивной колонны. Причем обвал краевых частей колонны, по их мнению, вызывает приземную пирокластическую волну, а коллапс центральной части – собственно пирокластические потоки. В процессе движения потока над ним образовалось пепловое облако, отложения которого залегают поверх пирокластических потоков.

Однако приведенная выше схема противоречит фактическим данным. В частности, при переходе через звуковой барьер такого большого количества вещества должен был произойти поистине всеоглушающий звуковой удар, тогда как наблюдатели в лучшем случае регистрировали лишь легкое «давление на уши». Более того, по оценкам Г.С. Горшкова [61], выполненным на основании данной схемы, кинетическая энергия взрыва составила $1,2 \cdot 10^{17}$ Дж, тогда как энергия сопровождающего взрыв землетрясения на пять порядков меньше ($2 \cdot 10^{12}$ Дж по Г.С. Горшкову [61] или $1 \cdot 10^{12}$ Дж, согласно каталога П.И. Токарева [235]). С учетом законов сохранения (в частности – сохранения импульса), энергия взрыва и энергия вызванного им землетрясения должны соответствовать друг другу, по крайней мере, с точностью до порядка. Это естественно: «сильный выстрел» с необходимостью порождает и «сильную отдачу». Поэтому взрыв, одна только кинетическая энергия которого эквивалентна взрыву водородной бомбы мощностью около 25 мегатонн, должен сопровождаться землетрясением с $M \approx 8$. Удар этого землетрясения должен был бы ощущаться в радиусе тысяч километров, а на расстоянии первых сотен привести к катастрофическим разрушениям. В действительности землетрясение, сопровождавшее пароксизм 30 марта 1956 г., никем из наблюдателей не ощущалось и лишь ненамного превосходило наиболее сильные землетрясения из предшествовавших. В частности, 27 февраля и 11 марта 1956 г. зарегистрированы землетрясения с энергией $1,0 \cdot 10^{11}$ Дж, а 16 декабря $1,3 \cdot 10^{11}$ Дж.

Еще больше вышеприведенная схема противоречит прямым наблюдениям за развитием извержения. В частности, «одним из первых увидел извержение линейный монтер В.П. Сорокин из д. Камаки (65 км к юго-востоку от вулкана). Находясь в доме, он почувствовал «давление на уши», т.е. резкое изменение атмосферного давления, и сразу же понял – что-то случилось на вулкане. Выбежав на улицу, он увидел над вулканом Безымянным косо направленный к востоку (около 30° к горизонту) эруптивный столб, который был насыщен «искрами» и казался огненным (судя по скорости распространения взрывной волны, это было через 3–4 мин после начала извержения). Над этой «огненной струей» также косо, около 45° к горизонту, быстро росли клубы «дыма», которые через 1–2 мин закрыли вершины всех вулканов. Через 4–5 мин по долине р. Сухой Хапицы и у юго-восточного подножия Ключевской сопки стали подниматься светлые пары, причем по долине Сухой Хапицы они катились волнами и сопровождались «искрами» (это были пирокластические потоки). Вскоре

густое, черное эруптивное облако с мощным пеплопадом, которое быстро двигалось в сторону наблюдателя, скрыло ход дальнейших событий» [61, стр. 37].

Отметим наиболее существенную деталь этого описания, лежащую на самой поверхности. Подчеркнем, что спустя 8–9 мин после начала извержения В.П. Сорокин **видел** движущиеся потоки, а любой исследователь, имеющий опыт вулканологических наблюдений, знает, что даже слабое выпадение тончайшего пепла делает атмосферу полностью непрозрачной, а какие-либо наблюдения – невозможными. Тем более это должно было бы иметь место при выпадении из воздуха многометровых толщ пепла, песка и грубообломочных отложений с размерами глыб до 1,5 м. Как можно видеть на опыте направленных промышленных взрывов, тончайшая пыль продолжает оседать в течение длительного времени (до первых десятков минут) после выброса основной массы взорванного материала. Если бы выпадение больших объемов раскаленного материала из латерального облака направленного взрыва, движущегося со скоростью от одинарной до двукратной звуковой действительно имело место, то еще до того как В.П. Сорокин почувствовал давление на уши (скорость воздушной волны оценена в 295–333 м/с) на расстоянии до 30 км от вулкана уже должны были начаться фреатические взрывы, интенсивное таяние и испарение мощного снегового покрова.

В наблюдениях В.П. Сорокина нет ни малейшего намека на подобные явления. Атмосфера незамутненно чиста. И эта чистота с легкостью разрушает всю приведенную выше схему развития извержения. Наблюдения В.П. Сорокина можно было бы проигнорировать, если бы он был единственным свидетелем произошедших событий. Но аналогичная картина наблюдалась и из пос. Ключи самими исследователями. По данным Г.Е. Богоявленской [22] *«в момент взрыва над вулканом поднялось косо направленное к востоку эруптивное облако, которое быстро ширилось, росло и через несколько минут закрыло горизонт. В это же время с юго-восточного подножия Ключевской сопки (за которой был скрыт от наблюдателей вулкан Безымянный – прим. автора) в долине р. Сухой Хапицы появились темные облака, которые скатывались по склону волнами и сопровождались искрами. Эруптивная туча поднялась на высоту 34 – 35 км и имела типичный вид «цветной капусты».*

Четкая нижняя граница эруптивной тучи без малейших признаков размыва и намеков на осыпание и выпадение пирокластики просматривается и на фотографиях, приведенных в работах [57,61]. В связи с этим следует, что до прохождения пирокластических потоков не было никакого выпадения раскаленного материала из облака «направленного взрыва», точно также как не было и самого направленного «взрыва» вершины вулкана. И разнообразный фациальный состав отложений в 30-километровом секторе «отложений направленного взрыва», и все приписываемые «направленному взрыву» в этом секторе разрушения обусловлены самим движущимся вдоль поверхности земли потоком раскаленной пирокластики.

Однако вернемся к наблюдениям В.П. Сорокина как к наиболее подробным. Из них, в частности, следует, что спустя 8–11 мин поток раскаленной пирокластики находился в долине р. Сухой Хапицы на расстоянии 20 – 30 км от вулкана, т.е. значение средней скорости его продвижения попадает в интервал от 35 до 70 м/с. Это на порядок меньше по сравнению со скоростью взрывной воздушной волны (295–333 м/с) и соответствует диапазону скоростей движения пирокластических потоков и автоэксплозивных лавин как уже известных ко времени рассматриваемого извержения [171], включая наблюдения самих исследователей [61], так и более поздних (например [148, 343]) оценок.

В ходе исследования процесса извержения вулкана Безымянного осенью 1955 г. установлено [61], что максимальная скорость подъема газопепловой взвеси над постройкой вулкана составляла около 50 м/с. Близкие значения скорости подъема эруптивной тучи были получены и при изучении извержения вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. (см. ниже). Скорости движения пирокластического потока и подъема эруптивной тучи имеют близкие значения. Поэтому нет ни малейших оснований рассматривать образование потока раскаленной пирокластики как следствие обвала эруптивной колонны. К моменту начала формирования пирокластического потока эруптивная колонна просто еще не могла сформироваться. Оба эти процесса начали развиваться практически одновременно. Таким образом, общепринятая на данный момент картина развития извержения вулкана Безымянно-

го 30 марта 1956 г. находится в полном противоречии с фактическими данными. Что же в действительности произошло на вулкане 30 марта 1956 г.?

Как было показано выше, извержению 30 марта предшествовало развитие мощного экструзивного процесса, в ходе которого происходило постепенное смещение пород юго-восточного блока постройки вулкана. Под воздействием мощного магматического давления блок как бы разворачивался от центра вулкана вокруг расположенной под юго-восточным склоном вулкана горизонтальной оси. При этом максимальные смещения как по вертикали, так и по горизонтали вблизи вершины блока к концу марта 1956 г. достигли величины от 100 до 200 м.

Подобный характер развития экструзивного процесса позволяет предполагать, что в основании юго-восточной постройки вулкана образовалась выклинивающаяся к его подножию зона дробления, заполненная субгоризонтальными инъекциями андезитовой магмы. При этом ювенильный материал играл роль смазки, все более уменьшая сцепление блока с оставшейся частью постройки вулкана. Вследствие продолжающихся деформаций положение всей юго-восточной части постройки вулкана становилось все более неустойчивым. Рано или поздно, но она должна была соскользнуть со своего основания, что и произошло 30 марта 1956 г.

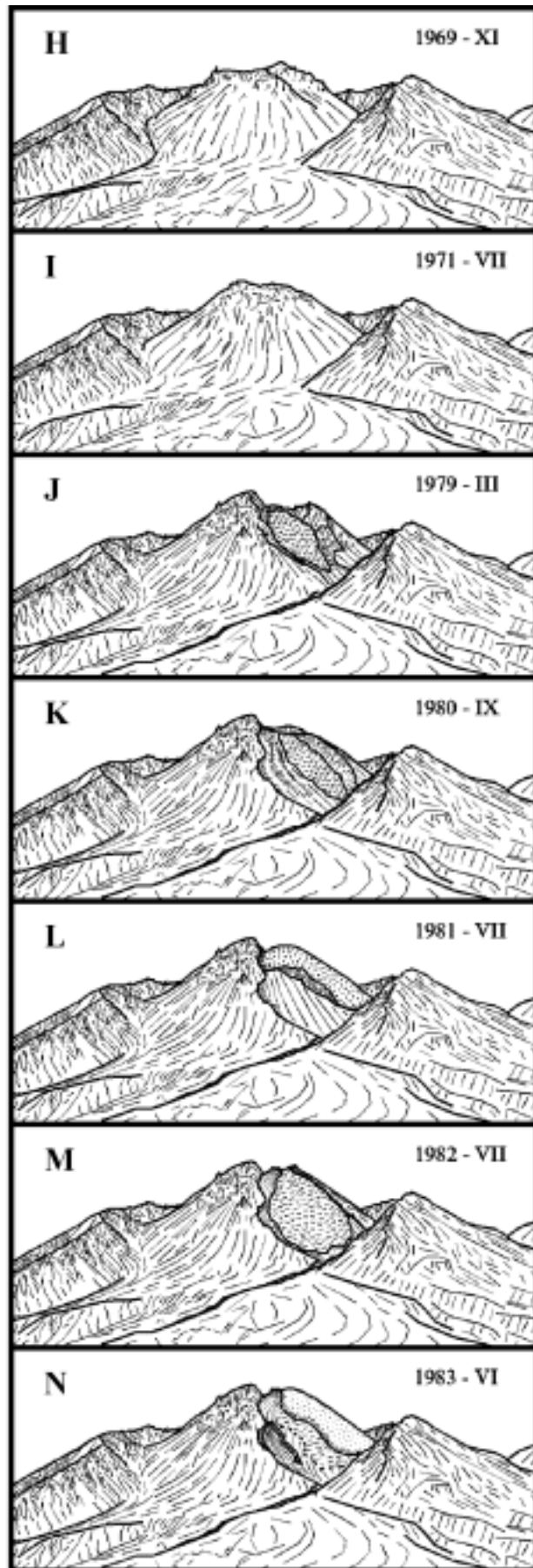
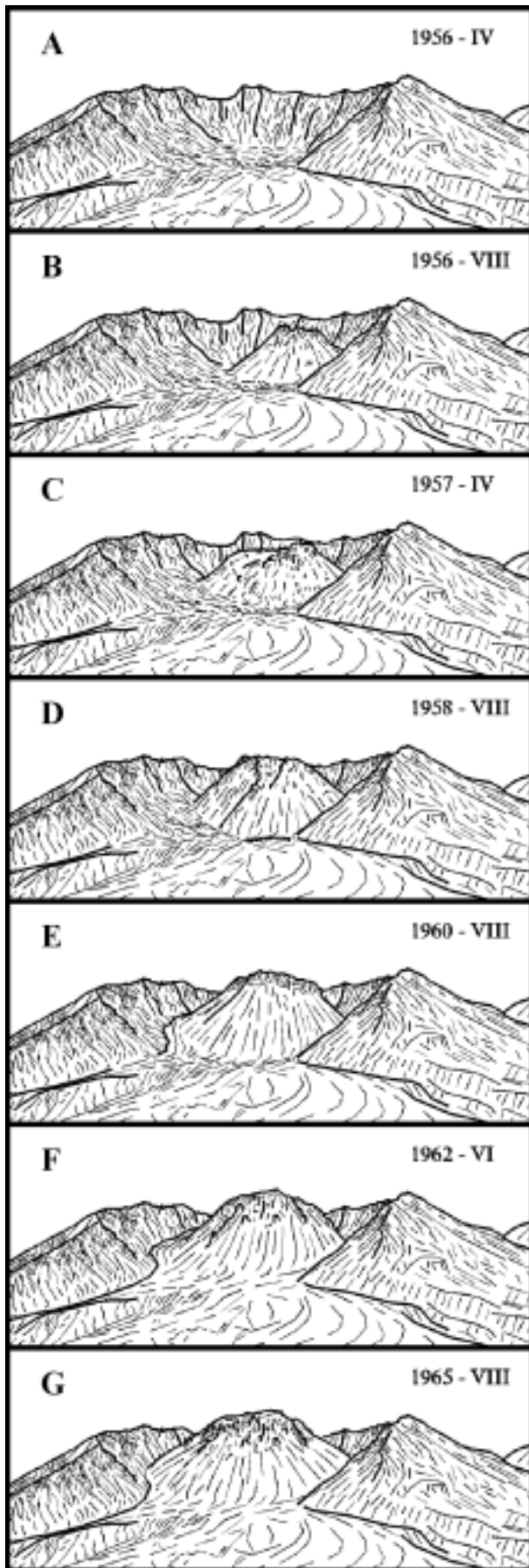
Развитие этого гигантского оползня сопровождалось интенсивным дроблением пород и резкой декомпрессией подстилающего их ювенильного материала. Благодаря интенсивному вскипанию последнего, сквозь оползающий блок рванулись струи раскаленной пироклаستيку, придавая оползнию дополнительное ускорение и вынося на поверхность газонасыщенный автоэксплозивный материал. По своей сути на начальных стадиях процесс извержения можно рассматривать как сравнительно медленно развивающийся объемный взрыв извергаемого автоэксплозивного материала. По скоростям развития этот процесс можно сопоставить, скорее, с горением, чем с детонацией [3], так как интенсивные газоотделение, вскипание и дробление происходят не одновременно по всему объему извергающегося материала, а развивается в виде волн дробления, распространяющихся перпендикулярно поверхностям многочисленных уже возникших и вновь создающихся трещин, соответствующих поверхностям декомпрессии.

Расширяющийся ювенильный газ придавал определенное ускорение всей образующейся газопирокластической взвеси. Однако вполне естественно, что величина этого ускорения прямо пропорциональна доле газовой составляющей в этой взвеси. Наиболее легкие части взвеси, содержащие самую тонкую пирокластику, в виде упоминавшейся огненной струи сквозь трещины соскальзывающего блока рванулись практически перпендикулярно его поверхности, т.е. под углом 30–45° к горизонту. Вполне вероятно, что часть именно этой наиболее тонкой и быстро движущейся пироклаستيку достигла верхних слоев атмосферы и 1–2 апреля была замечена над Аляской, а 3–4 апреля – над Британскими островами. В то же время основная часть ювенильного материала в виде потока раскаленной пироклаستيку устремилась вниз по склону, придавая дополнительное ускорение породам гигантского оползня и вместе с ними сметая все на своем пути.

Процесс формирования и движения потока раскаленной пироклаستيку имеет ряд существенных особенностей (см. раздел 1.3.1), как правило, не учитываемых при реконструкциях хода извержения по комплексу образованных им пирокластических отложений. Это и обуславливает различного рода затруднения в подобных реконструкциях. Особенности близповерхностного движения потока раскаленной пироклаستيку в своем сочетании позволяют вполне корректно объяснить все последствия извержения вулкана 30 марта 1956 г. и в том числе все разнообразие фациального состава продуктов извержения, не прибегая ни к сверхзвуковым скоростям, ни к баллистике.

Что касается большей детализации событий, произошедших на в. Безымянном 30 марта 1956 г., то в этом плане безусловный интерес представляет возможность сравнения рассматриваемого извержения с извержением вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. [343]. Они похожи друг на друга как две капли воды лишь с той небольшой разницей, что извержение Сент-Хеленс произошло на фоне затухающего развития экструзивного процесса, тогда как Безымянного – на фоне стабилизации и сохранения в течение четырех предшествовавших месяцев довольно высокого уровня активности.

Так как и само развитие извержения вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. и его последствия были изучены более детально, то полученные на основании этого изучения данные могут быть ис-



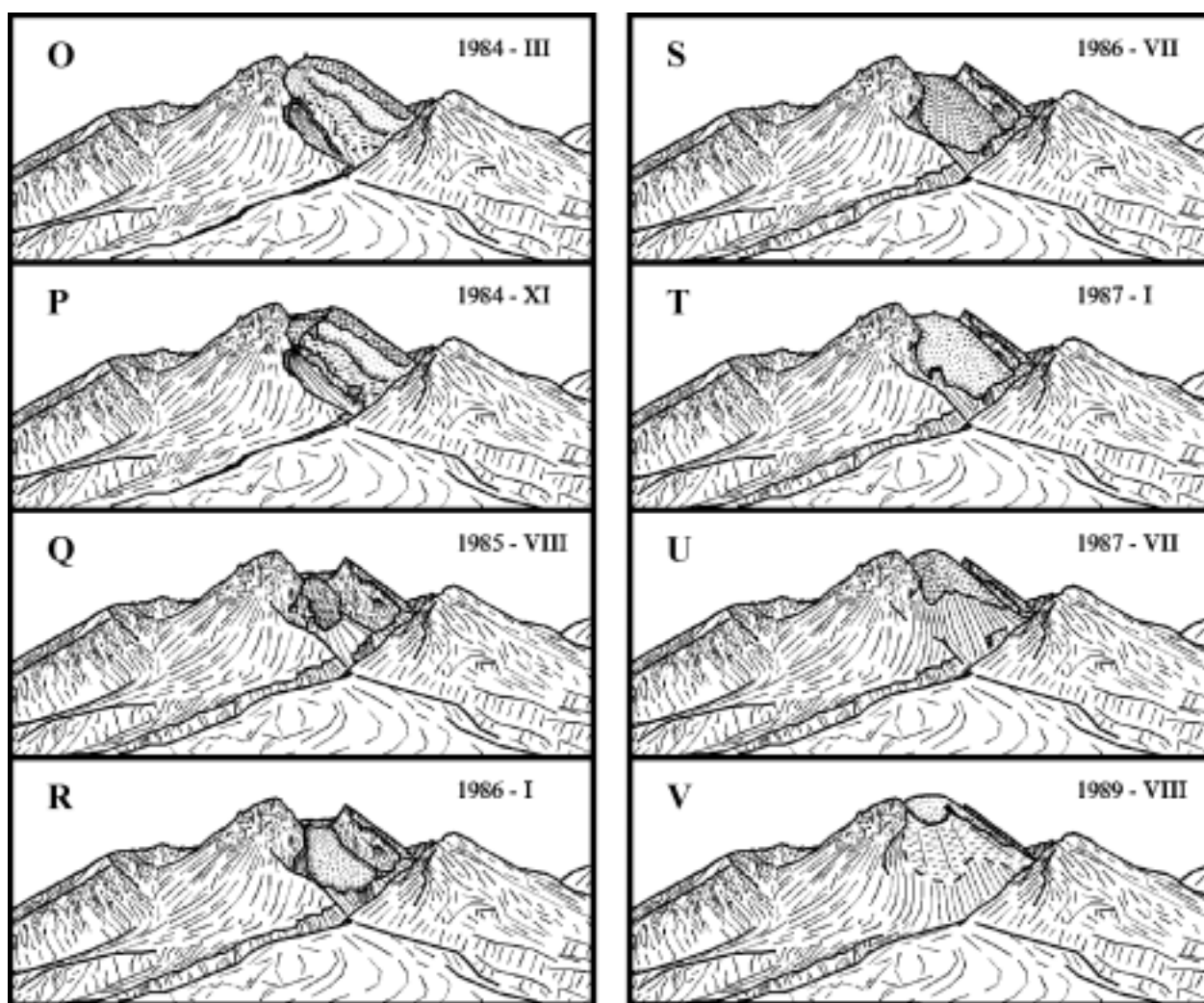


Рис. 19. Эволюция постройки Безымянного после извержения 30 марта 1956 г. Отрисовка выполнена относительно точки наблюдений в 1,5 км к юго-западу от лагеря Нижний (см. рис. 11, пункт 4).

Меняющимся крапом показаны лавовые потоки.

пользованы при воссоздании общей картины развития аналогичных событий на вулкане Безымянном. В частности, динамику общего развития процесса можно охарактеризовать следующими фактами и цифрами. По зарегистрированным в последовательности слайдов визуальным наблюдениям установлено [346], что первая часть гигантского оползня за первые 10 с движения набирает скорость от 50 до почти 80 м/с, затем скорость резко падает примерно до 35 м/с. До такой же скорости разгоняется и оставшаяся часть оползающего склона, стартуя при 20 м/с.

Скорость подъема эруптивной тучи над вулканом в первые 2–3 с достигает 100–140 м/с, затем резко падает до 50 м/с. В общей сложности за 30 с верхняя часть тучи достигает высоты около 1,6 км (средняя скорость немногим выше 50 м/с). Скорость подъема тучи над движущимся потоком раскаленной пирокластики в течение нескольких секунд сохраняется в пределах 100–130 м/с, а затем резко снижается до 30 м/с. В общей сложности за первые 30 с подъема вершина тучи достигает высоты около 1,2 км, что соответствует средней скорости подъема около 40 м/с. Что касается самого движущегося вдоль поверхности земли потока раскаленной пирокластики, то его начальная скорость меняется от 50 до 80 м/с (за 15 с около 1 км, что соответствует примерно 65 м/с) с общей тенденцией сначала к ускорению, а затем к снижению. Тенденция к ускорению опережающей основную массу потока более легкой пирокластики привела к ее разгону на первых 13 км в главном направлении движения ориентировочно до 140–150 м/с [333].

Извержение вулкана Сент-Хеленс произошло в воскресное утро. Стояла чудесная майская погода и в окрестностях, на первый взгляд, утихомирившегося вулкана находились отдыхающие. Поэтому в очевидцах произошедшего недостатка не было. Многие из них наблюдали разрушающее воздействие потока раскаленной пироклаستيку, некоторым довелось ощутить это воздействие, к сожалению, в прямом смысле этого слова, а кое-кому, как это ни печально, эти наблюдения стоили жизни. Но ни в свидетельствах очевидцев, ни в приведенных выше количественных оценках нет ни малейшего намека на сверхзвуковые скорости и баллистические траектории. Все это делает высказывания о том, что «представления Г.С. Горшкова [58, 59] о существовании катастрофических направленных взрывов на андезитовых вулканах, высказанные им на основании изучения последствий извержения вулкана Безымянный, блестяще подтвердились непосредственными наблюдениями за извержением вулкана Сент-Хеленс» [23], не совсем уместными.

Ради объективности следует отметить, что задача интерпретации событий, произошедших на вулкане Сент-Хеленс, оказалась не такой уж простой и для американских исследователей. Мур и Сиссон [327] интерпретируют характер произошедших событий преимущественно как развитие пирокластической волны, Уайтт [349] – как развитие пирокластического плотностного потока. Войт [347] пытается вычленить в самостоятельное событие процесс развития оползневой лавины. И только Хоблитт с соавторами [312] сочли возможным использовать термин «направленный вулканический взрыв» с той существенной оговоркой, что он относится ко всему комплексу произошедших 18 мая 1980 г. явлений и процессов, равно как и ко всей совокупности сформированных ими отложений. При этом (в отличие от работ [22–24, 28, 57–59, 61, 241]) нет ни малейшего намека на попытки выделения этого «направленного взрыва» в самостоятельную фазу извержения 18 мая 1980 г., а его отложений – в отдельные фации. Последняя точка зрения принципиальных возражений не вызывает. Однако, по мнению автора, при описании событий, подобных произошедшим на вулканах Безымянном 30 марта 1956 г. и Сент-Хеленс 18 мая 1980 г., все-таки более приемлемым представляется использование термина «направленное обвальное-эксплозивное извержение».

Сразу после направленного извержения вулкана 30 марта 1956 г. внутри образовавшейся кальдеры началась интенсивная экстрезивная деятельность. К 22 июня растущий купол уже достиг высоты около 300 м (рис. 19). Как свидетельствует сейсмическое сопровождение извержения, рост купола отличался крайней неравномерностью. После извержения вулкана 30 марта его сейсмическая активность быстро снижалась и в период с 4 по 8 апреля стабилизировалась на уровне $2 \cdot 10^7$ Дж/сут, а затем вновь начала возрастать, достигнув 19 – 20 апреля мощности $6 \cdot 10^9$ Дж/сут. Это более чем на три порядка превышало уровень предыдущего спада сейсмичности. Скорее всего, именно в третьей декаде апреля приращение объема экстрезии было максимальным.

На фоне общей тенденции к затуханию вспышки сейсмической и, вероятно, экстрезивной активности вулкана были в конце мая – начале июня и конце июля 1955 г. Кульминация последней из этих вспышек имела место 25 июля, а извержение в этот период вновь приобрело эксплозивные черты. Интенсивные обвалы с растущей экстрезии раскаленного и газонасыщенного материала неоднократно приводили к формированию небольших автоэксплозивных лавин, материал которых откладывался в пределах кальдеры у подножия экстрезии. Над постройкой вулкана на высоту до 10 км поднимались эруптивные облака с поверхностью типа «цветной капусты».

К двадцатым числам августа формирование автоэксплозивных лавин на куполе почти прекратилось. Теперь там происходили только обвалы, дававшие начало миниатюрным лавинам раскаленных обломков, спускавшимся по крутым склонам купола. На месте обвалов обнажалась свежая лава, которая некоторое время светилась в темноте тускло красным цветом. Судя по цвету, температура внешних частей купола не превышала 700°C . По оценкам Г.С. Горшкова [61], купол в это время достиг высоты 320 м. Его нижняя часть до высоты 180 м была покрыта обломочной мантией. Купол имел сдвоенную вершину с суммарным диаметром 320 м. На уровне основания мантии его диаметр достигал 620 – 650 м.

В конце августа 1956 г. имел место еще один, более слабый по сравнению с предыдущими, всплеск активности вулкана, за которым последовало плавное снижение активности в течение сентября и первой половине октября. После небольшого роя из пяти землетрясений в конце октября,

двух одиночных землетрясений в ноябре и одного – в декабре положение на вулкане окончательно стабилизировалось и наступил период покоя, продлившийся почти год. К апрелю 1957 г. (см. рис. 19, С) купол остыл с поверхности и, за исключением лишь самой верхней части, уже был покрыт снегом.

Практически весь 1957 г. вулкан находился в состоянии покоя. Чаще всего газовый столб поднимался на высоту 600–900 м. Иногда газовые выделения поднимались на высоту 2500–3000 м. Изредка (30 января, 1 марта, 31 июля) регистрировались поднимающиеся над вулканом столбы пепла и вулканокластической пыли, которые формировались, скорее всего, в ходе одиночных обвалов неустойчивых частей купола и стенок кальдеры. Рост купола почти прекратился: из верхних его частей на протяжении всего 1957 г. происходила спокойная эмиссия газов, а к осени по сравнению с апрелем никаких изменений в очертаниях и размерах купола не отмечено. Отсутствовали и местные землетрясения.

Лишь во второй половине ноября 1957 г. были вновь зарегистрированы одиночные землетрясения с эпицентром в районе Безымянного. После чего активность вулкана начала плавно возрастать и достигла максимума 13 февраля 1958 г. Во время кульминации извержение приобрело эксплозивные черты. 13 февраля в 9 ч утра в пос. Ключи наблюдатели заметили из-за склона Ключевской сопки белые клубы, которые держались в течение всего дня, а 14 февраля в пос. Боровом (40 км к юго-западу от вулкана) в течение всего дня шел пеплопад. После кульминации извержения активность вулкана стала быстро снижаться и к концу февраля вулкан вновь перешел в спокойное состояние.

Однако наступившее затишье на этот раз оказалось очень кратковременным и уже в апреле возобновился и стал усиливаться экструзивный процесс. Активность вулкана достигла максимума в период 26 – 28 июля 1958 г., когда был зарегистрирован рой землетрясений с эпицентрами в районе вулкана. К сожалению, наблюдения за ним в это время не проводились. Лишь 21 мая того же года из пос. Ключи из-за Ключевской сопки были видны серые облака. Скорее всего, их серый цвет был обусловлен вулканокластической пылью, поднимавшейся в ходе обвалов на интенсивно растущем куполе. Однако вполне вероятно, что во время пика активности вулкана 26–28 июля извержение приобретало эксплозивный характер.

К августу 1958 г. (см. рис. 19, D) купол вырос и внешний вид его изменился по сравнению с 1957 г. Большую часть площади кальдеры занимала вулканокластическая мантия купола. Монолитная лава экструзии обнажалась лишь в пределах верхних 50–70 м купола, образуя четко выраженный практически вертикальный уступ. Наступившее после июльского всплеска активности затишье продолжалось до второй половины октября, когда вновь появились и стали учащаться землетрясения в районе вулкана. Вероятно, стала повышаться и интенсивность экструзивного процесса. Нарастание активности вулкана достигло своего максимума 28 – 29 декабря, когда извержение вновь приобрело черты эксплозивной деятельности.

29 декабря 1958 г. утром в Ключах и его окрестностях на снегу был найден свежий пепел. Пеплопад в Ключах начался в ночь на 29 декабря и продолжался весь день. Одновременно зафиксировано большое число толчков с эпицентром в районе Безымянного. Вечером 29 декабря на территории вулканостанции собрали 21 г/м² пепла. Утром 31 декабря слабо-серый цвет поверхности снега отмечался даже в Эссо. По сообщениям метеостанции из Эссо, количество выпавшего пепла составило там 1 г/м². Судя по химическому составу, пепел принадлежал вулкану Безымянному. С 27 по 31 декабря 1958 г. зафиксировано около ста землетрясений. Максимальное число толчков (44) было 28 декабря.

В первых числах января 1959 г. состояние вновь стабилизировалось и признаки активности вулкана стали появляться лишь в конце февраля. Возобновились и стали учащаться землетрясения с эпицентром в его районе. Нарастал экструзивный процесс. В ходе обвалов все большее значение приобретало явление автоэксплозивности. Активность вулкана достигла максимума 28 – 29 марта 1959 г. В эти дни над вулканом почти все время поднимались небольшие эруптивные облака, высота которых достигала 3–3,5 км. 28 марта пепел вулкана был встречен уже в 20–25 км к востоку от пос. Ключи. 29 марта в районе западного склона купола происходило периодическое формирование небольших автоэксплозивных лавин из западной части купола через промежутки в среднем 30–40 мин. При этом слышался глухой громopodobный гул. Всю

ночь с 29 на 30 марта в окрестностях вулкана шел пеплопад. Палатки вулканологов в районе кратера Карпинского были покрыты слоем пепла толщиной около 5 мм. 31 марта выбросы пепла со стороны вулкана стали редкими. Воспользовавшись этим, Е.К. Мархинин и В.Б. Пугач совершили подъем к кратеру вулкана. Там толщина свежего пепла достигала 10 см.

Активность вулкана быстро падала и уже к середине апреля Безымянный вновь перешел в состояние покоя, которое продолжалось почти полгода. До конца сентября 1959 г. из его кратера спокойно выделялись пары и газы, иногда довольно обильные, и заполняли весь кратер. Наиболее интенсивные выделения были в западной (бывшей наиболее активной в ходе минувшего извержения) части кратера, откуда столб пара поднимался порой на 3,5 – 4 км.

С конца сентября из района вулкана вновь зарегистрированы сейсмические толчки. Активность вулкана нарастала в течение месяца, пока не достигла максимальных значений в период с 26 по 30 октября 1959 г. В общей сложности с 15 по 30 октября 1959 г. было зарегистрировано около 110 сейсмических толчков. Максимальное число толчков (46) было 29 октября. Во второй половине дня 26 октября из пос. Ключи за Ключевской сопкой (за которой был скрыт от наблюдателей Безымянный) заметили светло-серую полосу, протягивающуюся в восточном направлении. Первые следы пеплопада обнаружены приблизительно в 50 км к востоку от Ключей. В середине дня 29 октября у лагеря близ лавового потока Апахончич количество пепла составляло 4,3 г/м². Пеплопад здесь происходил и в ночь с 29 на 30 октября. Утром, когда рассеялся туман, отметили, что высота столба пара и пепла над кратером сопки Безымянной достигала около 2 км. В 11 ч дня пеплопад возобновился.

Затухание извержения было более быстрым по сравнению с предшествующей активизацией. Подъем над вулканом небольших столбов пара и пепла еще регистрировался в первых числах ноября. Утром 4 ноября один из таких паро-газопепловых столбов поднялся на высоту около 2 км над вулканом. Однако уже в середине ноября его состояние окончательно стабилизировалось.

После ряда землетрясений, связанных с извержением вулкана в октябре 1959 г., Безымянный не проявлял сейсмической активности до 23 февраля 1960 г., когда было отмечено первое землетрясение. Постепенно число толчков с очагом под вулканом увеличивалось. 6 апреля было отмечено уже пять землетрясений, 12 апреля – 21, а 13 апреля – 85. 13 апреля только за 1 ч (с 4 до 5 ч) было зарегистрировано 13 толчков. До этого дня среднесуточная энергия, выделяемая при землетрясениях, постепенно возрастала. После 13 апреля число толчков и их сила начали быстро убывать. Так, 14 апреля было отмечено 17 толчков, 15 – 8, 16 – 4. Непрерывное вулканическое дрожание имело место с 11 ч 13 мин апреля до 17 ч 14 апреля. Судя по сейсмическим данным, эксплозивная кульминация этого извержения имела место с 4 ч 13 апреля до 17 ч 14 апреля.

Во время извержения пеплопад прошел широкой полосой от южных склонов вулкана Плоского до вулкана Толбачик. Пепел выпал на площади не менее 1000 км². 20 апреля весь кратер был заполнен густыми клубами пара сизого и серого цвета, поднимавшегося на высоту 3 км над вулканом. Весь день из кратера слышался глухой грохот камнепадов. Часто каменные лавины поднимали клубы пепла, который вместе с парами разносился ветром по окрестностям вулкана. Слабый пеплопад наблюдался в ночь с 19 на 20 апреля и весь день 20 апреля.

Всю видимую часть кратера покрывал свежий пирокластический материал, который был отложен из автоэксплозивных лавин 13 – 14 апреля по двум руслам длиной 700 и 1700 м. Пирокластика представляла собой хаотическое нагромождение обломков лавы от 3–4 см до 6–7 м и пепла андезитового состава. На выходе из кратера отложения пирокластики дали начало грязевым потокам. Южный имел длину 8 км и ширину 25–30 м, а северный соответственно 4 км и 80–100 м. Грязевые потоки небольшой длины стекали также со средней части кратера.

Существенные изменения произошли на экстрезивном куполе. Значительно изменились его форма и размеры (см. рис. 19, Е) и увеличилось количество фумарольных полей на куполе, в кратере и на юго-восточном склоне вулкана (на выходе из кратера) образовались потоки свежего пирокластического материала. Абсолютная высота купола изменилась незначительно: увеличилась по сравнению с октябрём 1959 г. всего на 8–10 м. Однако ширина его стала намного больше. Рыхлый чехол стал тоньше и из-под него в ряде мест показались участки тела купола.

С конца апреля до конца 1960 г. землетрясений с очагом в районе вулкана не отмечалось. Все это время вулкан находился в спокойном состоянии. Лишь утром 5 декабря над кратером вулкана заметили небольшое пепловое облако. К полудню его размеры увеличились, а затем оно постепенно рассеялось. Вполне возможно, что это облако возникло в результате обвалов неустойчивых частей купола или стенок кальдеры.

В январе, феврале и первых числах марта 1961 г. какого-либо усиления активности вулкана визуально отмечено не было, хотя 9 февраля зарегистрировали первое землетрясение с эпицентром в районе вулкана, после чего сейсмическая активность стала быстро нарастать. Вероятно, в это же время возобновился и стал усиливаться обуславливающий ее деформационно-экструзивный процесс. Лишь 5 марта на общем фоне повышенной фумарольной деятельности с западной (теневого по отношению к наблюдениям из района с/ст Апахончич) стороны купола было зарегистрировано эпизодическое формирование парогазовых столбов белого цвета.

Одновременно с усилением сейсмической активности частота формирования столбов пара и газа стала возрастать, а высота их – увеличиваться. С 8 марта в парогазовых выделениях над вулканом постепенно увеличивалась доля пепла, цвет их темнел. В развитии обвальных лавин все большее значение начинал играть эффект автоэксплозивности. С 23 марта процесс обвалов стал практически непрерывным. С утра над кратером вулкана наблюдали светло-серое газопепловое облако. На следующий день цвет этого облака стал густо-черным.

25 марта нарастающая активность вулкана достигла своих максимальных значений. Как и накануне, в этот день над кратером вулкана с утра повисло густое черное облако газопепловых выделений. В 12 ч 50 мин произошло формирование первого пирокластического потока. Пепловая туча грибообразной формы поднялась на 6–7 км над вулканом. После этого наступило относительное затишье, продолжавшееся до 23 ч. Затем бурная деятельность вулкана возобновилась и продолжалась все дни 26 и 27 марта (68 % всех зарегистрированных землетрясений). С утра 26 марта в районе с/ст Апахончич отмечались непрерывный грохот извержения, интенсивное выпадение пепла, вспышки молний. Особенно усилилось извержение к 11 ч дня. В это время выбросы происходили практически непрерывно, форма туч менялась ежеминутно. Цвет туч был преимущественно черный, а высота достигала 8–9 км. Газопепловые облака относились ветром в северо-восточном направлении. В пос. Ключи с утра 26 марта наблюдался пеплопад, который усилился во второй половине дня и постепенно прекратился к вечеру. В Козыревске пепел выпал в ночь на 27 марта.

После кульминации извержения 25–27 марта его активность стала быстро снижаться. 28–29 марта наблюдателями регистрировались периодические выбросы газопепловых черных облаков на высоту 3–4 км в восточном направлении под углом 60–70° к горизонту, сопровождаемые громopodobным гулом. 30 марта наблюдались лишь интенсивная фумарольная деятельность и образование обвальных лавин раскаленного материала, сопровождавшихся в ночное время свечением. В начале апреля интенсивность обвалов постепенно уменьшалась, а последний раз свечение обвальных лавин было зарегистрировано 17–18 апреля 1961 г.

Однако наступившее на вулкане затишье было весьма относительным и условным. В отличие от всех предшествующих извержений, в 1958–1960 гг. состояние вулкана стабилизировалось при сохранении на достаточно высоком уровне его экструзивной активности. Уже в мае 1961 г. деформационный процесс стал вновь приводить к эпизодическому формированию небольших лавин холодных обломков с поверхности растущей экструзии. С течением времени обвалы происходили все чаще, вовлекая в процесс обрушения все большие объемы пород. Во второй половине июня отмечены в ходе обвальных процессов явления автоэксплозивности. 18 июня над вулканом отмечалось периодическое формирование небольших пепловых столбов – до 2 км. Их образование сопровождалось гулом, доносившимся до с/ст Апахончич. 20 июня зарегистрирован сильный пепловый выброс. Пепел выпал в районе Апахончич. Со стороны вулкана были слышны грохот и гул. 22 – 24 июня вечером и ночью с вершины купола часто скатывались лавины раскаленных обломков. Все лавины начинались в одном и том же пункте почти у самой вершины купола. К утру 23 июня активность вулкана несколько снизилась, лавины стали скатываться значительно реже. В последующие четыре дня эруп-

тивная деятельность вулкана постепенно ослабевала, раскаленные лавины скатывались все реже. 28 июня в 11 ч отметили формирование еще одной большой лавины раскаленных обломков.

В течение июля, августа, сентября и октября 1961 г. экструзивный процесс продолжался на фоне обычной сольфатарной деятельности. К ноябрю деформационно-экструзивный процесс стал усиливаться и на с/ст Апахончич стали все чаще регистрировать формирование над вулканом небольших газопепловых столбов. Активность вулкана еще более возросла в первых числах декабря. Интенсивность обвалов увеличилась. В ночное время они сопровождались свечением, судя по которому температура отдельных обломков в них достигала 900–1000 °С. Активность вулкана, постепенно ослабевая, к середине декабря снизилась до уровня августа – сентября и во второй половине декабря вулкан в основном проявлял лишь интенсивную сольфатарную деятельность. Во время усиления активности вулкана в июне и декабре 1961 г. изменений в уровне сейсмичности отмечено не было.

В январе – апреле 1962 г. вулкан по-прежнему находился в состоянии слабого развития деформационно-экструзивного процесса, протекавшего на фоне обычной слабой газовой эмиссии, временами усиливавшейся до умеренной. Активность его стала резко возрастать во второй половине мая. Сейсмической подготовки сейсмостанциями Ключи, Апахончич и Козыревск отмечено не было. Первые признаки начинающегося извержения были замечены на с/ст Апахончич в ночь на 21 мая, когда в теле внутрикратерного купола появились крупные раскаленные трещины. В 7 ч 45 мин зарегистрировали первый пепловый выброс высотой около 2 км.

Интенсивность извержения нарастала до 24 мая, после чего пошла на убыль. Для кульминационной стадии, продолжавшейся по 29 мая включительно, наиболее характерно образование нисходящих автоэсплозивных лавин, чередовавшееся с довольно сильными вертикальными пепловыми выбросами. То и другое происходило на фоне массового обрушения каменных лавин. В ночь с 24 на 25 мая отмечен наиболее сильный пеплопад. У подножия Безымянного на расстоянии 1,6 км выпало 113 г/м пепла, в районе с/ст Апахончич (16 км) – 62, в Козыревске (45 км) – 32, Ключах (42 км) – 23 г/м. Выпадение пепла произошло также во всех населенных пунктах, расположенных по р. Камчатке, на участках между Ключами и Козыревском. Материал автоэсплозивных лавин перемещался по нескольким руслам и откладывался на расстоянии до 4 км от вулкана. После 24 мая автоэсплозивность ювенильного материала постепенно снижалась. После 30 мая для вулкана были характерны в основном многочисленные каменные лавины обвального типа. Постепенно их частота и интенсивность снижалась. Свечение в ночное время становилось все более тусклым и к концу июня практически исчезло. Характерная черта этого извержения: процесс предкульминационного нарастания активности вулкана был существенно редуцирован во времени по сравнению с последующим затуханием.

Во второй половине 1962 г. (см. рис. 19, F) и весь 1963 г. вулкан сохранял слабый уровень деформационно-экструзивного процесса. Об этом свидетельствовали периодически происходившие близповерхностные землетрясения. Однако регулярные наблюдения за вулканом отсутствовали. В начале августа 1963 г. при подъезде к вулкану (в 30 км от него) обнаружили слой свежего пепла. Северная часть купола была сильно разрушена. От купола отходил короткий новый пирокластический поток, длиной 1500 м при ширине 150–200 м. Он заканчивался небольшим 20–30-метровым грязевым потоком. Все это свидетельствовало о том, что очередная активизация деформационно-экструзивного процесса с переходом извержения в эсплозивную форму произошла летом 1963 г. Вполне возможно, что подобная активизация также имела место и в декабре 1962 г. Эти вспышки активности, скорее всего, подобны предыдущим извержениям вулкана в июне и декабре 1961 и мае 1962 г.

В начале 1964 г. сейсмическая активность вулкана резко упала: в первое полугодие не зарегистрировано ни одного землетрясения. Однако в апреле над вулканом отмечался подъем небольших пепловых столбов от слабых обвальных лавин. После длительного перерыва, продолжавшегося около трех лет, в июне 1964 г. вновь зафиксированы более глубокие вулканические землетрясения (II типа, по П.И. Токареву [241]), связанные с деятельностью Безымянного. Первое довольно слабое землетрясение ($K=5$) было зарегистрировано на с/ст Апахончич 13 июня в 16 ч 22 мин по Гринвичу. С 18 июня землетрясения начали регистрироваться и на сейсмостанциях Ключи и Козыревск. В период с 18 июня по 13 июля они происходили редко, в среднем одно в 1–3 дня, затем их частота

возросла до 2–3 в сутки. С небольшими перерывами землетрясения продолжались до 30 октября; иногда их частота возрастала до 10–30 в сутки. Вулканическое дрожание в 1964 г. не отмечено.

В июне 1964 г. деятельность Безымянного выражалась преимущественно в выделении газовых струй белого цвета из западной части экструзивного купола. На склонах его парили фумаролы. Высота выделений, как правило, не превышала 400–500 м. Во второй половине июня появились и стали учащаться обвальные лавины с поверхности купола. В первой половине июля 1964 г. уже многочисленные каменные лавины спускались с восточного (особенно юго-восточного) его склона. От подножия до середины купола материал лавин образовал насыпной вал, а находившиеся здесь ранее обелиски разрушились. Первоначально холодный материал лавин в дальнейшем стал более нагретым, хотя количество самих лавин несколько уменьшилось.

Во второй половине июля, наряду с по-прежнему многочисленными каменными лавинами, стали регистрироваться обвалы, в процессе образования и развития которых все большее значение приобретало явление автоэксплозивности. Серия подобных автоэксплозивных лавин была зарегистрирована 24 – 25 июля. Их образование началось 24 июля в 11 ч 45 мин. В это время со стороны купола с расстояния 2,5 км послышался слабый шум. Вершина купола была в тумане, а по его юго-юго-восточному склону вниз катилась раскаленная лавина. Над лавиной по мере ее продвижения разрасталась ввысь и сносилась к северо-западу плотная клубящаяся туча из пепла и газов. Затем в течение 20 мин произошло формирование еще шести подобных лавин. Над ними на высоту 2–2,5 км поднимались пепловые тучи. Отложения последующих лавин накладываются на предыдущие, а тучи от них сливались в одну.

Когда эруптивное облако рассеялось, на юго-восточном склоне купола стала видна глубокая рытвина. Она начиналась не от вершины купола, а немного ниже по склону и не доходила до его основания. По рытвине вниз катились небольшие лавинки, которые достигали только нижнего ее конца. В ночь с 24 на 25 июля она светилась темно-красным цветом. 25 июля в 7 ч 15 мин в районе этой рытвины сформировалась новая автоэксплозивная лавина. Затем скатилось еще несколько подобных лавин.

Всю первую половину августа Безымянный продолжал находиться в состоянии, подобном описанному. На куполе продолжалось интенсивное формирование обвальных каменных лавин за счет интенсивного развития экструзивного процесса в пределах юго-восточной части купола. Высокая газонасыщенность ювенильного материала в случае крупных обвалов обуславливала эпизодическое образование серий автоэксплозивных лавин. Во второй половине августа активность вулкана несколько снизилась.

После непродолжительного затишья извержение Безымянного возобновилось 4 сентября. Утром усиление эруптивной деятельности выражалось в практически непрерывном формировании мощных обвальных лавин с одновременным подъемом грибообразных белых облаков на высоту 2–2,5 км над экструзивным куполом. С вулкана доносился непрерывный грохот. С этого дня на юго-восточном и восточном склонах экструзивного купола в отдельных точечных участках по ночам стало заметно свечение красного цвета. 5 сентября оно усилилось, увеличились размеры светящихся площадок. Все светящиеся участки служили центрами возникновения различных раскаленных лавин – обвальных и эксплозивных.

5 и 6 сентября эруптивная деятельность еще более усилилась и 7 сентября днем достигла максимума. Наряду с мощными автоэксплозивными лавинами зарегистрирована и чисто взрывная деятельность. Вертикальными взрывами из эксплозивных воронок на куполе выбрасывались газовые и газопепловые тучи на высоту 3–3,5 км. Обычный облик этих выбросов – гриб или пиния с высокой тонкой ножкой. Количество автоэксплозивных лавин увеличилось, а их материал откладывался на расстоянии до 4 км от купола. В ночь с 7 на 8 сентября размер участков свечения на куполе увеличился, периодически появлялись длинные светящиеся трещины, ориентированные в юго-восточном направлении.

Обычные лавины образовывались постоянно и часто предшествовали формированию крупных автоэксплозивных лавин. В течение пяти дней, с 4 по 8 сентября, в окрестностях Безымянного, на склонах вулканов Камень и Ключевской, в районах Апахончича, Ключей и Козыревска выпадал пепел. Он был связан с эпизодическими пеплопадами из отдельных эруптивных туч вертикальных

взрывов на вершине купола, а также из пепловых туч автоэсплозивных лавин. Мощность выпавшего пепла на с/ст Апахончич была 0,5 – 0,8 мм, в Козыревске – 0,5 мм, вблизи вулкана – 3–5 мм. С 8 сентября интенсивность извержения пошла на убыль. Сократились размеры светящихся участков. К 14–15 сентября они исчезли совсем и проявлялись на несколько секунд только при образовании редких раскаленных лавин. Уменьшилось количество автоэсплозивных лавин и их длина.

Эруптивная деятельность в 1964 г. в ходе всех этих событий связана с интенсивным экстрезивным процессом, охватившим юго-восточную часть купола. Здесь происходили постоянное выжимание обелисков свежей лавы и их последующее разрушение в ходе обвальных и автоэсплозивных лавин. Северо-западная половина купола в 1964 г. практически не изменилась. С 1962 г. свежие следы лавинной деятельности там не обнаружены. Во время извержения в июле – сентябре рост купола происходил в основном за счет увеличения его диаметра в юго-восточном направлении. Высота купола практически не менялась.

С 23 сентября активность вулкана вновь резко возросла. Однако извержение уже никем не наблюдалось. Лишь во время облета 9 октября были замечены следы пеплопадов на небольшой территории, прилегающей к северо-западной части вулкана, а 18 и 25 октября пепел выпал на расстоянии 20–30 км к северо-востоку от вулкана. Во второй половине октября землетрясения в районе вулкана прекратились, а сам Безымянный к ноябрю перешел в спокойное состояние, в котором и находился до начала следующего цикла активности в первых числах марта 1965 г.

Первым признаком приближающегося извержения было усиление сейсмической активности. Первое землетрясение, относившееся к источнику под вулканом Безымянным, было зарегистрировано 1 марта 1965 г. С 5 марта на сейсмограммах начало появляться слабое прерывистое дрожание с амплитудами 0,1 – 0,4 μ , обусловленное, скорее всего, усиливающимся экстрезивным процессом и происходящими на куполе крупными обвалами. Во второй половине дня 9 марта на сейсмограммах зафиксировано непрерывное вулканическое дрожание, отдельные цуги которого достигают максимальной амплитуды 0,6 – 0,7 μ . Со стороны вулкана доносился гул и грохот, наиболее сильные – в 2 ч ночи 10 марта. Все это время вулкан и долины рек Сухой и Большой Хапицы были закрыты пепловой тучей.

10 марта с утра эруптивная туча темно-серого цвета, закрывшая половину Ключевского вулкана и протянувшаяся в сторону хребта Кумроч, была видна из пос. Ключи. На с/ст Апахончич, находившейся в осевой части пепловой тучи, продолжался пеплопад, над вулканом сверкали молнии, но сам вулкан был закрыт. По наблюдениям из Козыревска (С.В. Попов) и с вертолета (В.А. Ермаков) над вулканом в это время возвышалась гигантская колонна серого цвета высотой до 7 км, состоящая из сильно сжатых газов, насыщенных пеплом. В верхней части колонна, расширяясь, превращалась в эруптивную тучу, которая сносилась к востоку.

Сама туча, достигнув к вечеру высоты 13 – 15 км, имела форму многоэтажного гриба. Ее нижнюю часть пронизывали черные языки свежих выбросов. Выделение пеплов и газа в основании колонны шло непрерывно. На этом фоне иногда происходили чисто газовые выбросы белого цвета, вероятно фреатические, высотой не более 2 км. Над восточным подножием вулкана поднимались серые газопепловые тучи, связанные с автоэсплозивными лавинами. К вечеру 10 марта из Ключей были видны отблески сильных электрических разрядов в темной газопепловой туче. В этот день произошло три толчка с эпицентрами в районе вулкана. Продолжалось вулканическое дрожание, амплитуда его то возрастала до 1 μ , то падала до 0,2–0,3 μ . К исходу суток дрожание ослабло и затем полностью прекратилось.

К утру 11 марта пепловая туча рассеялась. Установлено, что в ходе извержения происходило неоднократное формирование пирокластических потоков, материал которых отложился на расстоянии до 5 км от вулкана. Западная часть купола в ходе эсплозивной кульминации извержения была сильно разрушена. На западном склоне образовалось углубление до 50 м диаметром 150–200 м, ставшее главным источником газового и пеплового материала. Формирование небольших обвальных лавин здесь происходило практически непрерывно. Образующиеся при их формировании газопепловые тучи с небольшим содержанием пепла поднимались на высоту 1–1,5 км над вершиной купола. 12 марта в течение дня на куполе трижды регистрировалось формирование мощных автоэсплозив-

ных лавин, материал которых на выходе из кратера перемещался по трем руслам. Пепловая туча все дни сносилась ветром на восток. 10–12 марта в районе с/ст Апахончич наблюдались интенсивные пеплопады. Толщина слоя пепла, выпавшего за эти дни, достигла 14–17 мм.

В последующие дни активность вулкана значительно уменьшилась. Однако после этого извержения (как и после извержения в марте 1961 г.) стабилизация состояния вулкана произошла при сохранении довольно высокого уровня деформационно-экструзивного процесса. Вторую и третью декады марта на фоне интенсивной фумарольной деятельности на западном, юго- и северо-восточном склонах происходило эпизодическое формирование обвальных лавин раскаленных обломков. Распределение их во времени было неравномерным: как правило, после периода относительного покоя (несколько часов) наступал период, когда лавины следовали одна за другой. Такую периодичность, очевидно, следует связывать с неравномерным выжиманием ювенильного лавового материала. При движении каждой лавины образовывалось небольшое газопепловое облако, которое быстро рассеивалось; иногда в пределах кратера выпадало немного очень мелкой светло-серой вулканической пыли.

В последних числах марта интенсивность экструзивного процесса вновь стала быстро нарастать. Увеличилось количество лавин и их мощность. С вечера 30 марта активность вулкана несколько повысилась, что выразилось в увеличении объема газовых выделений и количества лавин; 1 и 2 апреля активность продолжала возрастать, обвалы стали автоэксплозивными, появились газопепловые выбросы, а над вершиной вулкана нависла эруптивная туча, медленно сносимая к северо-востоку. В период с 10 ч 2 апреля до 20 ч 3 апреля 1965 г. вновь зарегистрировано слабое непрерывное вулканическое дрожание. В это время обвалы на вулкане происходили непрерывно, а над кратером Безымянного поднимались клубы пепла серого цвета. Пепловая туча поднималась на высоту 1–2 км над кратером и сносилась ветром на юго-восток. При облете в самом кратере обнаружены свежие отложения автоэксплозивных лавин. Всю ночь со 2 на 3 апреля из Козыревска над кратером вулкана наблюдались мгновенные вспышки красного зарева, а в пос. Ключи в это время прошел слабый пеплопад.

В течение следующей недели активность вулкана характеризовалась преимущественно образованием лавин раскаленных обломков. 8 апреля наблюдался еще один слабый всплеск активности вулкана. На с/ст Апахончич в это время регистрировались слабые пеплопады. Затем начался окончательный спад активности. Обвальные лавины становились все более редкими и слабыми. К лету 1965 г. вулкан вновь перешел в состояние слабого развития деформационно-экструзивного процесса на фоне обычной фумарольной деятельности (см. рис. 19, G).

Весь остаток года на склонах купола наблюдались довольно частые обвалы и каменные лавины. В июне – августе породы в трещинах восточного блока были раскалены до красного свечения. Усиление сейсмической активности наблюдалось в августе и начале сентября 1965 г. Начиная с сентября усилилась фумарольная деятельность и участились обвалы.

Довольно высокий уровень деформационно-экструзивного процесса сохранился и в 1966 г. При облете вулкана в марте в западной наиболее разрушенной части купола на месте образовавшегося в марте 1965 г. углубления и несколько южнее было отмечено выжимание новой порции лавы. Вновь формирующийся купол в нижней части был монолитным и имел сглаженную поверхность, а в верхней – расщелился вертикальными трещинами и в виде веера слегка наклонялся к западу. Эта часть постройки купола не просматривалась со стороны с/ст Апахончич, поэтому наблюдения сопровождавших рост купола обвалов отсутствовали. Единственный признак их наличия – периодический подъем на небольшую высоту над постройкой вулкана серых газопепловых выделений.

В последующее время экструзия захватила почти всю западную и южную части 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 75 и 120 м соответственно. Общая площадь верхней части блока составляла примерно 0,1 км². В момент наблюдения глыбы и обелиски на поверхности имели температуру до 500–600°, но уже находились в твердом состоянии. Отдельные глыбы имели сглаженную поверхность с характерными штрихами, что указывало на пластичное состояние лавы в момент внедрения. В сентябре 1966 г. новое выжима-

ние лавы сопровождалось вулканическим дрожанием периодического характера (суммарное время 47 ч, $A=0,1-0,46 \mu$, $T \approx 0,6$ с).

В 1967 г. экструзивная активность вулкана продолжала сохраняться на довольно высоком уровне. При этом центр активности сместился в центральную и северную части купола, а сама экструзивная деятельность приобрела явно пластичный характер. В это время северный блок стал наиболее высокой частью купола. Его среднее превышение относительно границ с юго-западным блоком составило 93 м. В южной части северного блока выделялось плотное (по характеру расчленения поверхности), округлое в плане, куполообразное тело, представлявшее собой монолитное ядро экструзии. На его поверхности была заметна сеть характерных трещин, радиально расходящихся от наивысшей точки выжимающегося блока и всего купола на момент наблюдений (2787 м [197]). Вершина блока сравнительно пологая, северные и западные склоны крутые. Именно с них происходило постоянное обрушение обвальных лавин в атрио вулкана. Более пологие южные склоны были сложены массивными андезитами со скорлуповатой отдельностью. Высота выжимающегося блока в августе достигла 75–80 м.

Устойчивое развитие экструзивного процесса на Безымянном продолжалось весь 1968 и начало 1969 г. При облете вулкана в марте отмечено, что наряду с общим выжиманием экструзивного блока в северной и северо-восточной частях его вершины появились два новых активных центра. На склонах купола обнаружены свежие осыпи и следы каменных лавин, спускавшиеся в северную часть атрио кратера. В июле–августе 1968 г. и позже на куполе вновь наблюдался единый центр выжимания пластичной лавы. Экструзивный блок значительно увеличился и занимал северо-западную, северную части и небольшой участок центра вершины, которая была неровной и сложена лавовыми обелисками и развалами глыб различного размера.

В нижней части блока, на его сглаженной боковой поверхности, наблюдались свежие светлые полосы шириной от 10 до 50 см, прослеживавшиеся параллельно рельефу вершины выжимающейся экструзии. Выше такие же полосы шириной от 5 до 150 см были загрязнены вулканической пылью и фиксировались 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 экструзии на отдельные глыбы. Наличие полос различной ширины отражало неравномерность роста купола. Скорее всего, наиболее интенсивный рост экструзии происходил в периоды, когда сейсмическими станциями регистрировалось вулканическое дрожание. Судя по характеру сейсмической активности, в состоянии непрерывного экструзивного извержения вулкан находился до марта 1969 г.

В начале 1969 г. Безымянный был также в стадии чисто экструзивного извержения. Экструзивный блок к этому времени занял почти 2/3 вершины основной внутрикратерной экструзии – купола Нового. С марта 1969 г. центр экструзивной деятельности переместился в жесткую южную и юго-восточную части купола. Зона обвалов оказалась в пределах прямой видимости из района с/ст Апахончич. В привершинной юго-восточной части купола стали часто формироваться небольшие обвальные лавины. Возникавшие при их отрыве и движении небольшие пепловые столбы дежурными операторы принимали за слабые эксплозивные взрывы. Небольшое количество пепла, обычно образующееся в ходе обвалов, как правило, не распространялось за пределы постройки вулкана. Обломочный материал скапливался на склонах и в атрио кратера, причем из юго-восточной части атрио отдельные лавины стали выходить за его пределы.

В июне 1969 г. ранее активная часть экструзии полностью прекратила свой рост. Ее плоская вершина 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. Общая высота его достигала 30–40 м, при диаметре основания 70 м. В самой верхней части блока находились два иглообразных обелиска высотой в 7–10 м. С севера и северо-запада экструзивный блок ограничивался рвом шириной в 20–15 м и глубиной до 50 м. Со стенок растущей экструзии периодически происходили отрыв и обрушение в этот ров свежего ювенильного материала с формированием обломочных лавин и небольших газопепловых столбов.

После относительного затишья во второй половине июля 1969 г. активность вулкана стала быстро нарастать. Экструзивная деятельность вулкана быстро усиливалась. Обвальные лавины становились все более частыми, их мощь нарастала. К концу июля наряду с обычными обвалами появились автоэксплозивные лавины и, вероятно, газопепловые выбросы. Извержение приобрело эксплозивные черты, чего не наблюдалось уже более четырех лет. В ночное время движение обвальных лавин сопровождалось свечением. Активность вулкана была максимальной 25 и 31 июля, затем начала быстро падать и уже к 8 августа состояние вулкана стабилизировалось.

Однако экструзивная деятельность сохранялась на довольно высоком уровне, существенно превышавшем уровень первого полугодия. В юго-восточной части купола стали отмечаться довольно крупные обвалы от 5 до 15 в сутки. Обвалы 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 напоминавшие эруптивные тучи при вторичных взрывах.

11 октября при облете вулкана было отмечено, что вновь формирующаяся экструзия андезитов заняла почти всю южную и юго-восточную части вершины купола Нового и состояла из двух блоков, разделенных глубоким рвом, который на склоне переходил в юго-восточный желоб. Последний еще больше расширился и углубился. Вновь выжимающаяся экструзия значительно изменила морфологию купола Нового. В верхней части южного блока хорошо просматривались несколько иглообразных обелисков высотой до 70 м. У подножия обелисков с интервалом от 10–15 мин до 1 ч происходил отрыв блоков ювенильного материала с выбросом пепла и формированием каменных лавин, которые спускались с сильным грохотом и прослеживались по клубящейся пепловой взвеси над их поверхностью. Свечение в ночное время в этот период полностью отсутствовало.

Вулкан вновь активизировался в ночь с 24 на 25 октября 1969 г. Примерно в 19 ч до сейсморазведочного пункта, расположенного в 10 км от вулкана, донесся сильный грохот взрыва. Над юго-восточной частью 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 заволкло пепловой пылью, основная масса которой двигалась в том же направлении. Гул различной силы слышался почти всю ночь. Утром в районе лагеря обнаружили большое количество пепла и чувствовался запах сернистых газов. Кроме того, выпадение пепла отметили на с/ст Апахончич, северо-восточном склоне Ключевского вулкана и западных отрогах хребта Кумроча.

Весь вечер 24 октября и ночь на 25 октября на с/ст Апахончич регистрировалось слабое непрерывно-спазматическое вулканическое дрожание. Длительность его менялась от 15 мин до 1 ч. В перерывах примерно такой же продолжительности четко проявлялось спазматическое дрожание (от 30 с до 5 мин) и поверхностные землетрясения. Преобладали колебания с периодом 0,5–0,6 с. Среднее смещение почвы на с/ст Апахончич колебалось от 0,2 до 1,2 м. На фоне постоянного нарастания сейсмической энергии в 23 ч 30 мин отмечен максимум извержения. После этого на сейсмограммах фиксировалось непрерывное вулканическое дрожание. Частота колебаний осталась той же, смещение почвы уменьшилось до 0,2 м. Постепенно затухая, сейсмические явления прекратились к 8 ч 25 октября.

При облете вулкана 26–28 октября отметили, что в результате ночных событий оказалась сильно разрушена значительная часть вершины и юго-восточного склона купола Нового (см. рис. 19, Н). Обломочный и пирокластический материал узким потоком с небольшими ответвлениями прошел расстояние 5,5 км. При движении пирокластических потоков и автоэксплозивных лавин с подножия купола частично был сметен и ранее накопленный материал. В отличие от июльской активизации вулкана, обусловленной усилением экструзивной деятельности, т.е. эндогенными причинами, октябрьский всплеск активности, скорее всего, спровоцирован потерей устойчивости сравнительно больших объемов вновь выжимающихся экструзий, т.е. экзогенными причинами.

В ноябре и декабре по-прежнему сохранялся довольно высокий уровень экструзивной активности. До конца года продолжались обвальные лавины, иногда автоэкссплозивные, но в целом более слабые по сравнению с октябрьским извержением. Некоторые из них сопровождалась скатыванием обломочно-го материала на юго-восточные склоны вулкана, что хорошо было видно из района с/ст Апахончич.

В 1970 г. экструзивный процесс на вулкане продолжался. После эруптивного цикла в июле – октябре 1969 г. вулкан несколько ослабил деятельность. В начале 1970 г. отмечалась относительно спокойная фумарольная деятельность и небольшие обвальные лавины, сопровождавшиеся формированием столбов пепла и вулканокластической пыли. До марта режим извержения имел сравнительно спокойный характер. С/ст Апахончич периодически регистрировала слабые землетрясения и непрерывно-спазматическое дрожание. В начале марта экструзивный процесс несколько усилился. Лавины участились и стали более мощными. На юго-восточном склоне экструзивного купола, где зарождалось большинство обвальных лавин, образовалась новая экструзия. В конце 1969 г. она была выражена лишь отдельными иглообразными обелисками. Над вулканом постоянно поднимался столб парогазовых выделений. Его изначально белый цвет периодически приобретал серый оттенок за счет примеси пепла и вулканокластической пыли обвальных лавин. Высота подъемов газов над вершиной менялась от 200 до 700 м, изредка до 1000 м. В таком режиме вулкан находился до конца месяца.

В начале апреля на вулкане вновь наступило относительное затишье. При облете его вершины в конце апреля было отмечено, что выжимающаяся экструзия уже заняла всю южную и частично восточную части купола Нового. Восточная ее часть выжималась монолитным блоком, западная представляла хаотическое нагромождение крупных глыб и обелисков. Высота блока в целом значительно превышала экструзивный блок 1967–1968 гг., который к этому времени полностью прекратил свой рост и был покрыт снегом.

С мая активность вулкана стала нарастать. Усилилась фумарольная деятельность. Увеличилось количество обвалов и из-за постоянной примеси пепла цвет выделяемых газов изменился от белого к бурому. Со второй половины мая на куполе стало регистрироваться свечение обвального материала и участков его отрыва от растущей экструзии. Последняя в мае 1970 г. имела высоту 80–100 м при диаметре 150–200 м и состояла из двух скорлупообразных блоков, обращенных друг к другу внутренними сторонами, между которыми находился иглообразный обелиск. Блоки выжимались толчками под углом 45–50° и имели четко выраженные зеркала скольжения. Температура поверхности экструзии достигала 85–100°C. У ее юго-восточного подножия сформировалось зеркало отрыва, с которого и зарождалось большинство обвальных лавин.

После некоторого ослабления экструзивной деятельности в летние месяцы с сентября вулкан вновь начал активизироваться. Как и в предыдущие периоды, повышение мощности экструзивного процесса сопровождалось увеличением частоты и силы обвальных лавин. Иногда в процесс обрушений вовлекались довольно большие объемы пород, а сами лавины становились автоэкссплозивными. Гул и грохот обвалов временами были слышны на с/ст Апахончич (16 км). Наиболее сильные лавины регистрировались на с/ст Апахончич как поверхностные землетрясения. В ночное время отмечалось свечение. К концу года выжимающийся экструзивный блок приобрел скорлуповатое строение с монолитными иглообразными обелисками в центральной части. Высота блока достигала 150 м, диаметр основания – 300 м.

В 1971 г. вулкан был доступен визуальным наблюдениям в течение 194 дней. Усиление активности отмечалось в весенние месяцы. С марта увеличилось количество лавин, наблюдалось свечение купола, резко возросла фумарольная деятельность. В образовании и движении наиболее сильных лавин определенное значение играл эффект автоэкссплозивности. Выжимающийся экструзивный блок к июлю 1971 г. (см. рис. 19, I) занял всю восточную часть вершины купола Нового. Он был представлен светло-серыми сильно трещиноватыми андезитами и резко контрастировал с коричневыми андезитами остальной части купола. В конце июля активность вулкана упала и до конца года экструзивный купол находился в стадии умеренной фумарольной деятельности. Спазматическое дрожание, связанное с активностью вулкана в 1971 г., было незначительным. Наиболее интенсивное зарегистрировано на с/ст Апахончич в январе и марте ($A = 0,3–0,8 \mu$; $T = 0,5–0,7 c$). Наряду с поверхностными регистрировались и более глубокофокусные землетрясения (II–IV типов, по [241]).

В начале 1972 г. экструзивный процесс возобновился с новой силой. Однако центр его локализации несколько сместился и наиболее подвижной в 1972 г. стала юго-восточная привершинная часть купола Нового. Здесь в результате непрерывного выжимания андезитовой лавы продолжал расти новый блок, возвышаясь на 200–250 м над остальной частью купола. Он представлял собой хаотическое нагромождение андезитовых глыб с многочисленными газопроявлениями по трещинам. Именно отсюда брали начало все обвальные лавины, скатывавшиеся к подножию купола. Граница между новым блоком и старым куполом хорошо видна по резкой смене светло-серого новообразованного ювенильного материала на коричневатые андезиты старого купола.

В весенние месяцы появилось свечение купола, стали регистрироваться частые обвальные лавины и возрастала фумарольная деятельность. Максимума активности вулкан достиг в марте. В этот период зафиксировано наибольшее количество лавин. Отдельные стадии роста блока носили характер коротких пароксизмальных извержений, во время которых на куполе формировались серии автоэксплозивных лавин с выбросом довольно значительного количества пепла. Над вулканом почти постоянно был виден мощный столб серовато-коричневого пепла, поднимавшегося на высоту до 3,5–5 км. На этот же период приходилась и максимальная сейсмическая активность.

Хотя внешне уровень активности вулкана Безымянного в 1971 и 1972 гг. оставался приблизительно одинаковым, сейсмическая активность его с 1972 г. заметно снизилась. Количество поверхностных землетрясений, сопровождавших образование наиболее сильных раскаленных лавин, в 1972 г. по сравнению с 1971 г. уменьшилось. Практически отсутствовало в 1972 г. и вулканическое дрожание.

В 1973 г. вулкан Безымянный продолжал находиться в состоянии экструзивного извержения и в целом был более активен, чем в два предыдущих года. В начале года была наиболее активна северо-восточная часть выжимающегося экструзивного блока. Усиление активности вулкана, сопровождавшееся образованием обвальных лавин раскаленного материала с формированием небольших столбов пепла и вулканокластической пыли и свечением купола в ночное время, началось в весенние месяцы. В марте – апреле 1973 г. отмечена серия мощных автоэксплозивных лавин, одна из которых прошла ниже временной с/ст Безымянная (около 4 км от центра извержения). Пирокластический материал этих лавин откладывался по двум руслам. Часть автоэксплозивных лавин, включая упомянутую, двигалась вдоль хребта, ограничивающего поле отложения пирокластических потоков с севера. Другие лавины не вышли за пределы кратера, покрыв отложениями пирокластики центральную часть восточного склона купола.

В мае продолжала наиболее активно выжиматься северо-восточная часть купола, затем центральная и юго-восточная. Их вершины были засыпаны крупноглыбовым материалом. С восточной стороны в привершинной части купола сформировалось радиальное углубление, служившее путем спуска обвальных каменных лавин на склоны купола. В июне извержение вулкана вновь усилилось. 6 и 23 июня в районе с/ст Апахончич наблюдали выпадение пепла, высота пепловой тучи над вулканом достигала 2–4 км. 26 июня отмечено свечение всей верхней части купола. К этому времени высота выжимающегося блока достигла 300 м. При посещении вулкана в июле было установлено, что строение купола осталось прежним. Наблюдалось активное выжимание центральной части блока. В верхней его части отмечалось постоянное свечение пород и шло разрушение купола. Небольшие каменные лавины спускались по восточному склону, не распространяясь за пределы кратера.

В 1973 г. практически отсутствовало вулканическое дрожание, сравнительно широкофокусные землетрясения под вулканом не отмечались, а поверхностные землетрясения, если и были, то весьма слабые. Выделить их на фоне интенсивной взрывной деятельности Ключевского вулкана не представлялось возможным. Таким образом, сейсмическая активность вулкана Безымянного, регистрировавшаяся на с/ст Апахончич, к 1973 г. упала до минимума, в то же время данные визуальных наблюдений за куполом показывали его возросшую внешнюю активность. Скорее всего, это было связано со смещением вулканической деятельности из более глубоких частей магматического канала в сам купол [55,56] и с увеличением пластичности ювенильного материала.

В 1974 г. продолжалось выжимание андезитов в восточном и юго-восточном секторах купола Нового. Выжимание сопровождалось разрушением купола с образованием обвальных лавин. Наиболее крупные обвалы приводили к формированию автоэксплозивных лавин, материал которых отла-

гался, как правило, в пределах кратера 1956 г. Наиболее интенсивные лавины отмечались в конце сентября, когда одна из лавин распространилась на расстояние около 2,5 км от центра извержения, сформировав отложения пирокластики вдоль русла шириной 40–50 м на протяжении около 1 км.

В начале 1975 г. весь восточный склон купола был лишен снежного покрова, несмотря на сплошной снеговой покров вулкана, и покрыт свежими шлейфами осыпей. На фоне умеренной фумарольной деятельности продолжалось спокойное выжимание жестких блоков андезитов, сопровождавшееся обвальными лавинами и формированием столбов пепла и вулканокластической пыли. В периоды повышения активности вулкана, когда процесс обрушений становился наиболее интенсивным, происходило формирование автоэксплозивных лавин, а эруптивный процесс приобретал черты эксплозивного извержения.

В конце января на куполе вулкана наблюдались небольшие обвальные лавины, а на с/ст Апахончич регистрировались поверхностные землетрясения IV типа (24 января их было около 20). 25 января, вероятно, прошла серия автоэксплозивных лавин. На с/ст Апахончич в течение 40 мин фиксировалось спазматическое вулканическое дрожание. Средняя амплитуда смещения составила 1 μ , максимальная 5 μ , средний период колебаний 0,5–0,7 с. После некоторого затишья активность вулкана в марте стала нарастать и достигла максимума в апреле, когда процесс обрушений на вулкане стал наиболее интенсивным, а на сейсмограммах за месяц было зарегистрировано около 1000 поверхностных землетрясений, связанных с наиболее сильными обвалами.

Довольно высокий уровень активности сохранялся весь май и июнь. Во втором полугодии активность вулкана несколько упала. На фоне обычной фумарольной деятельности над вулканом лишь изредка регистрировались небольшие столбы пепла и вулканокластической пыли. К концу года интенсивность экструзивного процесса вновь стала возрастать. Постепенно увеличивались частота и мощность обвальных лавин. С середины декабря наблюдались свечение лавин раскаленных обломков и участков их отрыва от выжимающегося экструзивного блока. В таком состоянии вулкан находился до первых чисел февраля 1976 г.

В феврале 1976 г. наблюдения за вулканом прекратились и возобновились лишь в мае. В это время вулкан находился в стадии постепенного уменьшения активности и затухания экструзивного процесса. Последние обвальные лавины зарегистрированы в конце июня, после чего вулкан перешел в состояние покоя и умеренной фумарольной деятельности. В ходе весенне-летнего периода активности в центре юго-восточной части купола образовалось экструзивное тело, имевшее относительно ровную сферическую поверхность. Его форма свидетельствовала о сравнительно более высокой пластичности выжимаемой лавы в момент формирования. Превышение этого экструзивного выжима над его основанием по состоянию на 6 сентября составляло 71 м, а абсолютная отметка наивысшей точки этого блока (вершина выжима) – 2882 м [197]. В декабре активность вулкана вновь повысилась. Наблюдатели из района с/ст Апахончич стали регистрировать формирование надстройкой вулкана столбов пепла и вулканокластической пыли и образование каменных лавин.

В 1976 г. сейсмических событий отмечено сравнительно мало. Поверхностные землетрясения практически отсутствовали. Однако суммарная сейсмическая энергия более глубокофокусных землетрясений за этот год была выше, чем в 1975 г. Наиболее сильные землетрясения с глубиной очага 5–10 км произошли в мае и июле под северо-восточным и юго-восточным подножиями вулкана.

После относительного затишья в конце 1976 г., с начала января 1977 г. деформационно-эруптивный процесс стал постепенно усиливаться. Первые очень слабые поверхностные землетрясения отмечены уже в начале января. Кроме них стали регистрироваться и более глубокофокусные землетрясения. Их очаги располагались либо в самой постройке вулкана ($H \leq 0$), либо на небольшой глубине непосредственно под ней ($H=0-5$) к югу и юго-востоку от кратера. Наиболее сильное в этой серии землетрясений с $K=8$ и глубиной очага порядка 3 км произошло 23 января. К концу февраля глубокофокусные землетрясения практически прекратились. Однако к этому же времени частота поверхностных землетрясений, нараставшая в течение января-февраля, достигла уровня 20–50 событий в сутки. В этот период на вулкане происходили многочисленные обвальные лавины.

В первых числах марта активность вулкана несколько снизилась, затем вновь стала нарастать. К середине марта на фоне многочисленных обычных обвалов стали появляться все более мощные

автоэсплозивные лавины. В двадцатых числах марта купол вулкана уже был окутан плотной завесой пепла и вулканокластической пыли. На фоне продолжавшегося усиливаться деформационно-экструзивного процесса 25 марта в 00 ч 50 мин по гринвичскому времени в пределах постройки вулкана произошло крупное нарушение сплошности пород, сопровождавшееся землетрясением 7-го энергетического класса с очагом, находившимся выше уровня моря в вулканической постройке.

После этого события произошел обвал части восточного склона купола Нового. У его подножия с восточной стороны примерно на площади $0,3 \text{ км}^2$ отложился крупнообломочный материал, состоявший из монолитных глыб размером $2 \times 3 \text{ м}$ роговообманково-пироксеновых андезитов старого купола. В восточной его части образовалась глубокая впадина асимметричного строения, открытая на восток. Объем разрушений составил $3\,077\,000 \text{ м}^3$ [197]. Высота обрывистых стенок впадины изменялась от 15 до 70 м.

Одно из крупнейших, в истории купола Нового, разрушений его постройки спровоцировало бурную эсплозивную деятельность вулкана. Спустя 15 мин поднимавшееся над вулканом эруптивное облако уже достигло высоты около 5 км, а сила извержения продолжала нарастать. В это время в зоне разрушений происходило практически непрерывное истечение газо-пирокластической взвеси в форме пирокластических потоков и автоэсплозивных лавин. Поверхностные и происходящие в постройке вулкана землетрясения следовали так часто, что слились и перешли в спазматическое вулканическое дрожание, продолжавшееся около 2 ч. Это дрожание представляло собой непрерывные колебания амплитудой $0,2 - 0,5 \mu$ с резкими всплесками амплитудой до 10μ , периодом $0,8 \text{ с}$ и длительностью до $1,5-2 \text{ мин}$. Высота эруптивной тучи над вулканом достигла 10 км.

После этой кратковременной пароксизмальной стадии началось постепенное снижение активности вулкана. Извержение газо-пирокластической взвеси приобрело импульсный характер. После прекращения спазматического дрожания отдельные землетрясения в постройке вулкана продолжались еще несколько часов, а затем прекратились. Последние порции извергаемого ювенильного материала сформировали на дне впадины небольшой лавовый поток, мощностью от 5 до 16 м. Длина потока на 6 сентября составляла 300 м, площадь $35\,210 \text{ м}^2$, объем $352\,400 \text{ м}^3$. Это было первое историческое излияние лавового потока Безымянного.

В ходе пароксизмальной стадии извержения материал пирокластических потоков и автоэсплозивных лавин распространился на расстояние до 7,5 км от центра извержения и отложился на площади $3,34 \text{ км}^2$. Его объем составил $0,0136 \text{ км}^3$. Мощность отложений у подножия купола была минимальна, тогда как на расстоянии более одного километра от эруптивного центра отложения пирокластики образовали сплошной чехол шириной до 300 м и более и мощностью 3–5 м в пониженных участках рельефа. Горячий материал пирокластических потоков растопил снег на своем пути. Это в свою очередь привело к формированию лахаров, отложивших грязевые массы на расстоянии до 20 км от подножия купола.

Наступившее после излияния лавового потока затишье изредка нарушалось небольшими обвальными лавинами, сопровождавшимися формированием столбов вулканокластической пыли. По южной кромке впадины продолжала обрушаться в нее часть экструзии 1976 г. По сети поперечных трещин происходило постепенное обрушение и нижней части потока. Обвальные лавины формировались на вулкане до конца года. Наибольшее их количество зафиксировано в июне, октябре и ноябре. С конца марта до декабря 1977 г. и всю первую половину 1978 г. никаких существенных сейсмических событий на вулкане Безымянном больше не было.

Всю первую половину 1978 г. Безымянный находился в состоянии покоя и умеренной фумарольной деятельности. Лишь с июля над ним стал вновь наблюдаться подъем на небольшую высоту столбов вулканокластической пыли, сопровождавших движение обвальных лавин. Возобновившийся деформационно-экструзивный процесс был локализован в привершинной части впадины, возникшей в результате разрушений восточного склона вулкана в марте 1977 г. В августе он постепенно усиливался и к концу сентября достиг максимального для этого извержения уровня. Обвалы следовали практически непрерывно. В последних числах сентября появилось свечение материала обвальных лавин и участков их отрыва.

30 сентября зарегистрировали спазматическое дрожание длительностью 1 и 3 ч с перерывом в 10 ч, достаточно однородное, без резких перепадов амплитуд. На его фоне с амплитудой около 0,3 μ выделялись цуги с амплитудой колебаний до 4 μ и $T=0,7-0,8$ с. Скорее всего, именно в это время произошло формирование двух серий автоэксплозивных лавин, пирокластические отложения которых установлены аэровизуальными наблюдениями за 9 октября 1978 г. Значительная часть пирокластического материала отложилась у основания северных склонов кальдеры в атрио вулкана. Более подвижная часть пирокластики образовала поток на восточном склоне вулкана, фрагментарно наблюдавшийся на снимках.

В это же время благодаря повышенной пластичности и высокой температуре поступающего на поверхность ювенильного материала произошла плавная трансформация выжимавшегося экструзивного блока в лавовое вздутие, а затем в медленно передвигавшийся вниз по склону поток вязкой андезитовой лавы, т.е. произошел постепенной переход от экструзивной формы извержения к эффузивной. Процесс трансформации обеспечивался интенсивными обвалами как с выжимающейся экструзии, так и с поверхности лавового вздутия, а впоследствии – с фронта лавового потока. Образующиеся в ходе обвалов пепел и вулканокластическая пыль захватывались в столб фумарольных выделений и по шлейфу вулкана разносились на большие расстояния. На с/ст Апахончич в начале октября неоднократно отмечались слабые пеплопады.

Перемещения фронта лавового потока было максимальным в первых числах октября, затем замедлилось и во второй декаде октября стало практически неуловимым. О небольших подвижках лавового потока свидетельствовали лишь все более слабые обвальные лавины с его поверхности и фронта. В середине октября исчезло свечение обвального материала, а в конце октября практически прекратились и сами обвалы.

Наступившее на вулкане в ноябре 1978 г. затишье, было непродолжительным. Уже в двадцатых числах января 1977 г. над вулканом вновь стали отмечаться клубящиеся выделения вулканокластической пыли. С 5 февраля наряду с поверхностными землетрясениями начали регистрироваться и землетрясения в постройке вулкана и непосредственно под ним. В результате усиливавшегося деформационно-экструзивного процесса в восточном секторе привершинной части купола Нового произошло формирование экструзивного тела с близсферической поверхностью.

11 февраля благодаря нарастающей мощности экструзивного процесса произошли новые крупные разрушения восточного сектора вулкана, спровоцировавшие переход последнего в стадию бурной эксплозивной деятельности. Эксплозивная фаза извержения сопровождалась интенсивным спазматическим дрожанием, длившемся 2 ч ($A_{\max}=8$ μ , $T=0,8$ с) и по виду похожим на дрожание 1977 г. Высота эруптивной тучи достигала 7–10 км.

После обрушений и эксплозивной деятельности от сформировавшегося перед кульминацией извержения экструзивного тела остался лишь мощный сферический вал, окружавший с запада и юго-запада практически отвесными обрывами (до 79 м) зону разрушений (см. рис. 9, 16, J). Ранее существовавшая впадина в постройке вулкана значительно расширилась и углубилась. Как и прежде, она была вытянута в восточном направлении и имела длину до 400 м при ширине 260 м. Объем впадины увеличился до 0,0048 км³ [197]. В ходе пароксизмальной стадии извержения были разрушены и оба излитых в предыдущих извержениях лавовых потока.

В результате мощного эродирующего воздействия обвалов, автоэксплозивных лавин и пирокластических потоков на выходе из впадины (в ее нижней части) образовался каньон (или желоб). Он имел глубину от 20 до 40 м, ширину в верхней части у впадины – до 200 м, нижней (у стены кратера) – до 60 м. Далее каньон продолжался вдоль северо-восточного борта кратера до начала отложений пирокластического потока. Его глубина на выходе составляла 6 м.

Формировавшиеся в ходе обвалов и бурного истечения газо-пирокластической взвеси потока раскаленной пирокластики покрыли склон вулкана на площади 4,81 км². Длина зоны отложений пирокластических потоков составила 6,7 км, средняя ширина – 1,0 км, максимальное удаление от центра извержения – 8 км. Общий объем отложенного в зоне аккумуляции резургентного и ювенильного материала составил 0,0170 км³. На с/ст Апахончич 11 и 12 февраля отмечено выпадение пепла.

Сразу после кульминации извержения активность вулкана стала снижаться. Истечение газопирокластической взвеси сначала приобрело импульсный характер, затем сменилось сначала автоэксплозивными, а потом обычными обвалами. 12 февраля в ночное время зарегистрировано интенсивное свечение материала обвальных лавин и расположенной в привершинной части впадины зоны их формирования. В последующие дни установлено, что в пределах впадины происходило медленное сползание вниз по склону потока вязкой андезитовой лавы. Таким образом, 11–12 февраля произошел быстрый и постепенный переход от эксплозивной формы деятельности вулкана к эффузивной.

Продвижение лавового потока продолжалось, по крайней мере, до конца второй декады февраля и сопровождалось интенсивными обвалами с фронта потока и его поверхности. По состоянию на 21 февраля лавовый поток имел площадь $44\ 100\ м^2$ и объем $485\ 100\ м^3$ [197]. Место его излияния 1979 г. строго совпадало с центром излияния потока 1977 г. Поднимавшиеся над вулканом пепел и вулканокластическая пыль переносились по парогазовому шлейфу вулкана на большие расстояния. На с/ст Апахончич временами регистрировался слабый пеплопад. К концу февраля поток окончательно прекратил свое продвижение. Однако все более редкое формирование над вулканом клубов вулканокластической пыли продолжалось в течение всего марта. Единичные слабые обвалы с поверхности лавового потока и с обрывистых стен впадины происходили также в мае и июле 1979 г.

С середины февраля до середины сентября в районе вулкана было зарегистрировано только два землетрясения ($K=6,3$ и $K=6,9$). Новое извержение началось без всякой сейсмической подготовки (по крайней мере, на уровне землетрясений с $K>5,5$). Начиная с августа возобновился и стал усиливаться деформационно-экструзивный процесс. Как и в двух предыдущих извержениях, он был локализован в привершинной части впадины, образовавшейся в результате разрушений восточного сектора купола Нового. Здесь над предполагаемым жерлом начал выжиматься локальный лавовый блок. К 3 сентября по данным аэросъемки [197] его размеры составили $58 \times 180\ м$, а выдвинулся он на высоту 23 м.

Нараставшая активность вулкана достигла максимума в период с 17 по 23 сентября. В это время в результате все более интенсивных обвалов с поверхности выжимающегося блока произошла постепенная его трансформация сначала в лавовый купол с близсферической поверхностью, а затем – в сползающий вниз по склону лавовый поток. Раскаленный и газонасыщенный ювенильный материал обусловил автоэксплозивность наиболее крупных обвалов и извержение сначала приобрело эксплозивные черты, а 17–18 сентября на короткое время перешло в эксплозивную форму.

Кульминация извержения была представлена двумя сериями автоэксплозивных лавин и небольших пирокластических потоков, при формировании которых эруптивные тучи поднимались на высоту до 8 км. 17 сентября в течение 6 ч регистрировалось спазматическое дрожание. Как и в 1978 г., амплитуда колебаний изменялась в небольших пределах ($A_{\max}=1,2\ \mu$, $T=0,8\ с$). 18 сентября наблюдателями со станции Апахончич уже была замечена лава. В этот день снова в течение 8 ч с перерывами по 5–10 мин регистрировалось вулканическое дрожание ($A_{\max}=1,5\ \mu$, $T=0,7\ с$), которое затем постепенно перешло в землетрясения II – III типов.

После этого активность вулкана стала снижаться. Землетрясения продолжали происходить еще в течение 5 сут. В двадцатых числах сентября вниз от кратера по каньонообразному желобу, изредка проносились автоэксплозивные лавины. Во время сентябрьского извержения удалось наблюдать прохождение такой лавины в непосредственной близости [104]. Скорость ее в желобе на склоне купола составляла около 150 км/ч, на расстоянии 3 км от кратера – 50–60 км/ч. При движении над потоком поднимались газопепловые клубы высотой до 4 км. Ночью было видно, что вся поверхность потока усеяна раскаленными светящимися глыбами разных размеров. С 23 сентября автоэксплозивные обвалы сменились обычными. Последние, постепенно ослабевая, продолжались до конца октября. На с/ст Апахончич временами регистрировались слабые пеплопады. В ноябре 1979 г. состояние вулкана окончательно стабилизировалось и до весны 1980 г. на куполе Новом наблюдалась лишь умеренная фумарольная деятельность.

В результате извержения объем впадины в постройке купола Нового увеличился до $0,0052\ км^3$ [197]. В ней сформировался новый лавовый поток объемом $561\ 400\ м^3$. Поверхность пото-

ка относительно предыдущего поднялась в среднем на 53 м. Желоб, образовавшийся в результате выноса материала предыдущим извержением, стал вдвое длиннее и шире. Наименьшая глубина желоба – 15 м в районе выхода из него материала пирокластических потоков. Основная масса пирокластического материала была вынесена по желобу и распространилась в нижней части склона вулкана. Площадь потока 1,26 км², объем отложившейся пирокластики 0,0065 км³, наибольшее ее удаление от центра извержения 5,5 км.

Весеннее извержение 1980 г. походило на извержения вулкана в марте 1977 и феврале 1979 гг. Первая вспышка активности была отмечена 18 апреля около 18 ч. В первой половине дня 19 апреля наблюдалась серия пирокластических потоков и мощных автоэсплозивных лавин, сопровождавшаяся газопепловыми выбросами. Высота эруптивной тучи над вулканом достигала 5–6 км. Каньон, по которому происходил снос материала предыдущих извержений, еще больше расширился и углубился. Этот прямолинейный желоб приобрел роль своеобразного транспортера, по которому основная масса пирокластики выносилась более чем на 1,5 км и откладывалась в нижней части склона на расстоянии до 8 км от центра извержения. В результате извержения излился пирокластический поток площадью 3,58 км² и объемом 0,019 км³, объем впадины в восточном секторе купола Нового увеличился почти вдвое – до 0,0091 км³. Дно воронки углубилось на 36 м по сравнению с наблюдениями в октябре 1979 г., что указывает на полное уничтожение взрывом не только оставшихся в воронке лавовых потоков, но еще и части купола под этими потоками. На дне воронки образовался новый лавовый поток площадью 49 200 м² и объемом 590 400 м³. Его ориентировочные размеры 180 × 270 × 10 м.

Новый всплеск активности вулкана имел место во второй половине августа 1980 г. В общих чертах он был подобен извержению вулкана в октябре 1978 г. По данным с/ст Апахончич 21–22 августа наблюдалось свечение купола, образование лавин раскаленного материала. Над постройкой вулкана на небольшую высоту периодически поднимались столбы пепла и вулканокластической пыли. В результате этого извержения предыдущий лавовый поток был не уничтожен, а полностью перекрыт свежим. По состоянию на 27 августа [197] площадь поверхности нового лавового потока составляла 84 310 м², а общий объем двух лавовых потоков последних извержений равнялся 0,0013 км³. Объем впадины в восточном секторе постройки купола Нового увеличился до 0,0092 км³. В последующие дни поток несколько изменил свои очертания, что связано с продолжавшимся выжиманием лавы из жерла, сползанием потока вниз по склону и обрушением его фронтальной части. Отдельные блоки и глыбы, отделившиеся от лавового потока, сместились почти до стенок кальдеры в атриум вулкана (см. 19, К). Мощность лавового потока в его нижней части достигла 21 м. К концу сентября вулкан перешел в состояние покоя и умеренной фумарольной деятельности.

1.2.4. Извержения 1981 – 1987 гг.

К началу рассматриваемого периода в Безымянный представлял собой вулканический аппарат сложного типа. Внутри кальдеры, образовавшейся в ходе направленного извержения вулкана 30 марта 1956 г., располагался купол Новый, сформировавшийся в ходе последовавших извержений. В свою очередь в строении купола Новый выделялись два блока: стабильный – западный, сформировавшийся за счет экструзивных пород наиболее ранних извержений и проявлявший в течение всего периода наблюдений только фумарольную активность, и активный – восточный, с которым связаны извержения как ряда предыдущих, так и всех последующих лет (см. рис. 9). Непосредственно перед началом извержения активная восточная часть вулкана представляла собой впадину в восточном секторе купола Нового объемом 0,0092 км³ [197]. В эту впадину были излиты один на другой лавовые потоки двух предыдущих извержений (см. рис. 19 К, рис. 20).

После извержения вулкана в августе – сентябре 1980 г. он более полугода находился в состоянии покоя и умеренной фумарольной деятельности. С октября по март белоснежный покров вулкана ни разу не был нарушен следами обвалов и камнепадов. Однако к лету он вновь активизировался и 13–14 июня 1981 г. на вулкане произошло первое из наблюдавшихся автором эсплозивных извержений. В работе [98] его начало и кульминация отнесены к вечеру 12 июня. Это противоречит прямым наблюдениям как автора, так и других очевидцев (в частности Ю.Ф. Скуридина). Скорее всего, создавшаяся ситуация обусловлена не совсем корректной попыткой интерпретации данных сейсми-

Часть 1. НАБЛЮДЕНИЯ

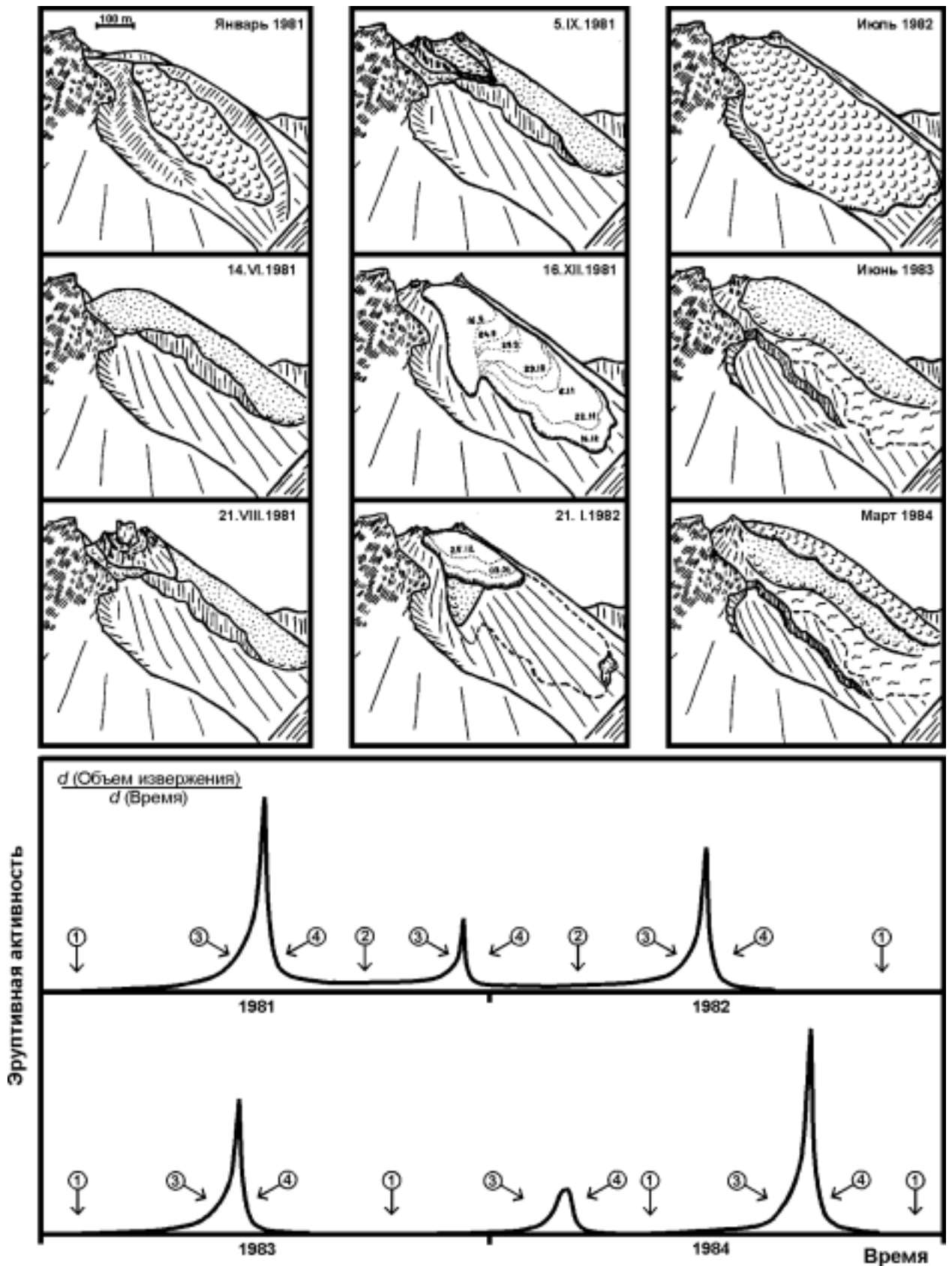


Рис. 20. Изменения восточного блока и динамика активности вулкана в 1981–1984 гг.

На рисунках меняющимся крапом обозначены лавовые потоки. На графике стрелками показаны состояния: 1 – покоя, 2 – стационарного развития, 3 – лавинообразной (чем больше, тем быстрее) активизации, 4 – лавинообразного (чем меньше, тем медленнее) снижения активности



Рис. 21. Эксплозивная деятельность в. Безымянного днем 13 июня 1981 г.
(фото Ю.Ф. Скуридина).

ческих наблюдений, которые выполняются в международном времени и смещены по отношению к местному на 12 ч назад. Во избежание подобных недоразумений здесь и далее хронометраж процессов дается в местном времени (международное время плюс 12 ч).

Начавшееся извержение было замечено оператором с/ст Апахончич В.И. Затонским в 6 ч 25 мин. В это время над вулканом на высоту около 5 км поднимался темный пепловый столб. Около 6 ч 40 мин произошло формирование небольшого пирокластического потока длиной около 3,5 км. После чего наблюдения за вулканом стали невозможны из-за проходившего в его окрестностях пеплопада. Около 9 ч пеплопад начался и в районе с/ст Апахончич.

Если судить по сейсмическому сопровождению извержения, то его первая фаза началась в 5 ч 03 мин. В 5 ч 58 мин и 6 ч 10 мин характер непрерывно-спазматического вулканического дрожания соответствовал формированию небольших пирокластических потоков (обвальных автоэксплозивных лавин) с нарастающей мощностью. Формирование упомянутого выше пирокластического потока в 6 ч 40 мин стало фактической кульминацией этой фазы извержения. После этого активность вулкана стала быстро снижаться и к 8 ч наступило относительное затишье.

В 14 ч затишье было прервано образованием наиболее мощного в ходе всего извержения пирокластического потока. Его отдельные рукава протянулись на расстояние 6–6,5 км от вулкана. К 14 ч 30 мин быстро поднимавшийся клубившийся пепловый столб достиг высоты 9 км над вулканом, а еще спустя час в районе с/ст Апахончич возобновился интенсивный пеплопад. В более благоприятных условиях для наблюдений оказался Ю.Ф. Скуридин, выполнявший во второй половине дня с наветренной стороны от вулкана подготовку к геодезическим исследованиям и имевший в своем распоряжении вертолет. Ему представилась возможность провести детальные наблюдения за развитием как этого пирокластического потока, так и последовавшего в 16 ч 10 мин более слабого, имевшего длину около 4,5 км (рис. 21).

Рис. 22. Свечение обвальных лавин в ночь на 5 сентября 1981 г.

Дальнейшее снижение мощности извержения привело к тому, что уже ранним утром 14 июня какие-либо признаки эксплозивной активности вулкана отсутствовали. Сохранявшийся слабый уровень сейсмического сопровождения, скорее всего, соответствовал затухавшей активности вулкана в экструзивной форме. Около 11 ч 30 мин слабый всплеск этой активности привел к формированию небольшого пирокластического потока (автоэксплозивной лавины) обвального генезиса. Фронт потока достиг расстояния всего 2–2,5 км от центра постройки вулкана. Во второй половине дня исчез и слабый фон сейсмического сопровождения извержения. Вулкан окончательно перешел в состояние умеренной и сильной фумарольной деятельности и, как показало дальнейшее развитие процесса, затяжного деформационно-экструзивно-эффузивного извержения.

В ходе извержения 13–14 июня и предвалявшего его деформационно-экструзивного процесса строение восточного блока существенно изменилось (см. рис. 19–20). Поверхность блока оказалась приподнятой более чем на 80 м и покрытой лавовым потоком. Южная часть поднятия была срезана абразивным воздействием пирокластических потоков и последующими обвалами. В образовавшемся вследствие этих процессов уступе отсутствовало какое-либо проявление слоистости. Это позволило сделать вывод о полном разрушении лавовых потоков предыдущих извержений и, следовательно, о большем масштабе экструзивного подъема блока против кажущегося.

О том, что после своей бурной деятельности 13–14 июня 1981 г. вулкан не перешел в состояние покоя, а сохранял определенную активность, свидетельствовали периодические лавины раскаленных обломков из привершинной части восточного блока, сопровождавшиеся в ночное время ярко-красным свечением. Однако всю вторую половину июня и первую декаду июля это был практически единственный признак активности вулкана.

Лишь с середины июля стала заметной деформация привершинной части восточного блока, но уже в начале августа в результате резкой активизации экструзивного процесса произошел прорыв поверхности блока жесткой экструзией в форме обелиска. Аэрофотосъемкой, выполненной 31 июля [197], зафиксировано смещение блоков лавы над жерлом вулкана. Наибольшее смещение над поверхностью лавового потока составило 27 м. К середине августа обелиск достиг высоты около 80 м при диаметре основания 60 м (см. рис. 20). Активизация деформационно-экструзивного процесса сопровождалась усилением частоты и мощности обвальных лавин, в результате чего привершинная часть лавового потока к этому времени оказалась практически полностью обрушенной.

Достиг своей критической высоты и постепенно начал разрушаться и сам экструзивный блок. Со второй половины августа по периметру его основания стал выжиматься более пластичный лавовый материал. Эта зона служила основным источником раскаленного материала для обвальных каменных лавин и именно к ней было приурочено непрерывное точечное тускло-красное свечение в ночное время.





Рис. 23. Свечение обвальных лавин с фронта и поверхности лавового потока в ночь на 22 ноября 1981 г.

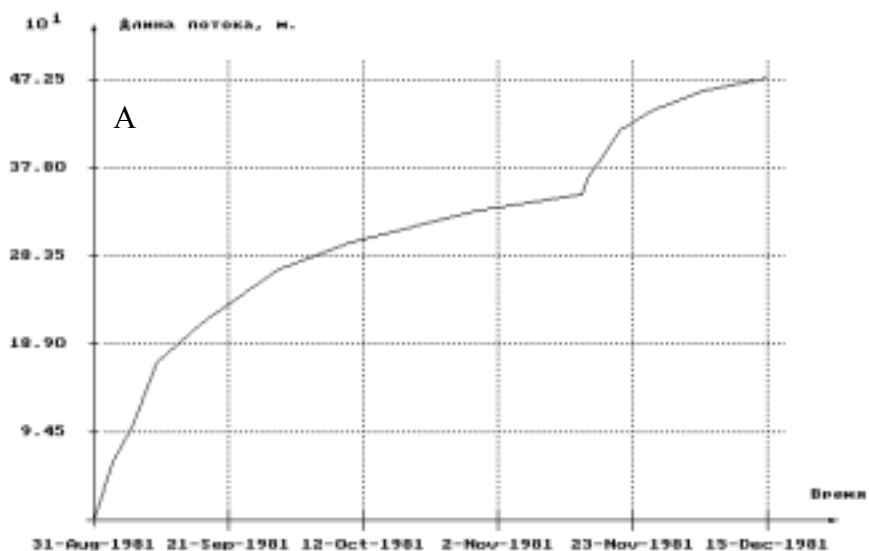
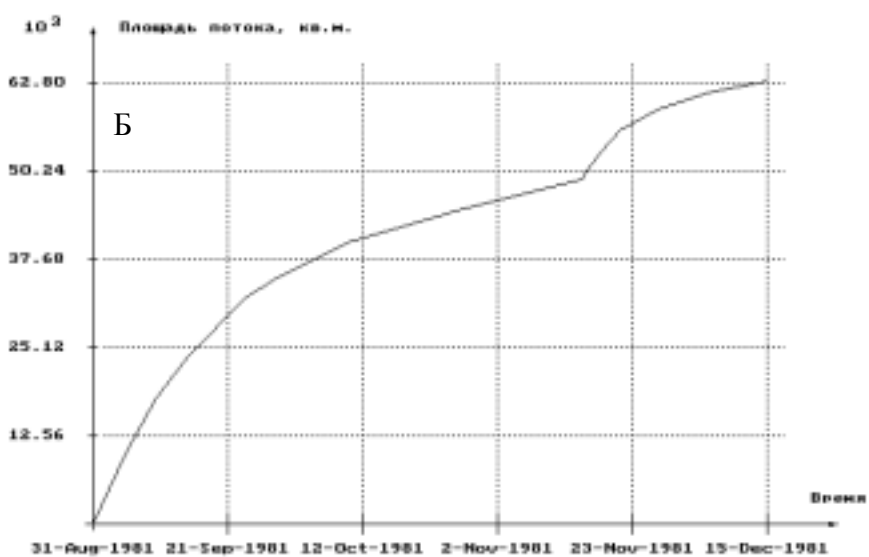


Рис. 24. Изменение длины (А) и площади (Б) лавового потока в сентябре – декабре 1981 г.



31 августа 1981 г. со стороны закрытого низкой облачностью вулкана периодически слышался отчетливый гул, а в ночь на 1 сентября сквозь туман в направлении вулкана наблюдалось непрерывное свечение. Подобные по мощности свечения были видны сквозь туман в ночи на 2 и 3 сентября. В ночь на 4 сентября в связи с улучшением погоды удалось установить, что это свечение обусловлено процессом обрушения лавин раскаленного материала с привершинной части активного восточного блока вулкана. В течение часа происходило обрушение 30 – 40 подобных лавин, что в ночное время обуславливало практически непрерывное свечение активного блока (рис. 22). Интенсивность обрушений значительно превышала уровень, имевший место непосредственно после извержения 13–14 июня 1981 г.

К 5 сентября стало очевидным, что мощные обвалы уничтожили остатки потерявшего свою устойчивость обелиска и на его месте из выжимающегося более пластичного ювенильного материала сформировалось лавовое вздутие. Дальнейшее выжимание на поверхность сравнительно пластичного вещества привело к тому, что южная граница лавового вздутия стала чрезвычайно медленно спускаться вниз по склону, формируя поток вязкой андезитовой лавы и засыпая обвальными лавинами абразионную впадину (см. рис. 20).

Наибольшую скорость продвижения этот лавовый поток имел на самой ранней стадии своего развития – в начале сентября. Однако и тогда его фронт продвигался не многим более чем на 1 м/ч. Столь медленные процессы практически не воспринимаются в ходе обычных визуальных наблюдений, поэтому их изучение стало возможным лишь благодаря теодолитным измерениям и постоянной фоторегистрации состояния активной части постройки вулкана с последующим анализом ее результатов.

Обвалы с фронта лавового потока в течение сентября полностью заполнили абразионную впадину в постройке вулкана. Во второй половине сентября наряду с выжимающимся пластичным материалом в северной части вершины восточного блока была выдвинута жесткая экструзия в форме обелиска высотой 23 м. Одновременно с продвижением лавового потока менялся и характер сопровождавшего этот процесс свечения обвальных лавин в ночное время. Оно также спускалось вниз по склону, оконтуривая фронт лавового потока (рис. 23). К 16 ноября фронт потока спустился по высоте на 247 м, а сам поток достиг длины около 360 м (динамику его движения см. на рис. 20).

Основная тенденция, доминировавшая в эффузивной деятельности вулкана в период с начала сентября по первую половину ноября, – гиперболическое снижение его активности (рис. 24). В результате к середине ноября скорость продвижения фронта лавового потока снизилась до 3–4 см/ч, т.е. почти в 30 раз по сравнению с началом его продвижения, а поступление на поверхность лавового материала соответственно упало с 15 до 0,9 тыс. т/ч.

Несмотря на практически непрерывное извержение, сейсмическая активность вулкана была очень слабая. Только с 15 ноября произошло некоторое увеличение количества землетрясений. Одновременно резко усилилась его эффузивная деятельность. Скорость продвижения фронта возросла до 0,8 м/ч, а поступление на поверхность лавового материала – до 10 тыс. т/ч. За этой скачкообразной активизацией в деятельности вулкана, как и в предыдущем случае, последовало постепенное, но сравнительно более быстрое снижение его активности по гиперболическому закону. К середине декабря лавовый поток прошел расстояние немногим более 500 м, средняя скорость его продвижения вновь упала до 3,5 см/ч, а поступление на поверхность ювенильного материала – до 0,6 тыс. т/ч. В ночь на 21 декабря продвижение потока было прервано бурной эксплозивной деятельностью вулкана.

Во второй половине декабря вновь появились и стали все чаще и чаще регистрироваться на с/ст Апахончич землетрясения, связанные с деятельностью вулкана. В ночь на 21 декабря количество землетрясений достигло максимума и активизировавшийся вулкан перешел в состояние бурной эксплозивной деятельности. Ее первый всплеск после получасового плавного нарастания активности произошел в 4 ч 30 мин, когда сейсмическая активность вулкана достигла уровня, соответствующего процессу формирования небольшого пирокластического потока (обвальной автоэксплозивной лавины). В течение последующих полутора часов активность вулкана сохранялась на постоянном,

но более низком уровне. Последовавшая за этим периодом новая волна активизации вулкана привела к формированию еще одного небольшого пирокластического потока в 6 ч 20 мин.

В 6 ч 30 мин оператор с/ст Апахончич В.П. Ханзутин заметил пепловое облако мощностью около 1 км, смещавшееся от вулкана по ветру в северном направлении вдоль склонов вулканов Камня и Ключевского. У подножия купола Нового с южной стороны его активного блока наблюдались клубящиеся пары – фреатическая деятельность при контакте раскаленного пирокластического материала со снежниками. Если судить по их расположению, то материал пирокластических потоков в 4 ч 30 мин и 6 ч 20 мин был отложен на расстоянии не более 2–2,5 км от центра извержения.

Однако кульминацией извержения стало, завершившее очередную волну активизации, формирование пирокластического потока длиной 4–5 км в 7 ч 11 мин. На фоне общей тенденции к затуханию извержения выделялся еще один небольшой пирокластический поток (обвальная автоэксплозивная лавина) в 8 ч 37 мин, сопоставимый с потоками, зарегистрированными в 4 ч 30 мин и 6 ч 20 мин.

Наступивший рассвет несколько улучшил условия наблюдения. Стал более отчетливо просматриваться простиравшийся на абс. высоте 3–5 км в северном направлении на расстояние 20–30 км газопепловый шлейф вулкана мощностью около 2500 м. Склоны Камня и Ключевского выше 2500 м были покрыты пеплом, смотревшимся на фоне снежной белизны практически черным.

В течение последующего времени содержание пепла в шлейфе вулкана быстро падало. К концу дня пеплопад из шлейфа наблюдался в основном в окрестностях вулкана на расстоянии не более 5 км. Однако газопепловый шлейф по-прежнему препятствовал наблюдениям за процессами, происходившими на самом вулкане. Над верхней границей шлейфа лишь изредка (например в 12 ч 10 мин и 13 ч 45 мин) просматривались вершины поднимавшихся над активным блоком пепловых столбов, вероятно, связанных с мощными обвалами раскаленного материала.

22 декабря над вулканом просматривались вершины белых парогазовых столбов, однако сам Безымянный по-прежнему закрывала дымка. В ночь на 23 декабря было зарегистрировано мощное свечение обвальных лавин раскаленного материала. Лавины в пределах восточного склона активного блока формировались практически непрерывно. Пепел, поднимавшийся в ходе обвалов, переносился по шлейфу вулкана на значительные расстояния. Утром 23 декабря газопепловый шлейф вулкана наблюдался на высоте около 1 км над поверхностью на расстояние около 25 км в направлении ЮВВ. С 12 ч в зоне очень слабого пеплопада оказалась и с/ст Апахончич. Наблюдения стали невозможны.

К вечеру 24 декабря шлейф вулкана развернуло на север. Стал просматриваться активный блок вулкана, на котором практически непрерывно (ежеминутно) формировались обвальные лавины раскаленного материала. К вечеру условия для наблюдения вновь ухудшились. Пошел снег. Утром 25 декабря сильный южный ветер разорвал низкую облачность и обнажил детали строения активного блока из-под пепловой завесы, формировавшейся в ходе частых обвалов. Стало очевидно, что в ходе извержения 21 декабря эксплозивной деятельностью была разрушена прикратерная часть прежнего лавового потока, и прямо по его поверхности стал столь же медленно изливаться новый лавовый поток (см. рис. 20). Именно его продвижение обусловило процесс формирования частых и мощных лавин раскаленного материала, засыпавших поверхность прежнего лавового потока обломочным материалом.

К 25 декабря лавовый поток имел длину около 200 м при мощности до 40 м. Средняя скорость его продвижения в этот период составляла около 2 м/ч, т.е. имела тот же порядок, что и у предыдущего лавового потока в моменты активизации. Однако уже к 4 января она упала до 0,2 м/ч. Одновременно произошло снижение частоты обвальных лавин при сохранении уровня их мощности. Так, 1–3 января регистрировалось обрушение лишь 1–2 лавин в час, т.е. почти на два порядка меньше по сравнению с их частотой 24 декабря 1981 г.

К середине января 1982 г. фронт лавового потока практически остановился, хотя активность вулкана (в том числе и по формированию обвальных лавин) несколько возросла, особенно в период с 9 по 16 января. 11 января лавины сходили практически непрерывно (в частности, с 15 до 16 ч

сходила одна мощная лавина). На сейсмограммах этому периоду соответствует вулканическое дрожание от Безымянного со смещением почвы в районе с/ст Апахончич порядка $0,1 \mu$.

Сползание лавового потока в этот период полностью компенсировалось обвалами на его фронте, вследствие чего сам фронт практически не менял своего положения. По сути лавовый поток в середине января 1982 г. напоминал функционирование гигантского транспортера. Видимая мощность лавового потока на его фронте в это время возросла до 50–60 м. 17–21 января частота и мощность обвальных лавин постепенно снижались, но свечение в ночное время по-прежнему сохраняло ярко-красный цвет, т.е. температура лавового потока держалась на достаточно высоком уровне.

Во второй половине января все большую активность приобретала привершинная часть лавового потока, тогда как обвалы с его фронта постепенно прекращались. В привершинной части лавового потока сначала формировалось лавовое вздутие высотой 30–35 м при диаметре основания около 120 м, которое к концу месяца стало приобретать все более ярко выраженные черты экструзивного купола (см. рис. 20). По сути произошел плавный переход от эффузивной деятельности к экструзивной.

В состоянии очень медленно затухающей экструзивной деятельности вулкан находился оставшуюся часть зимы и всю весну 1982 г. По крайней мере, до середины марта дежурными операторами с/ст Апахончич регистрировалось свечение обвальных лавин. И слабое тускло-красное свечение вершинной части активного блока и небольших обвальных лавин раскаленного материала было отмечено в ночь на 5 июня, т.е. сразу после возобновления наблюдений за вулканом автором этих строк. К 10 июня мощность лавин и интенсивность их свечения в ночное время существенно возросла. А ранним утром 11 июня произошло очередное эксплозивно-эффузивное извержение вулкана.

Начало плавного лавинообразного перехода вулкана от экструзивной деятельности к эксплозивно-эффузивной можно выделить лишь условно и отнести к 4 ч утра. Именно в это время началось быстрое усиление сейсмической активности вулкана, связанное с нарастанием интенсивности и мощности обвальных лавин. В 6 ч утра были замечены слабые газопепловые выбросы. К 8 ч утра на высоту 4–5 км над постройкой вулкана поднимался уже мощный газопепловый столб. На общем фоне плавного нарастания мощности процесса извержения в 6 ч 46 мин, 8 ч 07 мин, 8 ч 27 мин и 9 ч 10 мин выделялись отдельные импульсы ее повышения, соответствовавшие процессу формирования небольших пирокластических потоков длиной 2–2,5 км.

Своей кульминации извержение достигло в 9 ч 20 мин, когда сформировался пирокластический поток длиной 4–5 км (рис. 25). На общем фоне последовавшего плавного и быстрого затухания извержения в 9 ч 45 мин, 10 ч 30 мин и 12 ч 05 мин выделялись крупные автоэксплозивные обвалы. Со стороны вулкана



Рис. 25. Извержение Безымянного 11 июня 1982 г.

на в эти моменты слышался грохот. Вершина его к этому времени уже была прикрыта облачностью, но удалось наблюдать развитие направленных выносов пепла под углом 60° к горизонту в юго-восточном направлении от вулкана. Вероятно в эти моменты шло интенсивное излияние лавового потока, которым после извержения оказалась покрыта значительная часть активного блока (см. рис. 19–20).

Быстрое снижение активности вулкана привело к тому, что уже во второй половине дня вулкан окончательно перешел в состояние покоя и умеренной фумарольной деятельности, в котором и находился до следующего извержения. К осени остыл и лавовый поток. Выпадавший снег уже не таял на его поверхности и девственная белизна снежного покрова в пределах всей постройки вулкана до весны будущего 1983 г. опровергала тезис о том, что *«в течение года вулкан оставался в состоянии непрерывного экструзивного извержения, которое имело относительно спокойный характер и сопровождалось фумарольной деятельностью переменной интенсивности и выбросами пепла»* [109, с. 105–106].

Первые признаки возобновления активности вулкана в виде слабых проявлений деформационно-экструзивного процесса относятся к началу 1983 г. По данным аэросъемок [99], к 26 января в вершинной части активного блока образовалась система трещин и началось медленное выжимание лавовых блоков. К 22 февраля 1983 г. зона деформаций имела очертания, близкие к овалу размером 80×100 м. Один из блоков этой зоны был выдвинут по сравнению с январем на 5 м. Началось разрушение поверхности лавового потока в охваченной деформациями его привершинной части. Материал формировавшихся при этом небольших обвалных лавин откладывался непосредственно в зоне разрушений.

В апреле общая тенденция к лавинообразному нарастанию активности вулкана стала еще более отчетливой. К 30 апреля 1983 г. произошла постепенная трансформация зоны деформаций в экструзивный купол высотой 50–70 м. Отдельные обвалы лавины из зоны растущей экструзии достигали уже подножия активного блока в северо-восточной части атрио. Материал обвалных лавин стал постепенно засыпать поверхность лавового потока прошлого извержения.

Лавинообразное нарастание активности вулкана привели к эксплозивно-эффузивной кульминации извержения во второй половине дня 22 мая 1983 г. Погодные условия не благоприятствовали визуальным наблюдениям, которые в это время проводил Б.Б. Магуськин. Наблюдения за вулканом были возможны лишь утром. Но и тогда активный блок постройки вулкана был прикрыт дымкой, формировавшейся за счет пепла обвалных лавин. Над вулканом на высоту около 500 м поднимался белый парогазовый столб.

С 14 ч вулкан затянуло облаками. Постепенно их цвет изменился с белоснежного до серого. С 17 ч стали слышны гул и грохот, иногда похожие на отдаленные раскаты грома, хотя молний видно не было. К 21 ч тучи приобрели почти черный цвет с коричневатым оттенком. В ночь на 23 мая в восточном направлении от вулкана на расстоянии до 30 км прошел пеплопад. В районе с/ст Апахончич был зафиксирован слой пепла мощностью около 1,5 мм. Низкая облачность препятствовала наблюдениям всю ночь и весь последующий день, хотя еще до 12 ч 23 мая были слышны гул и грохот.

Лишь утром 25 мая улучшение погоды позволило вновь увидеть вулкан. С ослепительной белизной свежеснежного в районе вулкана снега резко контрастировала черная поверхность нового лавового потока (см. рис. 19–20), излитого в ходе прошедшего извержения на восточный склон активного блока вулкана. На фоне безоблачной голубизны неба на высоту до 1,5 км над вулканом поднимался чисто белый парогазовый столб. Какие либо признаки сохраняющей активности вулкана отсутствовали. В таком состоянии покоя и умеренной фумарольной деятельности он оставался до следующей своей активизации в начале 1984 г.

Некоторую дополнительную информацию о развитии извержения 22–23 мая 1983 г. дает изучение его сейсмического сопровождения. Во второй половине мая активная работа побочного прорыва вулкана Ключевского (прорыв Предсказанный) затрудняла регистрацию сейсмического сопровождения извержения Безымянного. На общем фоне вулканического дрожания от извержения побочного прорыва, составлявшим в районе с/ст Апахончич $0,25\text{--}0,30 \mu$, выделялись два периода непрерывно-спазматического дрожания от Безымянного с максимальным смещением почвы в районе станции до $2,0 \mu$: первый с 17 ч 00 мин до 20 ч 10 мин 22 мая и второй с

3 до 7 ч 23 мая. Для обоих периодов характерна максимальная активность вулкана в их начале с постепенным затуханием к концу.

Это затухание имело более плавный характер в первом периоде, причем в 17 ч 46 мин по уровню сейсмического сопровождения извержения было возможным формирование пирокластического потока длиной 4–5 км. Во втором периоде затухание активности вулкана шло неравномерно и осложнялось возможным формированием в 3 ч 15 мин, 4 ч 20 мин и 5 ч 34 мин небольших пирокластических потоков (обвальных автоэксплозивных лавин) с вероятной длиной 2–3 км. По результатам последующего осмотра материал пирокластических потоков этого извержения отложился по трем руслам длиной до 4 км, шириной от 50 до 200 м, мощностью от 1 до 12 м.

Благодаря мощному абразионному воздействию пирокластических потоков и активной сейсмической обстановке при их формировании в постройке вулкана вновь образовалась сравнительно небольшая абразионная впадина (см. рис. 19–20). Возникновению ее способствовала слабая связанность обвального и пирокластического материала, заполнившего предыдущую впадину. В уступе, ограничивавшем впадину со стороны активного блока вулкана, были вскрыты два лавовых потока извержений 1981 – 1982 гг., что позволило провести их осмотр (см. раздел 1.3.1).

Первые признаки новой активизации вулкана были выявлены в ходе аэрофотосъемок вулкана 21 января и 2 февраля 1984 г. [266]. Как и весной 1983 г. лавинообразное нарастание активности вулкана сопровождалось постепенным переходом от деформационного процесса к экструзивному. В результате в январе 1984 г. в вершинной части активного блока сначала образовалось сводовое поднятие, которое по мере роста покрылось трещинами. Начался и стал постепенно усиливаться процесс обрушений в приповерхностной части лавового потока 1983 г. По мере развития этого процесса растущее сводовое поднятие стало все больше преобразовываться в экструзивный купол.

5 февраля около 11 ч В.А. Аристарховым из района с/ст Козыревск наблюдался пепловый столб над вулканом. Вскоре в пос. Козыревске стал выпадать темно-серый вулканический пепел. В ночь на 6 февраля началась пурга, которая бушевала до 11 февраля. Поэтому повторить аэровизуальные наблюдения удалось лишь 13 февраля. Происходившие на вулкане процессы были отождествлены как «частые взрывы на высоту 200–300 м». 14 февраля была выполнена аэрофотосъемка. В течение 2 ч съемщики наблюдали, по их мнению, «взрывы» с последующим сходом обвальных каменных лавин. На фотографии, иллюстрирующей «пепло-газовый выброс» в работе [266], в действительности запечатлена типичная обвальная лавина вулкана.

В этом извержении, как и в предыдущем, вплоть до его кульминации около 14 ч 30 мин 16 февраля прослеживалась тенденция к нарастанию активности вулкана по принципу лавинообразности: чем выше была активность вулкана, тем быстрее происходила его дальнейшая активизация. По мере нарастания активности вулкана увеличивалась интенсивность экструзивного и соответственно обвального процессов. К 15 февраля высота формировавшихся при обвалах пепловых столбов достигла 3 км. Хотя основная масса вулканокластического пепла выпадала в пределах постройки вулкана, наиболее тонкие его фракции разносились по шлейфу вулкана на расстояние более 50 км.

К середине февраля появились и стали усиливаться в обвальном процессе признаки эффекта автоэксплозивности. Наибольшего развития это явление получило в ходе мощных автоэксплозивных лавин утром и днем 16 февраля, материал которых в виде небольших пирокластических потоков распространялся на 2–3 км от центра извержения в восточном, а затем в юго-восточном направлении. Наиболее мощные лавины отмечены около 14 ч 30 мин, когда в районе с/ст Апахончич было зарегистрировано смещение почвы до 1,5 м.

После некоторого снижения активности вулкана к вечеру 16 февраля началась новая более слабая волна ее подъема. Именно к этой активизации, по свидетельству К.С. Киришева, приурочено наблюдавшееся визуально начало излияния лавового потока по восточному склону активного блока. Дальнейшее развитие извержения характеризовалось быстрым снижением активности вулкана. Уже к вечеру 17 февраля излияние лавового потока и связанные с его продвижением обвалы прекратились и вулкан перешел в обычный для своего спокойного состояния режим умеренной и сильной фумарольной деятельности.

В результате этого извержения активный восточный блок вулкана был приподнят на 40–60 м, а лавовый поток, излившийся по его поверхности, прошел расстояние около 600 м (см. рис. 19–20). Произошло некоторое увеличение и абразионной впадины в постройке вулкана на границе стабильного и активного блоков вулкана.

Появление первых обвальных лавин, сопровождавших деформации восточного блока и свидетельствовавших о начале новой активизации вулкана в виде проявлений деформационно-экструзивного процесса нарастающей интенсивности, следует отнести к первым числам сентября 1984 г. Уже 8 сентября был обнаружен небольшой конус выноса свежего обвального материала в верхней части абразионной впадины и частичное заполнение последней. Первая лавина, которую непосредственно удалось наблюдать, обрушилась 24 сентября. В дальнейшем обвалы в районе активного блока происходили все чаще.

Наиболее существенные изменения строения восточного блока вулкана произошли 1, 5, 10 и 11 октября, когда грохот обвалов был слышен на расстоянии 16 км в районе с/ст Апахончич. Эти обвалы были связаны с усиливавшимися деформациями и разрушением нависающего над абразионной впадиной южного сектора активного блока. Хотя газопепловые выбросы отсутствовали вплоть до эксплозивной кульминации извержения 13–14 октября, в пределах постройки вулкана неоднократно выпадал пепел из газопепловых столбов, формировавшихся в результате обвалов.

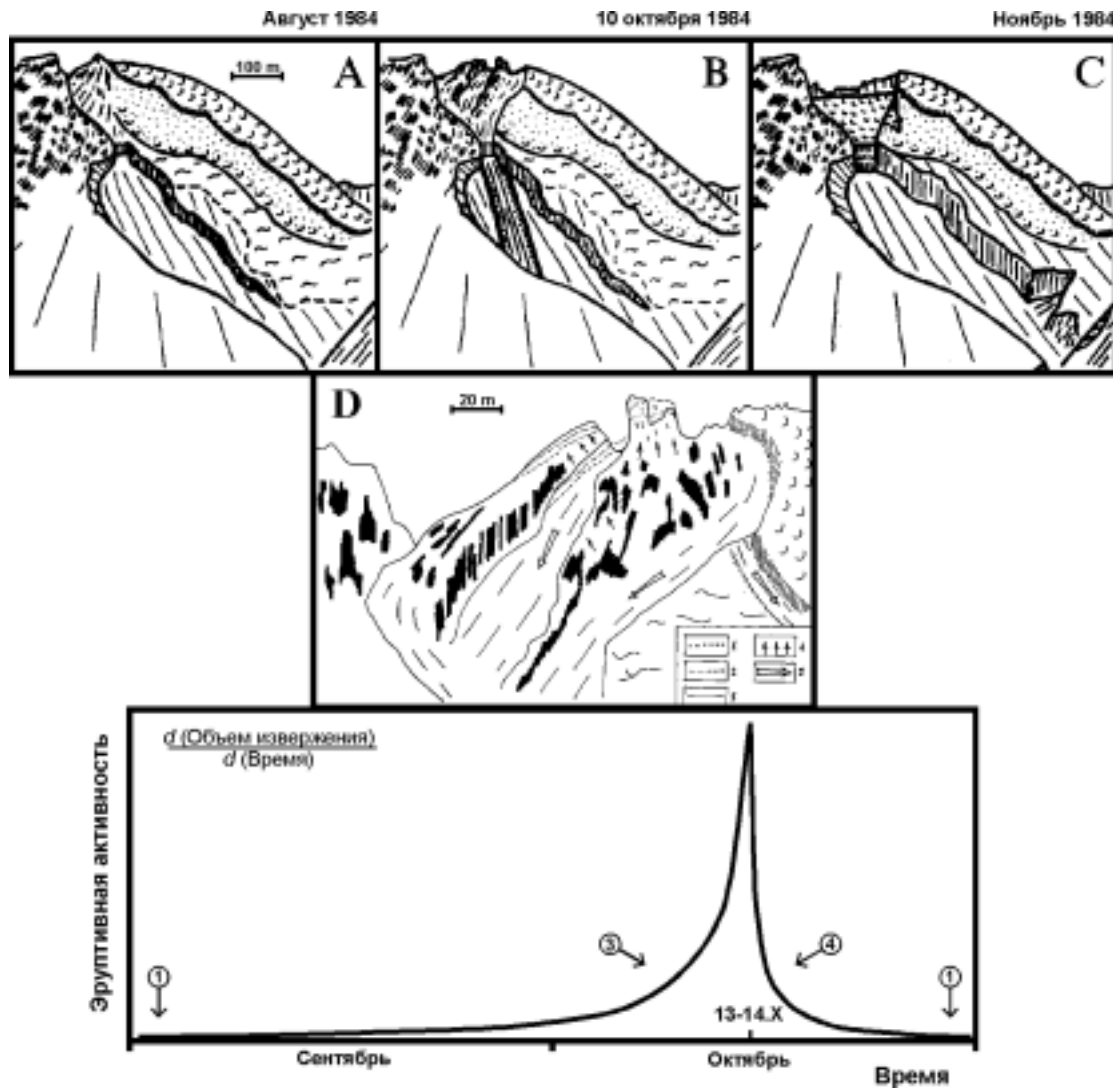


Рис. 26. Изменения восточного блока и динамика активности Безымянного в его осеннем извержении 1984 г. На рисунке: 1–3 контуры активного блока соответственно на 7, 9 и 10 октября; 4 – направление деформаций; 5 – пути движения обвальных лавин; меняющимся крапом показаны лавовые потоки. На графике обозначения стрелками соответствуют рис. 20

Рис. 27. Эксплозивная деятельность вулкана днем 13 октября 1984 г.

Происходит практически непрерывное образование нисходящих автоэксплозивных лавин, фото А.И. Козырева.



В результате обвалов 1 и 5 октября был частично вскрыт образовавшийся в ходе предыдущего извержения лавовый некк. К 7 октября он был полностью отпрепарирован и имел вид обелиска, расположенного в верхней части активного блока. Специфическое положение разрушающейся части восточного блока стало причиной движения обвального

материала по одному и тому же пути, в результате чего внутри абразионной впадины образовался каньон глубиной до 10 м при ширине 30 м (рис. 26, В).

Дальнейшее развитие экструзивного процесса было выражено в росте обелиска и продолжающейся деформации пород сохранившейся западной привершинной части восточного блока вулкана (см. рис. 26, D). Блок как бы раскрывался изнутри, что свидетельствовало о большом магматическом давлении в преддверии эксплозивной кульминации извержения. В ночное время наблюдалось свечение вскрытых обвалами внутренних частей блока.

9 октября началась очередная активизация экструзивного процесса, в ходе которой некк сначала частично, а затем и полностью был разрушен. Своеобразие обрушений этого периода заключалось в появлении обвальных лавин с существенным эффектом автоэксплозивности.

13 октября, после небольшого периода относительного затишья началась кульминационная стадия извержения. В ночь на 13 октября наблюдалось свечение обломочного материала каменных лавин, а около 7 ч утра был замечен газопепловый шлейф вулкана Безымянного, протянувшийся на высоте 1,5–2 тыс. м над уровнем моря в направлении ЮВВ на расстояние около 40 км. В 9 ч утра в районе с/ст Апахончич начался слабый пеплопад выпадением тонкого слоя розоватого, а затем, вплоть до конца извержения, светло-серого (почти белого) пепла.

Судя по всему, кульминационная стадия извержения началась с постепенного нарастания интенсивности экструзивного процесса и вовлечения в обвалы все большего объема пород южной, как наиболее ослабленной, привершинной части блока. Переход извержения в эксплозивную форму произошел около 11 ч, когда над постройкой вулкана на абсолютную высоту около 5 тыс. м поднялся клубящийся газопепловый столб.

Активность вулкана достигла максимума около 12 ч, когда наблюдалось практически непрерывное образование пирокластических потоков и раскаленных лавин типа «палящих туч», сопровождавшихся интенсивно клубящимися пепловыми тучами с характерной поверхностью



Рис. 28. Свечение восточного блока в ночь на 22 октября 1984 г.

типа цветной капусты (рис. 27). Высота подъема эруптивных туч достигала 5 – 9 км. В этом режиме вулкан находился до 17 ч.

На общем фоне высокой активности вулкана выделялись пирокластические потоки в 12 ч 11 мин, 12 ч 24 мин, 13 ч 42 мин и 16 ч 05 мин. Их материал отложился на расстоянии до 6,5 км от вулкана, а в моменты их формирования на с/ст

Апахончич регистрировались колебания почвы с амплитудой 3–5 μ . Высокая активность вулкана привела к усилению пеплопада в районе сеймостанции. Наибольшая его интенсивность наблюдалась с 12 до 14 ч. В общей сложности за этот короткий отрезок времени пепла выпало около 1,5 кг/м².

После 17 ч в деятельности вулкана наступил период относительного затишья, продолжавшийся до 21 ч. В это время активность вулкана упала до уровня, соответствовавшего его состоянию утром 13 октября, и выражалась в практически непрерывном формировании обычных обвальных лавин с некоторым (не очень высоким) влиянием эффекта автоэксплозивности. Шлейф вулкана становился все менее насыщенным пеплом. И в районе сеймостанции пеплопад практически прекратился.

С 20 ч 45 мин началось быстрое нарастание активности вулкана. Спустя час извержение достигло своего максимального уровня, который сохранялся до 0 ч 14 октября. Возобновился пеплопад в районе с/ст Апахончич. Его максимальная интенсивность имела место с 22 до 24 ч, когда благодаря поднявшемуся ветру наблюдалась своеобразная пепловая пурга. Для непрерывно-спазматического вулканического дрожания в этот период была характерна сравнительная однородность. В течение 2 ч величина максимальных смещений почвы в районе сеймостанции колебалась около 3 μ .

С 0 ч 14 октября прослеживалась общая тенденция к постепенному затуханию извержения. Она была осложнена некоторым всплеском активности вулкана в период между 10 и 11 ч, когда при формировании пирокластических потоков смещение почвы в районе сеймостанции вновь достигло 3,5–4,5 μ . В это время газопепловый шлейф вулкана на высоте 3–3,5 км прослеживался в восточном направлении на расстояние более 50 км. Во второй половине дня направление ветра изменилось на северо-восточное и станция оказалась вне зоны пеплопада. К этому времени процесс извержений стал носить дискретный характер, благодаря чему удалось наблюдать формирование серии небольших пирокластических потоков (обвальных автоэксплозивных лавин) в 17 ч 20 мин, 19 ч 10 мин, 19 ч 25 мин и 19 ч 40 мин. Начальным моментам их движения соответствовали максимальные амплитуды непрерывно-спазматического вулканического дрожания в районе станции 2,0–2,8 μ , а основная зона аккумуляции пирокластического материала располагалась в атрии вулкана. Лишь незначительное количество этого материала отводилась по начинавшемуся в атрию каньону в юго-восточном направлении на 2–2,5 км.

В результате бурной эксплозивной деятельности вулкана на месте зоны разрушений в южном секторе привершинной части активного блока образовалась открытая на юго-восток чашеобразная воронка, дно которой покрыл свежий лавовый материал. Существовавшая ранее абразионная впадина была значительно расширена и углублена за счет пород как стабильной экструзивной, так и активной восточной частей вулкана (см. рис. 19, рис. 26). В общей сложности за время извержения в районе с/ст Апахончич пепла выпало 4,9 кг/м². Материал пирокластических потоков отложился по двум рукавам, фронтальная часть которых находилась на расстоянии соответственно 6,5 и 4 км от вулкана.

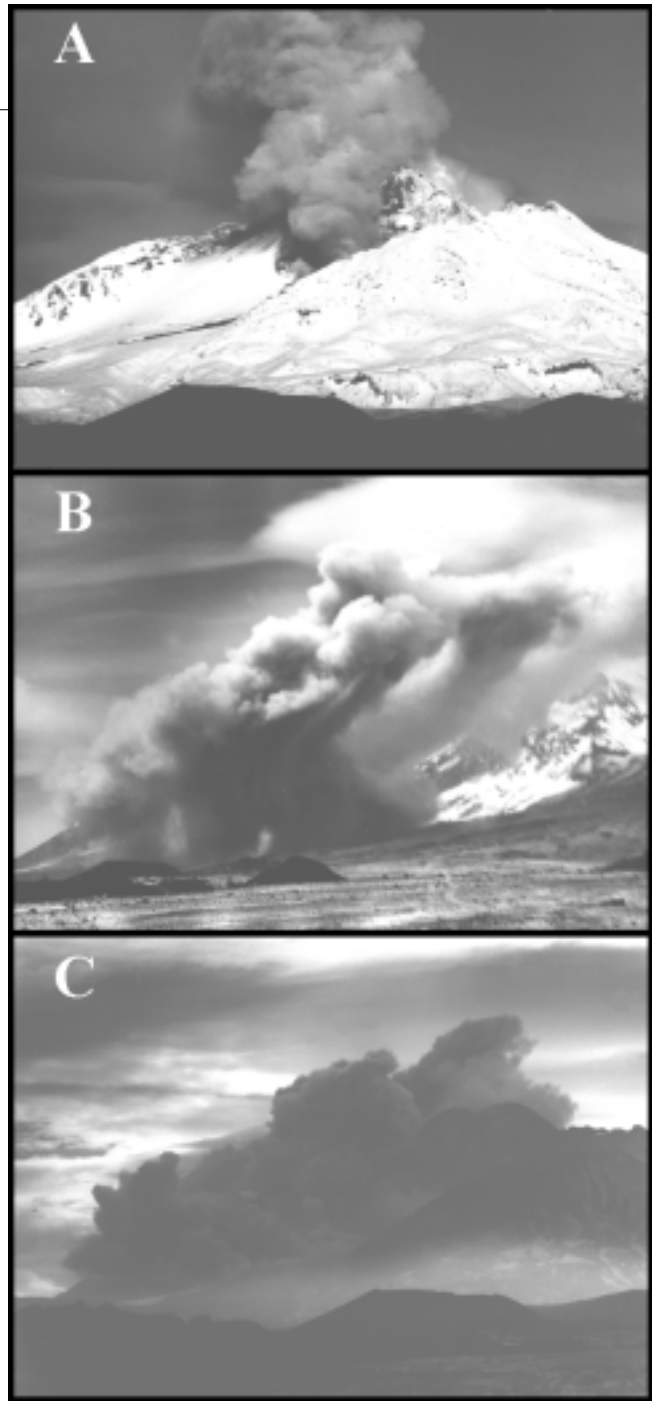
Рис. 29. Обвал на вулкане 12 июня (А) и автоэксплозивные лавины 24 (В) и 25 (С) июля 1985 г.

Почти полная дегазация во время бурной эксплозивной деятельности вулкана ювенильного материала в приповерхностной части магматического канала и постепенное снижение магматического давления обусловили переход извержения в фазу экструзивного процесса затухающей интенсивности. Внешне это проявлялось в постепенном снижении частоты и мощности обрушения каменных лавин, сопровождавшихся в ночное время свечением. Источником их служил медленно остывающий материал расположенного в вершинной воронке лавового потока. Явление автоэксплозивности практически отсутствовало. Точный момент окончания извержения, как и его начала, было трудно выявить. Последний раз обрушение раскаленного материала наблюдалось в ночь на 7 ноября, но еще долгое время сохранялось точечное свечение в районе уступа, разделявшего воронку и расположенную ниже абразионную впадину (28).

Первые признаки новой активизации вулкана были замечены 12 июня 1985 г. К этому моменту относится появление первых обвальных лавин (рис. 29, А), связанных с началом деформационно-экструзивного процесса в пределах взрывной воронки предыдущего извержения (см. рис. 26, С). Растущая экструзия первоначально имела вид хребта, вытянутого вдоль осевой линии взрывной воронки и равномерно приподнятого над ее основанием на 20 – 30 м (рис. 30). Однако в дальнейшем интенсивность экструзивного процесса в разных частях взрывной воронки стала неодинаковой. Возможность удаления части выжимающегося вещества вовлечением в обвалы привела к максимальному развитию экструзивного процесса в той части взрывной воронки, где она обрывалась в абразионную впадину.

В то же время северная часть экструзии, менее подверженная разрушению, теряла свою активность. Смещение направления максимального развития экструзивного процесса обусловлено тем, что в ходе обрушений постоянно вскрывался все более высокотемпературный, а, следовательно, и все более пластичный материал. Поэтому вновь поступающий материал выжимался именно в том направлении, по которому он встречал наименьшее сопротивление и по которому происходила наибольшая разгрузка. Это привело к преобразованию формы экструзии в расположенное внутри взрывной воронки секторное поднятие (см. рис. 30).

Однако изменение направления максимальной интенсивности экструзивного процесса на этом не остановилось. В дальнейшем экструзивный процесс приобретал все более существен-



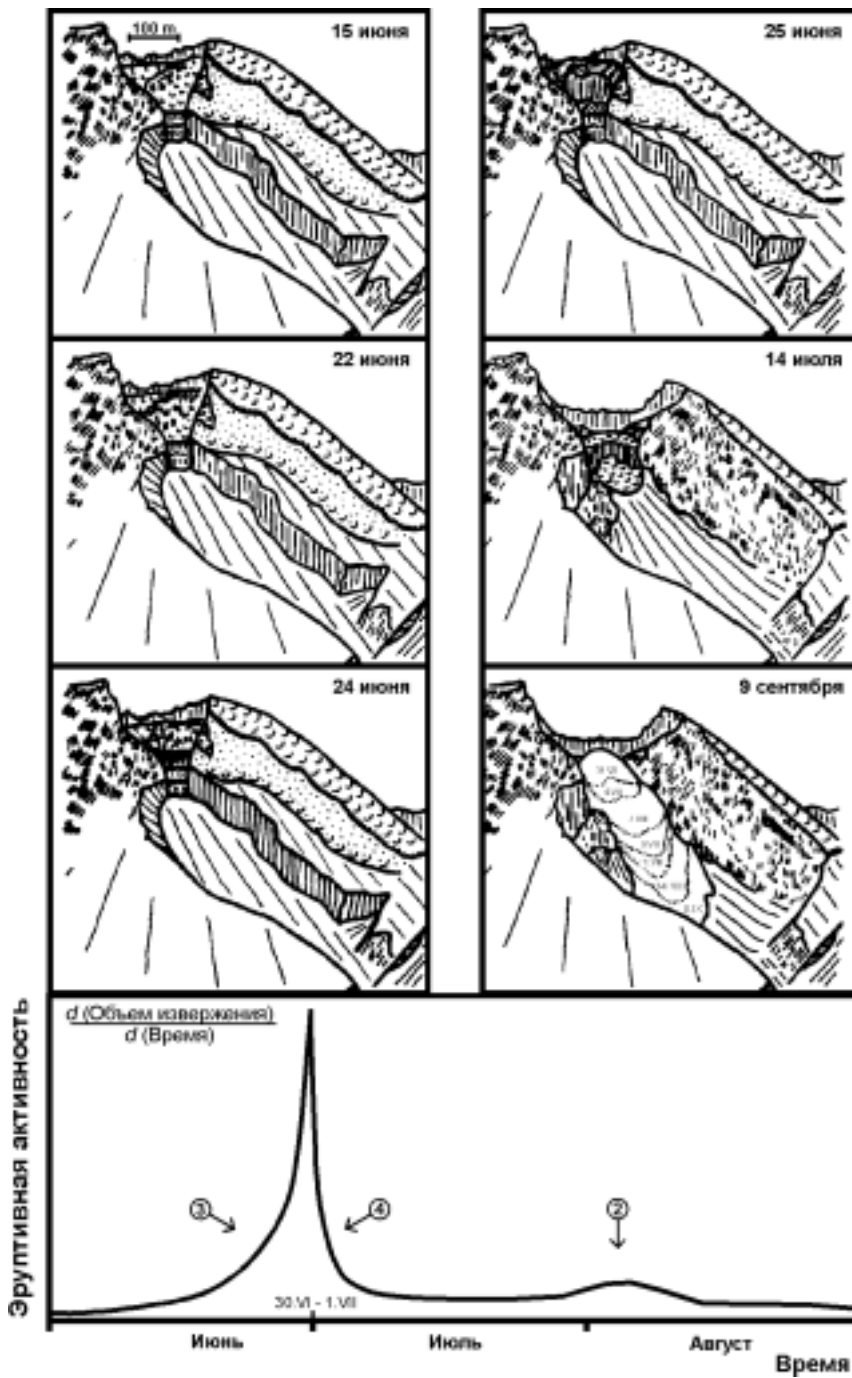


Рис. 30. Изменения восточного блока и динамика активности вулкана в извержении летом 1985 г.

На рисунке меняющимся крапом показаны лавовые потоки. На графике обозначения стрелками соответствуют рис. 20

ную горизонтальную составляющую. Это обусловило постепенное горизонтальное смещение экструзивного блока в направлении обрыва, разделявшего взрывную воронку и абразионную впадину. Нависание экструзивного блока над абразионной впадиной сделало возможным образование 24 июня первого крупного скола экструзии (см. рис. 30) и развития мощной обваль-ной лавины (см. рис. 29, В). Вечером 25 июня благодаря новым сколам (см. рис. 30) с фронтальной части экструзии сформировались еще две аналогичные, но менее мощные обваль-ные лавины (см. рис. 29, С). В отличие от обвалов, наблюдавшихся в этом извержении ранее, в механизме формирования и передвижения обваль-ных лавин, связанных со сколами экструзивного блока, большое значение имел эффект автоэксплозивности.

Таким образом, в начальную стадию извержения наблюдалось достаточно мощное развитие экструзивного процесса, который обязан был привести [149] и привел к крупным обвалам постройки вулкана. На общем фоне постепенного нарастания мощности процессов обрушения выделялись импульсы резкого их усиления. Повышенная интенсивность обваль-ных процессов наблюдалась с шестидневным периодом утром 12 июня, утром 18 июня, днем 24 июня. Более того, в этот же ряд периодичности процессов обрушения ложатся и крупные обвалы постройки вулкана вечером 30 июня и в ночь на 1 июля, приведшие к развитию эксплозивной стадии извержения по типу извержения Сент-Хеленса 18 мая 1980 г. [343].

Наблюдения за эксплозивной стадией извержения проводились П.П. Фирстовым, М.А. Алидиби-ровым и автором этих строк с северных отрогов Зиминых сопки (абс. высота лагеря 1200 м, 8,5 км на ЮЮВ от вулкана). Эта точка наблюдений была оптимальной по условиям как безопасности (располо-женные в 4 км от вулкана экспедиционные домики могли оказаться в зоне возможного поражения ожи-

давшимся направленным взрывом вулкана) так и по условиям наблюдений. Сам лагерь был расположен на небольшом хребте, на 30–40 м возвышался над полем пирокластических потоков извержения 1956 г. Отложения последних в районе лагеря практически отсутствовали, что давало определенные гарантии безопасности. Кроме того, существовала возможность экстренной эвакуации на обратный (теневого по отношению к вулкану) склон хребта.

Извержение перешло в взрывную форму вечером 29 июня. В это время лагерь находился в густом тумане. В 7 ч вечера (в работах [5, 83] хронометраж приведен в летнем времени) редкий и слабый грохот, доносившийся со стороны вулкана, стал быстро усиливаться и учащаться и к 7 ч перешел в непрерывный гул. В течение последующего часа гул опять перешел в грохот, который становился все реже и слабее. Утром 30 июня, когда туман несколько поднялся, был обнаружен свежий пирокластический поток длиной около 5 км.

В 4 ч 30 мин июля фон активности вулкана несколько снизился. Затем началось и продолжалось в течение последующих 15 ч плавное и устойчивое нарастание активности вулкана. Эту тенденцию к активизации вулкана по гиперболическому закону лишь подчеркивает, по всей видимости, случайное от нее отклонение в период с 13 ч 25 мин до 14 ч 00 мин. В это время прошла серия событий, по характеру сейсмического сопровождения соответствующих крупным обвальным автоэсплозивным лавинам с последующим их развитием в виде пирокластических потоков. В этот период времени максимальное смещение почвы в районе станции составило 2,6 м, а суммарная энергия сейсмического сопровождения – $1,3 \cdot 10^9$ Дж (0,56 % от сейсмической энергии всего извержения), что близко к среднему уровню формирования пирокластических потоков 29 июня. Однако в данном случае, как уже отмечалось, это было лишь случайное отклонение от общей тенденции, компенсированное некоторым снижением активности в течение последующих 1,5 ч.

В соответствии с дальнейшим нарастанием активности вулкана все более частыми становились мощные обвальные лавины, все большее значение в их формировании и последующем движении в виде небольших пирокластических потоков приобретал эффект автоэсплозивности. В 7 ч вечера мощность извержения превысила уровень, наблюдавшийся при формировании всех предыдущих пирокластических потоков этого извержения, и продолжала нарастать. Судя по сейсмическому сопровождению извержения процесс формирования мощных автоэсплозивных лавин с их последующей трансформацией в пирокластические потоки длиной до 5 км в это время стал практически непрерывным, а отдельные потоки стали все чаще превышать этот уровень, распространяясь все дальше и дальше. Гиперболическое нарастание активности вулкана достигло своей кульминации в 19 ч 10 мин, когда в районе станции было зарегистрировано смещение почвы 14 м. В целом суммарная энергия сейсмического сопровождения этой уникальной 15-часовой последовательности составила, включая кульминацию, около $6,9 \cdot 10^{10}$ Дж, или 30 % сейсмической энергии всего извержения.

Прямые наблюдения за вулканом в это время принесли лишь следующую информацию. Начиная с 16 ч грохот, доносившийся иногда со стороны вулкана, стал постепенно усиливаться и учащаться пока, наконец, к 19 ч не стал практически непрерывным. С 18 ч 30 мин появился и начал учащаться треск грозových разрядов. Высокая температура и большие объемы извергавшегося в этот момент ювенильного материала стали причиной образования в районе извержения микроклимата. В 19 ч 20 мин густой туман, до этого препятствовавший наблюдениям, мгновенно исчез. Этому способствовали уменьшение относительной влажности воздуха и вынос мощным потоком прогретого воздуха в верхние слои атмосферы. И перед лагерем во всем своем грозном величии развернулась грандиозная панорама уже остановившего свое продвижение, но еще живущего пирокластического потока (рис. 31).

Его фронт находился на расстоянии около 12 км от вулкана. Поток, миновав лагерь на расстоянии около 2 км и пройдя еще около 4 км, фактически оказался за нашими спинами. Хотя фронт потока остановился, пирокластический материал, по крайней мере, в течение первых десятков минут продолжал движение по его руслам. Об этом свидетельствовали как данные о сейсмическом сопровождении извержения, так характерное поведение сопровождавшей поток пепловой тучи. Ее интенсивно клубившаяся нижняя часть как бы стекала вниз по склону. По мере расширения и подъема пепловых клубов над потоком их движение под воздействием силь-



Рис. 31. Пирокластический поток вечером 30 июня 1985 г.

Съемка выполнена с небольшого холма (северные отроги Зиминных сопок). Сумерки скрывают рельеф и перспективу. Кратчайшее расстояние до потока – 2 км, а его фронт находится на расстоянии около 5 км.

ного встречного ветра сначала замедлялось, затем оттаивалось и, наконец, они начинали стремительно сноситься вверх по склону. Этот ветер в лагере практически не ощущался

и был обусловлен создавшимися в районе извержения микроклиматическими изменениями.

В течение последующих 50 мин, когда выделилось еще $2,9 \cdot 10^{10}$ Дж (12,5%) сейсмической энергии, происходило быстрое снижение активности вулкана, и к 20 ч процесс извержения практически стабилизировался. Однако уровень установившейся фоновой активности вновь значительно возрос по сравнению с периодом, предшествовавшим гиперболической активизации вулкана. В частности, средняя мощность сейсмического сопровождения извержения увеличилась на порядок – с $8,4 \cdot 10^5$ Вт до $8,8 \cdot 10^6$ Вт. Соответствующим образом изменился и характер деятельности вулкана. Если прежнее стационарное состояние соответствовало практически непрерывным обвальным лавинам с эпизодическим формированием на их фоне автоэксплозивных лавин, то после 20 ч практически непрерывным стал процесс формирования небольших пирокластических потоков (обвальных автоэксплозивных лавин), на общем фоне которых выделялись отдельные более мощные.

Визуальные наблюдения в этот период пришлось проводить в условиях быстро сгущавшихся сумерек и глубокой ночью, темноту которой часто нарушали ослепительные вспышки молний. До 12 ч ночи удалось зарегистрировать четыре пирокластических потока длиной свыше 6,5 км (более короткие визуально выделить было невозможно). Эти потоки имели место по визуальным данным в 21 ч 40 мин (максимальное смещение 3,2 м в 21 ч 32 мин), в 22 ч 05 мин (3,3 м в 22 ч 05 мин), в 22 ч 50 мин (2,3 м в 22 ч 42 мин), и в 23 ч 25 мин (2,9 м в 23 ч 18 мин).

Начиная с 0 ч 15 мин вновь усилились гул и грохот обвалов, а в 0 ч 30 мин был зарегистрирован пирокластический поток, как по длине (около 10 км), так и по уровню сейсмического сопровождения (13 м в 0 ч 31 мин) резко отличавшийся от большинства предыдущих и лишь не намного уступающий потоку, зарегистрированному в 19 ч 20 мин 30 июня. За этим импульсом активности вулкана последовало плавное ее затухание в течение последующих 1,5 ч до прежнего уровня. В характере активности вулкана это затухание выразилось в общей тенденции к постепенному уменьшению расстояния, на которое распространялся практически непрерывно генерирующийся пирокластический материал. В целом в ходе этой последовательности снижения активности выделилось $2,4 \cdot 10^{10}$ Дж, или 10,4% всей сейсмической энергии извержения.

Однако своей наивысшей мощности извержение достигло около 2 ч ночи, когда в течение 15 мин (2 ч 10 мин – 2 ч 24 мин) выделилось 24% всей энергии сейсмического сопровождения извержения. Около 1 ч 20 мин грохот, доносившийся со стороны вулкана, перешел в сильный низкочастотный гул, отдаленно напоминавший работу реактивного двигателя. На фоне гула выделялись раскаты грома. Интенсивность гула менялась со временем. Так около 1 ч 50 мин отмечались периоды длительностью 30–40 с, в течение которых интенсивность звука была максимальной. Около 2 ч фиксировались вариации интенсивности звука с периодом 35–40 с. В 2 ч 15 мин был слышен сильный равномерный

гул длительностью около 140 с, а в 2 ч 18 мин перед лагерем на расстоянии около 1,5 км встала гигантская светящаяся изнутри занавесь, которая была не чем иным, как сопровождающей пирокластический поток пепловой тучей.

Высота зоны свечения достигала 1–2 км, а наблюдалось оно по фронту около 5 км. В зависимости от высоты над потоком менялись как цвет свечения, так и его яркость. Ярко-красное у основания тучи, оно с высотой постепенно переходило в тускло-багровое, а затем исчезало в пепловом мраке. Граница зоны свечения постоянно меняла очертания. Ее нижний край оставался неподвижным, центр сильным, встречным по отношению к пирокластическому потоку ветром, отгибался назад, а верхняя часть, сохраняя инерцию движения тучи, как бы нависала над лагерем. Дополнял эту грозную картину практически непрерывный блеск молний.

Сквозь призрачное свечение раскаленного пепла просматривались «внутренности» потока на расстоянии 5–6 км от его фронта. Отдаленно это напоминало плавное движение воды по отдельным руслам и ручейкам, если вместо воды представить раскаленные до светло-красного свечения и мерцающие в процессе движения угли. В действительности же эти «угольки» представляли собой глыбы раскаленного материала до 10 м в поперечнике. Однако продолжать наблюдения за этим редкостным явлением было возможно лишь в течение считанных минут.

Наблюдения пришлось прервать, когда спустя 10–15 мин лагерь внезапно накрыло плотной пепловой завесой, а еще через несколько минут по стенкам палатки ударили первые капли дождя. Вместе с ними стали выпадать гравитационно-аккреционные лапилли – сферические стяжения пепла на каплях дождя [152]. Стук лапилли, имевших размер до 5 мм, быстро нарастал. Однако стенки палатки выдержали, а сами лапилли разрушались при ударе. Выпадение их продолжалось около получаса, хотя дождь, перешедший из ливневого в морозящий, длился еще около 30 мин, после чего этот своеобразный пепловый дождь перешел в обычный пеплопад, который к рассвету также прекратился.

По сейсмическим данным, кульминация извержения имела место в 02 ч 24 мин (21 μ), т.е. тогда, когда перед лагерем стояла светящаяся занавесь, внутри которой просматривалось движение потока раскаленных глыб. После этого началось и продолжалось в течение последующих 29,5 ч устойчивое гиперболическое снижение активности вулкана. Соответствующим образом менялся и характер деятельности вулкана. Непосредственно после главного удара извержения процесс истечения пирокластического материала стал практически непрерывным. С течением времени постепенно сокращалось расстояние, которое проходили потоки пирокластического материала. На общем фоне этого плавного затухания активности вулкана несколько выделялись моменты формирования пирокластических потоков в 4 ч 30 мин (5,6 μ) и 13 ч 59 мин (3,1 μ).

Затем основной фон стал все больше соответствовать процессам формирования автоэксплозивных лавин и движению в виде коротких пирокластических потоков. Лишь некоторые из них могли преодолеть расстояние 4 км от вулкана. Сам процесс извержения становился все более дискретным (эпизодическим), а автоэксплозивные лавины – все более редкими и слабыми. И на конечном этапе основной формой проявления активности стало формирование обвальных лавин раскаленного материала. В целом за этот более чем суточный отрезок времени выделилось $3,0 \cdot 10^{10}$ Дж, или 13% всей сейсмической энергии извержения.

Наступивший рассвет высветил мрачную картину последствий ночного пеплопада. Все вокруг лагеря было покрыто сантиметровым слоем грязно-коричневого мокрого пепла. Такого же цвета были ранее белоснежные ледники Зиминых сопок. К этому времени грохот со стороны вулкана и треск грозных разрядов доносились все реже и реже, а к 8 ч утра практически исчезли. Но по-прежнему жило и грохотало огромное поле, на котором был отложен материал пирокластических потоков. Дело в том, что до извержения это поле пересекалось большим количеством временных водотоков – «сухих рек». В каньонах их русел, несмотря на разгар лета, до извержения находилось большое количество снежников. В результате таяния последних при контакте с раскаленным материалом пирокластических потоков начались фреатические взрывы.

Около 10 ч дня Е.Ю. Ждановой и П.Ф. Серветником со стороны с/ст Апахончич была сделана попытка на лошадях приблизиться к полю пирокластических потоков с востока. У них

сложилось впечатление, что ближайший к ним пирокластический поток все еще медленно передвигался. На поверхности этого потока во многих местах были видны языки пламени. Впоследствии вдоль этого пирокластического потока обнаружили очень много сожженной травы, а на его поверхности – обуглившись веток кустарника.

Во второй половине дня, в результате таяния снега в горах, фреатические взрывы усилились. В спор за свои русла, занятые раскаленным пирокластическим материалом, вступила талая вода. Особенно мощная фреатическая деятельность наблюдалась в районе пересечения поля пирокластических потоков каньоном Ключа Тундрового (рис. 32, А).

К утру 2 июля вновь активизировался вулкан. В результате последнего всплеска его эксплозивной деятельности произошло формирование небольшого пирокластического потока длиной около 4 км. Во время его формирования в районе с/ст Апахончич зарегистрировано максимальное смещение почвы 3,1 м в 7 ч 40 мин, а выделение сейсмической энергии составило $6,8 \cdot 10^8$ Дж, или 0,3% всей сейсмической энергии извержения. Продвижение потока происходило одновременно по двум параллельным руслам. После чего извержение перешло в форму медленной экструзивной деятельности.

Около полудня вновь усилились фреатические взрывы по руслам временных водотоков. На этот раз быструю и окончательную победу в борьбе двух стихий одержала вода. К вечеру огромное поле пирокластических потоков напоминало известную Долину Тысячи Дымов (см. рис. 32, В).

При изучении изменений, произошедших в ходе эксплозивной стадии извержения в постройке вулкана, необходимо сделать вывод, что значительному разрушению подвергся в основном активный

восточный блок вулкана. Причем его разрушение прошло с учетом именно тех ослабленных зон, которые указывались ранее [149], т.е. по линии, соединяющей в верхней части северное окончание взрывной воронки осеннего извержения 1984 г., а в нижней – отрог абразионной впадины. В результате как крупных обвалов, так и следовавших за ними периодов бурного развития извержения в восточной части постройки вулкана образовалась огромная впадина (см. рис. 19, Q, рис. 30). В ее вершинной части последними порциями ювенильного материала был сформирован рудиментарный лавовый поток. Визуальные наблюдения, изучение барограмм и сейсмограмм позволяют утверждать, что бурное развитие извержения после особо крупных разрушений постройки вулкана представляет собой достаточно длительный процесс. Поэтому более правильным было бы говорить не о направленном



Рис. 32. Фреатическая деятельность (1 июля – сверху) и парение (2 июля – внизу) поля отложений пирокластических потоков 1985 г.

Рис. 33. Остатки экспедиционных домиков, разрушенных направленным извержением вулкана в ночь с 30 июня на 1 июля 1985 г.



взрыве, а о взрывоподобном направленном истечении ювенильного материала.

Ориентировка образовавшейся в застройке вулкана впадины свидетельствует о том, что сверхмощное направленное истечение ювенильного материала после крупных разрушений постройки вулкана происходило в восточном направлении.

В этом же направлении на расстоянии 4 км от вулкана находились два экспедиционных домика, разрушенные направленным воздействием пирокластики (рис. 33). Об исключительной силе этого извержения свидетельствует хотя бы такой факт, что один из этих домиков выдержал не один десяток предыдущих извержений вулкана. Также были уничтожены расположенные в этом секторе пункты микротриангуляции. Отдельные пирокластические потоки этого извержения имели длину около 13 км, в то время как длина пирокластических потоков всех предыдущих извержений (за исключением извержения 30 марта 1956 г.) не превышала 8 км, что также свидетельствует об исключительной мощности этого извержения по сравнению с обычными.

Последовавший за бурным развитием извержения экструзивный процесс был локализован в верхней части образовавшейся в застройке вулкана впадины. Как видно из рис. 30, к середине июля этот процесс привел к образованию внутри впадины секторного поднятия, разделившего лавовый поток этого извержения на верхнюю и нижнюю части. Внешне процесс извержения в этот период выражался частыми небольшими обвалами раскаленного и светившегося в ночное время материала как с поверхности лавового потока, так и с обрыва восточного блока. Сам лавовый поток под воздействием обвалов постепенно разрушался. В конце июля началась резкая активизация процесса извержения с одновременным переходом от экструзивной деятельности к эффузивной. В результате на месте секторного поднятия сформировалось лавовое вздутие.

Утром 31 июля произошел достаточно большой обвал нижней части вздутия, после чего лавовый материал стал медленно спускаться вниз по склону, формируя вязкий лавовый поток. Эффу-

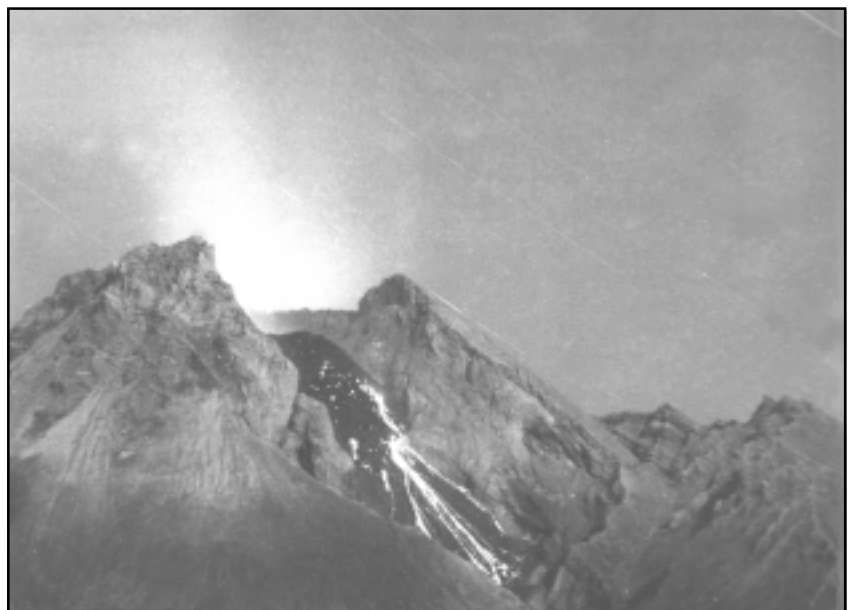


Рис. 34. Лавовый поток и свечение сопровождавших его обвальных лавин в августе 1985 г.

живная деятельность вулкана достигла максимума 4 августа, когда каждый час поток продвигался в среднем на 1,7 м, а на поверхность поступало около 28 тыс. т. ювенильного материала. Продвижение этого лавового потока (см. рис. 30, рис. 34), сопровождавшееся частыми небольшими обвальными лавинами раскаленного материала с его фронта, продолжалось в течение полутора месяцев. Лишь к середине сентября лавовый поток окончательно остановился и появились первые признаки его остывания.

Однако уже в октябре 1985 г., по наблюдениям Е.Ю. Ждановой, с плавно нарастающего деформационно-экструзивного процесса началась новая волна активности вулкана. Как и раньше, этот процесс был локализован в близвершинной части абразионной впадины в постройке вулкана, где вначале образовалось сводовое поднятие в привершинной части предыдущего лавового потока, с течением времени трансформировавшееся в экструзивный купол. С 15 октября в районе впадины стали вновь регистрироваться обвальные каменные лавины, а к началу ноября экструзивный купол транс-

формировался в лавовое вздутие. К 5 ноября регистрировали в минуту одну-две обвальные лавины его раскаленного материала.

С 7 ноября материал этого вздутия стал постепенно смещаться вниз по склону, формируя поток вязкой андезитовой лавы. Продвижение лавового потока, сопровождавшееся частыми обвальными лавинами раскаленного материала с его фронта, продолжалось по 14 декабря. К этому времени он практически покрыл дно всей абразионной впадины в постройке вулкана (см. рис. 19, Р, рис. 35). О переходе вулкана в состояние покоя свидетельствовали отсутствие обвальных лавин и появившиеся признаки начала остывания потока. К 20 декабря 1985 г. уже вся его верхняя часть была покрыта снегом.

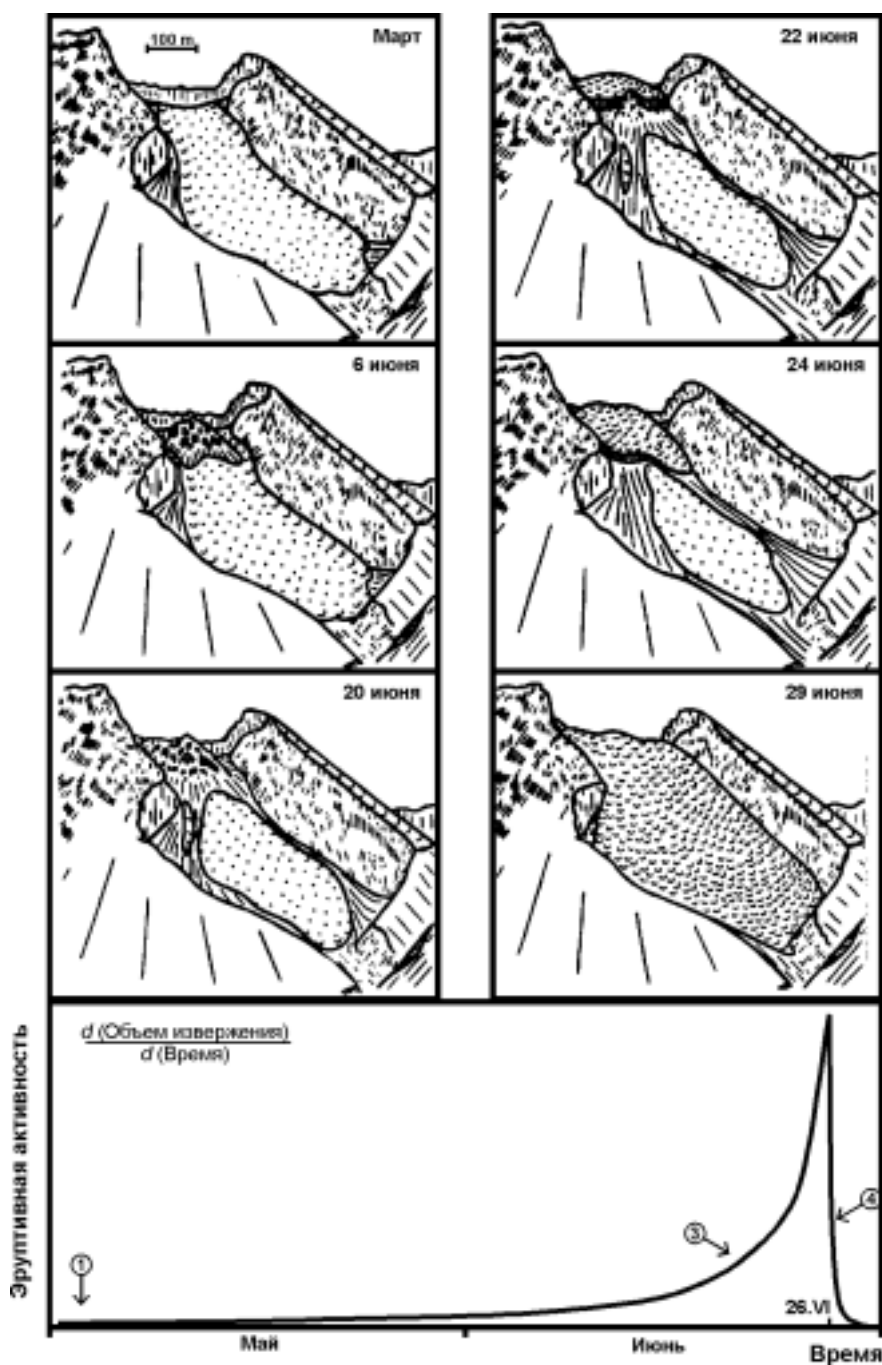


Рис. 35. Изменения восточного блока и динамика активности вулкана в весенне-летнем извержении 1986 г.

На рисунке меняющимся крапом показаны лавовые потоки. На графике обозначения стрелками соответствуют рис. 20

Первые месяцы 1986 г. [144, 148] для Безымянного характеризовались состоянием относительного покоя и фумарольной деятельностью, в ходе которой столб непрерывных парогазовых выделений в зависимости от погодных условий поднимался на высоту от 0,5 до 2,5 км над вулканом. Первые признаки активизации вулкана в виде появления спровоцированных возобновившимся экструзивным процессом обвальных каменных лавин зарегистрированы в конце марта. В результате дальнейшего развития экструзивного процесса на поверхности привершинной части лавового потока сформировалось куполовидное вздутие высотой около 50 м при диаметре основания около 150 м. Рост купола сопровождался постепенно усиливавшимися камнепадами с его поверхности.

К началу июня 1986 г. поверхность выжимающегося блока была практически полностью освобождена от остатков лавового потока (см. рис. 35). Часто выпадавший в горах в это время снег полностью покрывал склоны вулкана, но сразу же стаял с поверхности экструзивного блока, что свидетельствовало о повышенной температуре слагавшего его материала. Обвальные каменные лавины этого периода были сравнительно слабыми, а составляющий их обломочный материал аккумулировался непосредственно у подножия растущей экструзии.

В середине июня постепенное нарастание мощности экструзивного процесса привело к учащению обвальных лавин с поверхности экструзивного блока, росту мощности вулканокластических отложений у его подножия, постепенно перекрывавших лавовый поток прошлого извержения. К 20 июня отдельные обвалы достигали уже нижней части желоба, полностью перекрывая лавовый поток, а растущая экструзия достигла высоты около 100 м при диаметре 200 м (см. рис. 35).

В последующие два дня на фоне нараставшей активности процесса произошел плавный переход от экструзивной формы извержения к эффузивной. Выдвижение блока в этот момент полностью компенсировалось его разрушением в ходе обвалов каменных лавин, в результате чего высота экструзии оставалась неизменной и даже, по мере поступления все более пластичного материала, стала несколько уменьшаться вследствие эффекта растекания. К 22 июня (см. рис. 35) от экструзии сохранилась лишь его южная окраинная часть в виде небольшого обелиска, тогда как все остальное трансформировалось в лавовое вздутие.

Одновременно с трансформацией экструзии в лавовое вздутие и переходом процесса извержения в эффузивную форму стали появляться, наряду с обычными обвалами, лавины, сопровождавшиеся характерными интенсивно клубящимися пепловыми тучами типа «цветной капусты». Образование подобных лавин связано с появлением эффекта автоэксплозивности в ходе обвалов больших объемов газонасыщенного и высокотемпературного материала. В ночь на 23 июня было зафиксировано непрерывное ярко-красное свечение фронтальной части лавового вздутия, а 24 июня тускло-красное свечение обломков в обвальных лавинах наблюдалось уже днем. Пепел, поднимавшийся во время частых и мощных обвалов, распространялся в виде шлейфа в южном направлении на 30–40 км вдоль восточных склонов Зиминых сопок, где регистрировались небольшие пеплопады, несмотря на отсутствие на самом вулкане газопепловых выбросов.

К этому времени остатки экструзии были полностью разрушены и перекрыты вязким лавовым потоком, достигшим в длину около 120 м (см. рис. 35) и продвигавшимся со скоростью около 5 м/ч. В ночь с 24 на 25 июня произошла взрывно-эффузивная кульминация этого периода активности, выразившаяся в ускоренном продвижении лавового потока и формировании двух небольших пирокластических потоков длиной до 4 км. С точки зрения анализа выделения сейсмической энергии, все извержение сводится к двум очень кратковременным эпизодам формирования этих потоков. В период с 4 ч 50 мин до 4 ч 56 мин выделилось 35 % всей сейсмической энергии извержения, а с 7 ч 49 мин до 8 ч 01 мин – оставшиеся 65 %. По характеру сейсмического сопровождения образование этих потоков, скорее, соответствуют формированию мощных автоэксплозивных лавин вследствие особо крупных обвалов раскаленного и газонасыщенного ювенильного материала, произошедших при ускорении движения лавового потока.

К сожалению, наблюдениям за процессом извержения в это время мешали неблагоприятные погодные условия. Однако к исходу ночи на 26 июня сквозь просветы в облаках по свечению фронта лавового потока удалось установить, что его длина достигла 400–450 м. Средняя скорость продвижения лавового потока, таким образом, за этот период составила около 10 м/ч. Если судить по степени

заполнения желоба, суммарная мощность лавового потока и подстилающих его отложений обваль-ных лавин составила около 40–50 м, в то время как видимая мощность собственно лавового потока на его фронте не превышала 10–20 м.

Посткульминационное развитие извержения характеризовалось быстрым снижением актив-ности вулкана. Лавовый поток, достигнув к 29 июня 1986 г. длины 500–550 м, прекратил свое про-движение (см. рис. 19, S, рис. 35). Обвалы и сопровождавшее их свечение становились все более редкими и слабыми и к 1 июля 1986 г. практически прекратились. Вулкан перешел в состояние покоя и умеренной фумарольной деятельности.

При анализе результатов фоторегистрации деформационно-экструзивного процесса было ус-тановлено, что в ходе весенне-летнего периода активности вплоть до его эксплозивно-эффузивной кульминации развитие процесса происходило по гиперболическому закону, что для приращения объе-ма постройки вулкана привело к выполнению зависимости (рис. 36, а)

$$(1) \quad V = 2,3 \cdot 10^6 / (T - t + 0,4) \text{ м}^3,$$

где V – приращение объема постройки к моменту времени t , момент времени T соответствует куль-минации извержения, а постоянная 0,4 и разность $T - t$ выражены в сутках. Этой зависимости соот-ветствуют и объемы продуктов этого периода активности в целом.

Новый период активности вулкана, также как и предыдущий, начался с постепенного нараста-ния деформационно-экструзивного процесса. 17–18 октября автором был обследован расположен-ный в обвальном-эксплозивном желобе лавовый поток весенне-летнего периода активности. Изме-нения его поверхности, в том числе и в привершинной части, обнаружены не были. Однако уже к 7 ноября в привершинной части лавового потока была зарегистрирована куполовидная дефор-мация поверхности диаметром около 100 м при высоте 50 м (рис. 37). Этот деформационный купол рассекался вертикальной трещиной северо-западного простирания. Таким образом, пер-вые импульсы деформационно-экструзивного процесса в этом периоде активности вулкана сле-дует отнести к концу октября – началу ноября.

Дальнейшее развитие деформационно-экструзивного процесса в общих чертах аналогично предкульминационному развитию предыдущего периода активности. К 25 ноября куполовидная де-формация поверхности привершинной части лавового потока достигла высоты 80 м при диаметре основания около 120 м (см. рис. 37). Значительно увеличились и размеры трещины, рассекавшей деформацию. В первых числах декабря начался процесс обрушения каменных лавин с поверхности

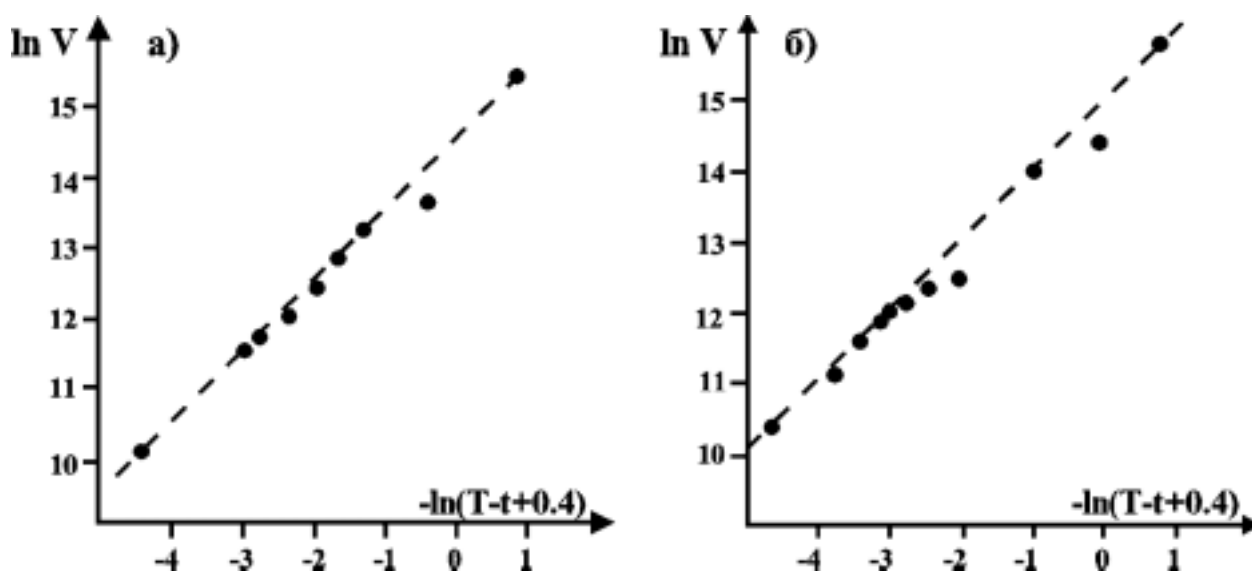


Рис. 36. Эмпирические зависимости приращения объема постройки вулкана V (м^3) от времени T (сут) в весенне-летнем (а) и осенне-зимнем (б) периодах эруптивной активности вулкана в 1986 г.

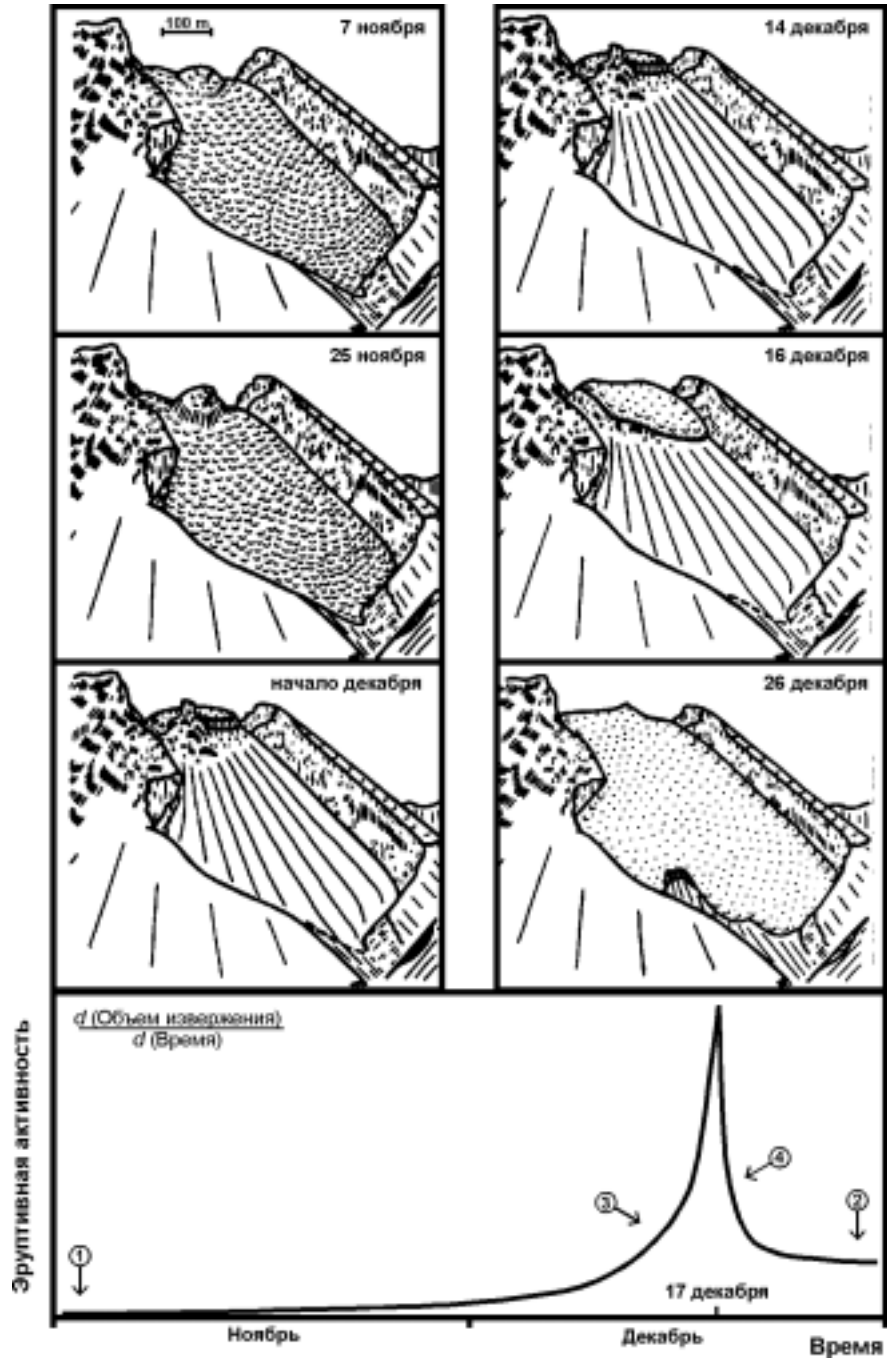
Рис. 37. Изменения восточного блока и динамика активности вулкана в осенне-зимнем извержении 1986 г.

На рисунке меняющимся крапом показаны лавовые потоки. На графике стрелками показаны состояния: 1 – покоя, 2 – стационарного разития, 3 – лавинообразной (чем больше, тем быстрее) активизации, 4 – лавинообразного (чем меньше, тем медленнее) снижения активности

растущей экструзии. К 8 декабря выжимающийся блок был полностью освобожден от остатков лавового потока (см. рис. 37), а уже в ночь с 9 на 10 декабря впервые в этом периоде активности было зарегистрировано свечение обвальных каменных лавин.

Следующим этапом извержения стал процесс трансформации выжимающейся и одновременно разрушающейся экструзии в лавовое вздутие. Постепенно нарастали частота обвальных лавин, их мощность и интенсивность свечения в ночное время. К 14 декабря поверхность лавового потока весенне-летнего периода активности была полностью погребена под обломочным материалом (см. рис. 37). От экструзивного блока к этому времени сохранилась лишь его юго-восточная часть в форме обелиска высотой около 100 м при диаметре 80 м. Большую же часть площади бывшего блока занимало лавовое вздутие высотой около 60 м при диаметре 150–200 м.

15 и 16 декабря погодные условия, при которых проводились наблюдения, были неустойчивы. В частности, 15 декабря наблюдения за вулканом были возможны лишь с 16 ч 30 мин до 17 ч 45 мин. В это время имели место фумарольная деятельность и обрушения небольших каменных лавин, сопровождавшихся в сгущавшихся сумерках рубиново-красным свечением падающих обломков. Белый парогазовый столб высотой около 1200 м над вулканом периодически подкрашивался примесью пепла, поднимавшегося при обрушении лавин. В остальное время вулкан был закрыт низкой облачностью.



16 декабря наблюдения за вулканом были возможны с 9 до 10 ч, с 12 до 13 ч и с 17 до 21 ч. Парогазовый столб с небольшой примесью пепла обвального генезиса поднимался на высоту до 1500 м. На фоне частых обычных обвалов в 9 ч 20 мин и в 12 ч 30 мин были зарегистрированы мощные обвальные лавины, сопровождавшиеся характерными пепловыми тучами с интенсивно клубившейся поверхностью типа «цветной капусты». К ночи свечение обвалов стало практически непрерывным. Ярко-красный цвет свечения имели не только падающие обломки, но и в течение нескольких секунд места их ударов об осыпь, состоящую из таких же разогретых обломков предыдущих обрушений. Падающие и скатывающиеся в каменных лавинах обломки нередко превышали в поперечнике 10 м.

Наиболее мощные обвалы сопровождались поверхностными вулканическими землетрясениями, регистрируемыми на с/ст Апахончич (16 км). Так обвалам в 20 ч 02 мин и 20 ч 08 мин соответствуют землетрясения с максимальным смещением почвы в районе сейсмостанции 0,52 μ при периоде 0,6 с в первом случае и 0,60 μ при периоде 1,0 с – во втором. Особенностью этих и некоторых других мощных обвальных лавин, имевших место вечером 16 и в ночь на 17 декабря, является специфика их свечения. В отличие от обычных каменных лавин багровым цветом светилась интенсивно клубившаяся пепловая туча, сопровождавшая обрушение. Свечение же отдельных обломков становилось заметным лишь после прекращения свечения пепловой тучи и ее частичного рассеивания. Генерация значительного количества раскаленного и, вследствие этого, светившегося пепла происходила непосредственно в ходе обрушения, что свидетельствует о появлении эффекта автоэксплозивности при обвалах больших объемов высокотемпературного и газонасыщенного материала.

Хотя предкульминационное развитие деформационно-экструзивно-эффузивного процесса в ходе этого периода активности (как и в предыдущем) происходило по гиперболическому закону, тем не менее эмпирическая зависимость приращения объема постройки вулкана от времени до кульминации в этом периоде несколько отличалась от зависимости 1 и имела вид (см. рис. 36, б).

$$(2) \quad V = 3,0 \cdot 10^6 / (T - t + 0,4) \text{ м}^3.$$

Как и в предыдущем периоде активности в эту зависимость хорошо вписались и объемы продуктов взрывно-эффузивной кульминации.

В ночь на 17 декабря наблюдения за вулканом были возможны с 0 ч 32 мин до 2 ч 15 мин. К этому времени остатки экструзии полностью разрушились. Медленное сползание вниз по склону материала лавового вздутия привело к формированию вязкого лавового потока, достигшего к рассматриваемому моменту времени длины 200–220 м (см. рис. 37). Именно его фронтальная часть служила основным источником обвальных каменных лавин. Непрерывное свечение сколов на фронте лавового потока позволяло оценить его мощность в 20–25 м.

Утром вулкан был закрыт низкой облачностью. Шел снег. Лишь к полудню погода стала постепенно улучшаться. В 12 ч 20 мин в просветах между облаками стал виден газопепловый столб, достигавший высоты 1700–2000 м над вулканом. У подножия вулкана на снежном фоне хорошо просматривалась узкая темная полоса отложений пирокластического потока, прошедшего от вулкана расстояние около 4,5 км. Образование этого потока, как показал впоследствии анализ сейсмограмм с/ст Апахончич, вероятнее произошло около 7 ч утра. Именно в это время увеличение амплитуды поверхностных вулканических землетрясений и их количества привело к появлению непрерывно-спазматического вулканического дрожания, которое обычно сопровождает формирование пирокластических потоков вулкана. Максимальная амплитуда дрожания имела место в 07 ч 07 мин и в районе сейсмической станции достигала 6,5 μ при периоде 0,6 с.

К 12 ч 40 мин появилась возможность проводить наблюдения за процессами, происходившими на куполе Новом. Стало очевидным, что источник пепла – интенсивно клубившиеся тучи, сопровождавшие практически непрерывные обрушения. Начавшееся в 12 ч 47 мин быстрое нарастание мощности обвалов уже спустя две минуты привело к формированию пирокластического потока (рис. 38).

Наибольшей мощности извержение потока пирокластического материала достигло в 12 ч 49 мин. В это же время на с/ст Апахончич зарегистрирована и максимальная амплитуда сопровождавшего рассматриваемый процесс непрерывно-спазматического дрожания – 5,8 μ . Общая про-