

УДК 551.21+551.24

**Новейшие гигантские взрыво-обваловые лавины
катастрофических извержений вулкана Шивелуч на Камчатке:
детерминированность и возможные причины**

И.В.Мелекесцев

Опубликовано: Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск -Камчатский, 2001 г., 428с.; УДК 551.21+552+550.34

Памяти Г.С.Горшкова, директора
(1966-1970 гг.) Института вулканологии,
который первым на Камчатке
начал изучать такие образования
в 1956 г., посвящается

На основе детальных вулканологических и тефрохронологических исследований оценены параметры и реконструирована предыстория подготовки катастрофических извержений вулкана Молодой Шивелуч, проходивших с образованием гигантских обломочных лавин (ГОЛ) в 1430, 1854 и 1964 гг. Наибольшее внимание уделено описанию взрыво-обваловой обломочной лавины 1964 г., предложен новый механизм ее формирования. Показано, что подобный механизм был свойственен и для двух других обломочных лавин. Возникновение ГОЛ было предопределено разными формами существования андезитовой магмы и закономерностями эруптивной активности вулкана в голоцене. Пересмотрены в сторону уменьшения сила и геолого-геоморфологический эффект извержения 1854 г., а также размеры и объем связанной с ними обломочной лавины. Предполагается, основываясь на продуктивности вулкана Молодой Шивелуч в XIX-XX веках, что следующее извержение типа 1964 г. может произойти через 60-90 лет.

Проведенные исследования показали, что в Курило-Камчатской области есть минимум 7 вулканов (Шивелуч ([рис.1](#)), Безымянный, Кизимен, Тауншиц, Бакенинг, Севергина, Менделеева), извержения которых за последние 10-11 тыс. лет сопровождались образованием большеобъемных, вплоть до гигантских, взрыво-обваловых грубообломочных лавин. На вулканах Севергина (о.Харимкотан, Курильские острова) и Шивелуч (Камчатка) они происходили многократно [15,16,30]. Такие грубообломочные лавины вполне возможны на этих и других вулканах в будущем.

Несомненно, что каждое извержение подобного типа представляло и будет представлять серьезную опасность для населения и хозяйственных объектов. Они приводили и будут приводить также к кардинальным изменениям природной среды на площадях в десятки и

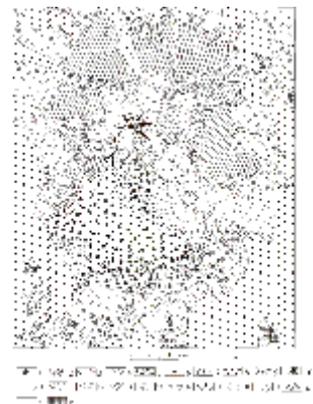


Рис. 1

сотни квадратных километров. Чаще всего эти извержения происходили внезапно, поскольку до сих пор однозначно не выявлены все типы потенциально опасных в этом отношении вулканов, во многом непонятны процессы, их вызывающие, не разработаны критерии долгосрочного прогноза подобных событий.

В связи с чем весьма ценны вулканы, извержения которых чаще других приводили к возникновению эксплозивно-обвальных грубообломочных лавин. И прежде всего - вулкан Молодой Шивелуч ($56^{\circ} 38.1' \text{ с.ш.}$, $161^{\circ} 19.0' \text{ в.д.}$, абс. высота до ноября 1964 г. $\sim 2700 \text{ м.}$). Во-первых, он - пока единственный, где такие лавины не только выявлены, закартированы, но и надежно датированы радиоуглеродным (^{14}C) методом [30]. Во-вторых, там 12 ноября 1964 г. произошло неоднократно описанное специалистами-вулканологами [4,20 и др.] катастрофическое извержение с образованием гигантской грубообломочной лавины. В-третьих, наличие качественной аэрофотосъемки, сделанной после извержения 1964 г., и составленные на ее основе крупномасштабные топографические карты позволили детально проанализировать происшедшие изменения в морфологии вулкана Молодой Шивелуч и его подножия, изучить особенности мезо- и микрорельефа поверхности грубообломочной толщи, динамику ее формирования и взаимоотношение (временное и пространственное) с пирокластическими потоками того же извержения, выявить характерные признаки отложений, точно определить их объем. Немаловажно и то, что здесь была реконструирована [30] хронология и предыстория многих обломочных лавин, в том числе новейших, возникших в XV-XX веках. Особый интерес представляет 111-летняя подготовка извержения 1964 г. после предыдущего сильного извержения вулкана Молодой Шивелуч в феврале 1854 г.

1. Гигантская грубообломочная лавина 1964 г. и ее предыстория

Эксплозивно-обвальная грубообломочная лавина извержения 12 ноября 1964 г. и ее предыстория отнюдь не случайно выбраны в качестве своего рода модельного эталона для объяснения детерминированности возникновения, изучения закономерностей строения, механизма и динамики формирования более старых по возрасту лавин Молодого Шивелуча. Это прямое следствие результатов проведенных исследований [30], показавших, что по своим параметрам, особенностям строения мезо- и микрорельефа поверхности, мощности отложений, облику и составу обломочного материала она практически не отличается от таковых аналогичных сохранившихся фрагментов его доисторических форм. Поэтому есть основания полагать, что и последние могли возникнуть сходным путем. То же можно утверждать, в первом приближении, и относительно типичности ее предыстории.

Предыстория подготовки извержения 1964 г. начинается с 1854 г. после мощного извержения 17-18 февраля. Извержение 1854 г. считается [4] похожим на извержение 12 ноября 1964 г. Поэтому следующие почти 111 лет можно, с известной долей условности, считать временем подготовки последнего. Хотя сразу же необходимо отметить, что в эруптивной истории Молодого Шивелуча в эти годы не было периода покоя, даже относительного. Собственно период относительного покоя только с фумарольной активностью продолжался лишь до 1879 г., когда началось новое извержение, закончившееся в 1883 г. Его результат - образование купола Центральный [4]. Имеются данные [Guillemard, 1886, p.171], что в июле 1883 г. часть купола была уничтожена взрывом или обвалом: "... конус... внезапно раскололся на два, испуская огромное количество лавы, которая стекала по склонам" (цитируется по [4, с.32]). За лаву здесь, вероятно, приняты раскаленные обломочные лавины, обычно связанные с ростом экструзивных куполов, и (или) небольшие пирокластические потоки.

В дальнейшем эпизоды активизации купола Центральный отмечались в 1897-1898, 1905 и 1927-1929 гг. [4,6,18,22 и др.]. В ходе первого из них происходили взрывы и иногда выбрасывалось довольно большое количество тефры: 3 марта 1898 г. пепел выпал в с.Тигиль в 200 км к СЗ от вулкана [18]. Извержение 1927-1929 гг. было слабым, так как проведенное Г.С.Горшковым [4] сравнение фотографий 1909 и 1949 гг. показало отсутствие сколько-нибудь серьезных изменений на вершине купола Центральный: сохранились даже отдельные зубцы и камни.

Новое длительное извержение вулкана Молодой Шивелуч, приведшее в итоге к образованию крупного экструзивного купола Суелич, началось в ноябре 1944 г. серией фреатических взрывов. Собственно экструзивный купол стал расти с января 1946 г. Осенью 1946 г. его высота достигла 300-400 м, в 1947 г. увеличилась еще на 100-150 м [18]. В конце извержения (апрель 1950 г.) высота купола Суелич была 500-600 м, диаметр вершины - 500 м, диаметр основания - 1000 м [18].

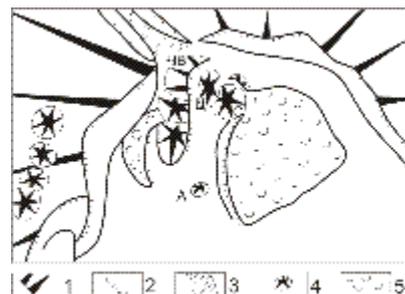


Рис. 2

Рост купола с 1947 г. сопровождался многочисленными раскаленными лавинами, неоднократно происходили сильные взрывы и пеплопады. Несколько раз пеплы выпадали на расстоянии более 100 км от эруптивного центра [4,18, и др.]. Однако мощность отложенной тefры, за исключением участков, примыкающих к основанию купола, составляла первые миллиметры и доли миллиметра. Поэтому они не всегда фиксируются в почвенно-пирокластических чехлах даже подножия вулкана.

После 6 апреля 1950 г. и до 12 ноября 1964 г. вулканических проявлений отмечено не было.

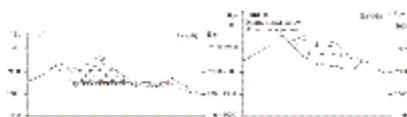


Рис. 3

Строение вершинной части вулкана Молодой Шивелуч перед ноябрьским извержением 1964 г. было известно лишь в общих чертах, поскольку специального детального геоморфолого-геологического картирования проведено не было, а качественная топографическая основа и материалы аэрофотосъемки на этот участок отсутствовали.

Имевшиеся же данные наблюдений сотрудников Камчатской вулканологической станции в г.Ключи суммированы в работах А.А.Меняйлова [18], Г.С.Горшкова и Ю.М.Дубика [4]. Принципиальных различий между схемами строения вершинной части вулкана Молодой Шивелуч в обеих работах (рис.2 в [18] и рис.2а в [4]) нет, но вторая из них подробнее, поэтому она (рис.2) и принята в качестве базовой. Там показаны: 1) большой (~2 км), открытый на юг кратер, который, по предположению Г.С.Горшкова [4], возник во время извержения 1854 г.; 2) наполовину уничтоженный в 1854 г. самый старый, крупный и высокий экструзивный купол - Четвертая вершина; 3) группа из двух соединенных своими основаниями экструзивных куполов к югу от Четвертой вершины; 4) молодые экструзивные купола Центральный (1879-1883 гг.) и Суелич (1946-1950 гг.); 5) отдельно стоящий экструзивный купол (?) - Арбузик на самом юге. Поскольку, кроме Арбузика, все купола расположены в непосредственной близости друг от друга, они образуют как бы единый многоцентровый экструзивный массив с общим основанием из слившихся между собой их агломератовых мантий. Поэтому вулкан Молодой Шивелуч был выделен [13] даже в особый тип - экструзивный вулкан.

По данным Г.С.Горшкова [4], на гребне обрыва купола Четвертая вершина лежат три горизонта пемзы. Вероятнее всего они были связаны с извержениями Молодого Шивелуча в ~1430, ~1650 и 1854 гг. Сам же купол возник после катастрофического извержения ~1030 г., а разрушившее его извержение произошло ~1430 г. (см. ниже): (даты, кроме 1854 г., из [30]). Экструзивные купола к югу от Четвертой вершины тоже покрыты пемзой. Это, по-видимому, пемза 1854 г., поскольку там лишь один горизонт. На куполах Центральный и Суелич Г.С.Горшков пемз не обнаружил.

Судя по карте масштаба 1:100 000, в 1950 г. максимальная абсолютная высота гребня купола Четвертая вершина равнялась (или чуть превышала) 2800 м, куполов Центральный и Суелич - 2650-2700 м. Несколько меньше (2300-2400 м) были высоты куполов к югу от Четвертой вершины. Эта же карта послужила основой для построения поперечных профилей (рис.3) привершинной части вулкана Молодой Шивелуч, характеризующих топографическую ситуацию до извержения 1964 г.

Особенности извержения 12 ноября 1964 г. и его грубообломочная лавина описаны в работах П.И.Токарева [23, 24], Б.И.Пийпа и Е.К.Мархинина [20], Г.С.Горшкова и Ю.М.Дубика [4], Т.С.Краевой [9], А.Б.Белоусова [2,29], П.П.Фирстова [25] и др. Со многими положениями этих работ автор настоящей статьи согласен, однако некоторые из них, и особенно выводы, склонен пересмотреть.



Рис. 4

Единственный зафиксированный признак подготовки извержения - усиление сейсмической активности в районе вулкана: первые слабые толчки отмечены в январе 1964 г., в дальнейшем сила толчков и их количество увеличились. После роя землетрясений в мае П.И.Токарев [23] предупредил о возможности извержения. Несмотря на это, извержение 12 ноября 1964 г. оказалось неожиданным, и сведения о событиях его начальной фазы поставлялись главным образом не специалистами-вулканологами, а случайными наблюдателями [4]. Не все приборы исследовательского комплекса были в исправности [4].

Подобное стечение обстоятельств, а также необычность самого извержения, вероятно, и послужили одной из главных причин неоднозначной интерпретации его хода и последствий. В частности, трактовки происхождения возникшей тогда гигантской грубообломочной лавины, первой здесь в XX в. В самой ранней публикации [20] ее наличие просто констатируется, описывается рельеф лавины, приводится оценка занимаемой площади (~70 км²), но в явном виде генезис данной формы не обсуждается. В неявной же форме подразумевается, что она возникла из материала нескольких взрывов, разрушивших вершину Молодого Шивелуча (рис.4). Определение это было сформулировано еще П.И.Токаревым, который утверждал, что "... при извержении вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г., в отличие от извержения вулкана Безымянного 31 марта 1956 г. (здесь опечатка, так как извержение случилось 30 марта. Прим. автора), не было одного главного взрыва, разрушившего старую постройку, а произошла серия взрывов, непрерывно следующих один за другим" [24, с.18]. Образование покрова холодного агломератового материала он связывает со II фазой (19 ч 20 мин - 19 ч 47 мин, 11 ноября, по Гринвичу) пароксизмальной стадии извержения, когда сила взрывов непрерывно возрастала, происходило разрушение лавовой пробки и выбрасывался большой объем пород из кратера: за 27 минут - 8x10¹⁴ г холодного материала старой постройки с интенсивностью 5x10¹¹ г/с.

Самое полное описание извержения 1964 г. сделано в статье Г.С.Горшкова и Ю.М.Дубика [4]. В ней дана всесторонняя и подробная характеристика большинства аспектов этого извержения и его последствий. Тип извержения отражен в самом названии статьи - "Направленный взрыв на вулкане Шивелуч". Поэтому все события рассмотрены именно под таким углом зрения (с.16-18): "... неоспоримо установлено, что на вулкане произошел один (может быть сдвоенный) очень мощный, направленный к югу взрыв, который почти нацело снес куполы Кратерной вершины... на месте куполов... образовался новый кратер размером 1.5x3 км... из двух частей... . Значительная масса брекчии взрыва обрушилась на непосредственно прилегающий к кратеру южный сектор подножия вулкана... . Подавляющая часть взрывного материала... выброшена на расстояние до 10 км от кратера, образовав сплошной покров от нескольких метров до нескольких десятков метров... площадь покрова... 98 км²". Приводятся доказательства движения материала уже после падения его на склон во фронтальной и средней частях покрова. Отмечается, что вблизи кратера встречаются блоки пород, выброшенные взрывом за границы покрова. Объем отложений направленного взрыва оценен минимум в 1,5 км³. Связываются с взрывом и самые сильные землетрясения в 7 ч 07 мин и 7 ч 13 мин 12 ноября. Камчатскими аналогами данного извержения считаются извержения вулканов Безымянный 30 марта 1956 г. и Шивелуч 17-18 февраля 1854 г., зарубежным - извержение вулкана Бандай-сан 1888 г. в Японии. Извержения вулканов Шивелуч 1964 г. и Бандай-сан отнесены Г.С.Горшковым [4] к "типу Безымянной".

В последние годы представления Г.С.Горшкова и Ю.М.Дубика о взрывном происхождении обломочной лавины оспариваются. Так, в работах [2, 29] делается вывод, что извержение 12 ноября - фреатическое, спровоцированное обрушением с постройки 1,154 км³ материала в 7 ч 07 мин утра местного времени, а в интервале 7 ч 20 мин - 7 ч 47 мин - плининское. Соответственно, образовавшаяся обломочная лавина, как и на вулкане Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. - чисто обвальная толща. Каких-либо серьезных доказательств в пользу такого ее генезиса, основанных на новом

собственном материале, А.Б.Белоусов практически не приводит. Более того, приведенная выше цифра объема обвалных отложений, взятая им из работы [8], на наш взгляд, менее достоверна, чем у Г.С.Горшкова [4]. Во-первых, неудачна сама методика ее определения по картам разного масштаба, сделанных с очень неодинаковой точностью, на которых абсолютные высоты одних и тех же объектов южного подножия вулкана Шивелуч по внешнему периметру обломочной лавины отличаются на десятки метров. То же можно, вероятно, утверждать и относительно участков, погребенных сейчас под отложениями лавины. Во-вторых, из $1,154 \text{ км}^3$ обломочной лавины необходимо вычесть еще $0,3-0,5 \text{ км}^3$ ювенильного материала пирокластических потоков извержения 1964 г. Оставшиеся $0,654-0,854 \text{ км}^3$ намного меньше даже первичного объема уничтоженных экструзивных куполов, имевших примерно в 1,5 раза больший средний объемный вес слагавших их лав, чем дезинтегрированный материал обломочной лавины.

П.П.Фирстов [25], основываясь на соотношении интенсивности сейсмического и акустического сигналов, пытается доказать, что извержение 12 ноября 1964 г. началось с грандиозного обвала объемом $1,5 \text{ км}^3$, и что вся его обломочная лавина имеет обвальное происхождение. Геологические представления для обоснования своей точки зрения П.П.Фирстов заимствовал из работы [29].

Таким образом, сейчас оформились две концепции причины и динамики ноябрьского извержения 1964 г. и, соответственно, два разных подхода к обоснованию происхождения его обломочной лавины: 1) взрывная, представленная двумя разновидностями - единого мощного направленного взрыва [4] и множественных взрывов [20,23,24] и 2) обвальная [2,25,29]. По первой концепции это - взрывная, по второй - обвальная толщи.

Однако проведенное в 1994-1995 гг. тщательное дешифрирование аэрофотоснимков и анализ новейших топографических карт масштаба 1:25 000 и 1:50 000 на весь южный сектор постройки вулкана Молодой Шивелуч, начиная от прикратерной области и кончая подножием, показали, что обе предложенные концепции не объясняют всего разнообразия строения рельефа поверхности обломочной лавины в целом и многих особенностей мезо- и микрорельефа ее отдельных участков. Не получил в них убедительного истолкования и такой феномен, как складчатая деформация подстилающей поверхности непосредственно перед фронтом лавины у ее юго-восточного края (см. ниже).

Поэтому на основе имевшегося фактического материала и новых данных полевых и камеральных исследований была разработана еще одна гипотеза образования грубообломочной лавины 12 ноября 1964 г. - эксплозивно-обвальная, дающая возможность, как представляется, более реально интерпретировать происшедшие тогда события и избежать отмеченных недостатков обеих рассмотренных концепций.

Начальной предпосылкой, по мнению автора, во многом определившей тип и динамику извержения 1964 г., послужило то, что возникший ~1430 г. [30] крупный вершинный, открытый на юг кратер вулкана Молодой Шивелуч уже в 1950 г. был практически полностью занят слившимися между собой экструзивными куполами (см. рис.2,3) общим объемом вместе с их агломератовыми мантиями более 1 км^3 . Высоты вершин куполов были заключены в интервале 2300-2800 м. В последующие 14,5 лет (с 7 апреля 1950 г. по 11 ноября 1964 г.) здесь наблюдалась лишь фумарольная активность. В связи с чем понятно, почему подготовка извержения 1964 г. началась со скачкообразно возрастающей сейсмической активности [23]: вязкая андезитовая магма, продвигаясь рывками, заново прокладывала себе путь наверх. Достигнув подошвы массивных, высоких и тяжелых экструзивных куполов, магма, по-видимому, стала внедряться между их основаниями и подстилающей поверхностью. Преобладавшее до того преимущественно вертикальное направление движения магмы сменилось субгоризонтальным южных румбов, в соответствии с уклоном днища старого кратера (рис.5). Вместе с магмой начали перемещаться и расположенные над ней экструзивные купола. В результате этого постройки экструзивных куполов были в какой-то момент разорваны, что явилось причиной трех происшедших тогда катастрофических событий: 1) сильнейшего ($K=12,3$) за все время поверхностного землетрясения в 7 ч 7 мин 20 с [по 23,25] утра 12 ноября; 2) образования гигантской грубообломочной обвальной лавины из разрушенных пород, сместившихся к югу и вниз

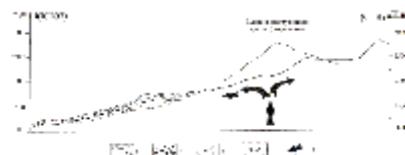


Рис. 5

экструзивных куполов; 3) возникновения большей по размеру южной части кратера.



Рис. 6

Следует отметить, что сходный механизм формирования крупных обвалов на действующих вулканах был недавно предложен и смоделирован В.В.Адушкиным и др. [1].

Судя по морфологии южной части кратера, свалившийся блок постройки почти точно аппроксимируется в плане правильным кругом диаметром 2,2-2,3 км и площадью ~4 км². Отрыв произошел по 270° дуге окружности длиной ~5 км. Площадь субвертикальной зоны отрыва превышала 1,5 км². Первоначальный объем сместившегося блока был 0,8-1 км³.

В результате резкой подвижки и сильнейшего сотрясения этот блок подвергся полному разрушению. Существовавший здесь экструзивный массив из двух куполов

был раздроблен. Часть его в виде нескольких массивных фрагментов (аллохтонов) переместилась вниз относительно недалеко, образовав несколько четко выраженных в рельефе ступеней высотой до 150 м перед входом в кратер (рис.5,6). Остальной, сильнее дезинтегрированный, материал скатился в виде грубообломочной обвальной лавины по склону на расстояние 13-15 км, поскольку под уничтоженными в тот момент старыми куполами, вероятно, уже не было активного подводящего вулканического канала, заполненного сильно нагретым, недегазированным ювенильным веществом, способным генерировать сильные взрывы. В связи с чем возникшее в начале извержения облако (скорее всего, преимущественно пылевое), поднявшееся над обвальным цирком и движущейся с большой скоростью обломочной лавиной.

В [25] предполагается, что развивающееся турбулентное пылевое облако и катящаяся вниз по склону вулкана со средней скоростью около 30 км/час обломочная лавина стали причиной работы акустического источника I, продолжавшейся около 10 минут до 7 ч 18 мин утра 12 ноября.

Сохранившийся в практически не измененном состоянии фрагмент обломочной лавины (рис.7) позволяет судить о характерных особенностях первичного мезо- и микрорельефа ее поверхности. Специфическая особенность холмисто-котловинного и холмисто-грядово-котловинного рельефа поверхности этого фрагмента грубообломочной обвальной лавины с "сетчатым" микрорельефом по Т.С.Краевой [10] - его схожесть с рельефом глыбовых лавовых потоков. Холмы и короткие грядки объединены здесь в некое подобие извилистых валов, ориентированных перпендикулярно к направлению движения материала. Так же ориентированы и разделяющие их извилистые ложбины - зоны разрыва. Местами хорошо видны обособленные, как бы отдельные, потоки (или струи) шириной в несколько сот метров и длиной 1-2 км, "текущие" вниз по склону вулкана, куда двигался и остальной материал обвальной лавины. Все эти признаки свидетельствуют, что здесь, на периферии обвальной лавины, обломочный материал еще продолжал перемещаться, но уже с небольшой скоростью. Указанием на малую скорость движения обломочной лавины служит и то, что в ее прифронтальной области имеются много невысоко поднимающихся над поверхностью лавины выступов подстилающего рельефа с сохранившейся древесно-кустарниковой растительностью. Относительные превышения вершин холмов и гряд над дном ложбин колеблются от нескольких до 10-15 м. Высота фронта обвальной лавины над подстилающей поверхностью - 3-5 м.



Рис. 7

Заметного абразивного воздействия на сами формы погребенного рельефа обвальная лавина не оказывала, но все деревья и кусты на пути ее прохождения были сломаны, часто вырваны с корнем и перемещены вместе с обломочным материалом, деревья у самого фронта - повалены.

Центр тяжести свалившегося блока, по очень грубой оценке автора, находился на абсолютной высоте (Н) ~2000 м, максимальная абсолютная высота бровки обвального цирка была 2200-2300 м, а высота северной и северо-западной стенок достигала 400-500 м. Расстояние (L) от

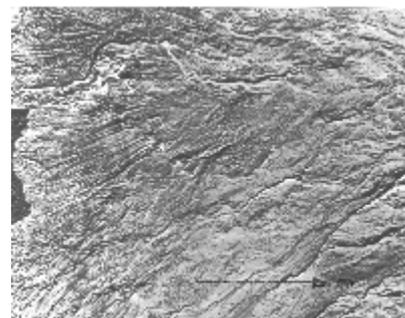
этого центра тяжести до края обломочной лавины на отметках 450-550 м равно 12-13 км. Соответственно $H/L \approx 0,12$.

Смещение и обвал южного блока, образование связанной с этим высокой и крутой стенки обвального цирка, подрезавшей расположенные выше экструзивные купола Центральный и Суелич, создали условия для реализации обвала еще одного блока пород постройки Молодого Шивелуча. Обвалу способствовал продолжавшийся подъем магмы с глубины и связанные с этим подъем и деформация вышележащих экструзивных куполов с нарушением их сплошности, как это наблюдалось Г.С.Горшковым (например, перед катастрофическим извержением вулкана Безымянный 30 марта 1956 г.).

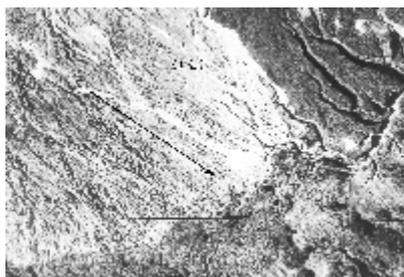
В итоге - обвал и стимулированный им сильный фреато-магматический взрыв, так как удаление молодых экструзивных куполов Центральный (возник в 1879-1883 гг., но действовал и позднее) и Суелич (1946-1950 гг.) обнажило их нагретые до высокой температуры корни и подводящий канал 1964 г. вулкана Молодой Шивелуч. О величине тепловой мощности вскрытых магматических пород в какой-то мере можно судить по суммарному выделению тепла в кратере Молодого Шивелуча, которое даже в 1966-68 гг. [9], т.е. через 2-4 года после извержения составляло 0,2 гкал/с ($0,836 \times 10^6$ кВт). Резкое снятие литостатического давления в сочетании с мгновенным выделением большого количества тепловой энергии из нагретых пород и послужило причиной взрыва. Реальность механизма подобного развития событий смоделирована экспериментальными исследованиями М.А.Алидибирова [27,28 и др.]. Сферичность стенок обвального цирка, сыгравшего роль своеобразной "вогнутой линзы", могла обеспечить концентрацию выделяющегося газа в ее "фокусе" и за счет кумулятивного эффекта привести к выбросу компактной массы обломочного материала на значительное расстояние. Из-за максимальной высоты и ориентировки возникших северо-западной и северной стенок цирка ось взрыва оказалась направленной на юго-юго-восток.

По мнению автора, именно обвал и субсинхронный ему взрыв сопровождался II сильным (К 11,7) землетрясением в 7 ч 13 мин 40 с [23] утра 12 ноября. Не исключено, что они и стали его причиной.

Комбинация обвала и взрыва привела к формированию на поверхности созданной ими обломочной лавины иного рисунка мезо- и микрорельефа, чем на ранее описанном фрагменте чисто обвальной лавины (см. [рис.6](#)). Это, прежде всего, протяженные (до 2-3 км), радиально расходящиеся от эруптивного центра узкие грядки, иногда сгруппированные в некое подобие пучков-вееров ([рис.8](#)). Почти везде эти грядки доходят прямо до фронтального края обломочной лавины. Широко представлены и ориентированные по нормали к общему направлению движения обломочного материала поперечные зоны разрыва. Местами они даже протяженнее, с большей амплитудой раздвига, чем на обвальной лавине. Контрастнее выглядят и сами мезо- и микроформы рельефа на поверхности лавины, в целом несколько больше (до 15-20 м) здесь относительные превышения вершин холмов и гряд над днищами западин.



[Рис. 8](#)



[Рис. 9](#)

Весь облик рельефа явно указывает на быстроту движения обломочной лавины, что вполне естественно. Во-первых, быстрее перемещался материал собственно обвала, так как свалившийся блок располагался на большей высоте (предполагаемая отметка центра тяжести блока - 2300-2400 м), и его движению вниз уже не препятствовали уничтоженные при формировании южного обвального цирка экструзивные купола. Во-вторых, часть материала, выброшенная взрывом, продолжала после падения с высокой скоростью по инерции катиться по земле, мало согласуясь с существовавшим рельефом, который был уже частично сnivelирован

отложениями предшествовавшего обвала. При падении на землю большой компактной массы взрывных отложений динамический удар был настолько силен, что привел, вероятно, к возникновению в подстилающих первично обводненных и еще более разжиженных в результате этого удара грунтах, которые, по-видимому, обладали тиксотропными свойствами, своеобразной подземной волны, местами даже вышедшей за границу обломочной лавины. Свидетельством этого служит полоса складок у фронта лавины в юго-восточном секторе (рис.9). Максимальное удаление края эксплозивно-обвальной лавины, находящегося на абсолютных отметках 450-600 м, от эруптивного центра - 14-15 км.

Сейчас более молодая, чем обвальная, перекрывающая последнюю, эксплозивно-обвальная грубообломочная лавина занимает, по сравнению с обломочной лавиной, намного большую площадь. Однако на самом деле они, вероятно, близки по своим размерам.

Возникший во время второго эпизода эксплозивно-обвальный кратер имеет форму круга диаметром 1,75 км и площадью 2,4 км². Его максимальная глубина в 1973 г. была 627 м, а в момент образования, вероятно, превышала 700 м. Существовавшая ранее на месте кратера выраженная в рельефе часть уничтоженной постройки Молодого Шивелуча была, по нашей оценке, объемом 0,7-0,8 км³. Площадь сдвоенного комбинированного (обвальный цирк + эксплозивно-обвальный кратер) "кратера" 1964 г. - 5,2 км². Суммарный объем удаленных оттуда пород - 1,5-1,8 км³. Вследствие разуплотнения объем материала образованной за их счет комбинированной обломочной лавины должен быть ~2 км³. При площади (оценка автора) 100 км², покрытой отложениями этой лавины, их средняя мощность - 20 м. Максимальная же мощность толщи достигала 100-200 м (см. рис.5).

Материал обломочной лавины изучался многими исследователями [4,10 и др.], включая автора статьи. Все согласны с тем, что подавляющая его часть, слагающая оба типа лавин, представлена породами разрушенных андезитовых экструзивных куполов и их агломератовых мантий. Присутствует и небольшая доля ювенильного вещества - пород взорванной лавовой пробки из подводящего канала вулкана.

Через несколько минут после второго обвала и фреато-магматического взрыва начался выброс уже бесспорно ювенильного материала. Его более дегазированная часть выпала в виде тефры (0,3 км³), менее дегазированная пошла на формирование пирокластических потоков объемом 0,3-0,5 км³, частично перекрывших обломочные лавины. В составе тефры и отложениях пирокластических потоков ювенильная компонента составляла не менее 70-80%. Ее вес ~0,9х10⁹ т. Массовый выброс ювенильной пирокластики с исключительно высокой интенсивностью (0,9х10⁹ т за 20 минут, т.е. 750 тыс. т/с) доказывает, во-первых, что был извергнут не только материал подводящих каналов экструзивных куполов, но и магма периферического очага, и, во-вторых, что фреато-магматические эксплозии сменились магматическими.

Следует отметить, что менее чем через год первичный рельеф поверхности обломочных лавин обоих типов уже претерпел заметные изменения. Это связано с тем, что обвальные и взрывные отложения первоначально содержали большое количество блоков и глыб смерзшихся пород и даже льда [4]. Летом 1965 г. вместо таких блоков и глыб на поверхности появились островерхие холмы разных размеров и высоты, а лед растаял. Однако в разрезах обломочных лавин подобные погребенные глыбы и блоки, оттаяв, сохранили текстурные и структурные особенности слагавших их пород. То же самое наблюдалось и при исследовании толщи обвально-взрывной обломочной лавины катастрофического извержения 1956 г. вулкана Безымянный. Следовательно, наличие подобных образований - вообще один из характерных признаков, позволяющих опознавать в разрезах более древние грубообломочные отложения обвального и обвально-взрывного генезиса. [30].

2.Была ли гигантской грубообломочная лавина 1854 г.?

По аналогии с 1964 г. допускается, что предыстория подготовки извержения 17-18 февраля 1854 г. началась после происшедшего в 1430 г. (~500 ¹⁴C л.н.) катастрофического извержения вулкана Молодой Шивелуч, с которым связано образование предшествующей, самой крупной в голоцене, грубообломочной лавины, а также выбрасывалась тефра и формировались пирокластические потоки [30].

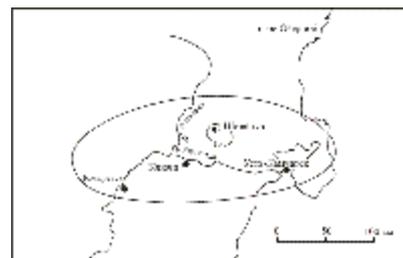


Рис. 10

За последующие ~200 лет в почвенно-пирокластическом чехле (ППЧ) зафиксированы следы только одного умеренного извержения ~400 ¹⁴C л.н. - андезитовая пемзовая тефра, следящаяся лишь в юго-восточном секторе подножия вулкана в долине р. Кабеку. Поэтому предполагается, что это извержение было преимущественно эксплозивным.

Около 1650 г. (265 ± 18 ¹⁴C л.н., AD 1641(1652)1663) произошло мощное извержение, маркированное индексом SH₁ [30]. Было выброшено большое количество ювенильной андезитовой пирокластике, частично отложенной в виде нормально стратифицированной во всех секторах вулкана пемзовой тефры объемом ~0,5-0,6 км³ (рис. 10), а также пошедшей на формирование самых протяженных (до 23 км от эруптивного центра) в голоцене пирокластических потоков.

В 200-летнем интервале между 1650 г. и первым документированным извержением Молодого Шивелуча 17-18 февраля 1854 г. было еще 2-3 слабых и умеренных извержения. Они запечатлены в разрезах подножия вулкана в виде маломощных горизонтов тефры, отложений небольших пирокластических потоков и пирокластических волн. Как показывает исторический опыт [15, 18 и др.], подобные следы связаны на вулкане Молодой Шивелуч с возникновением и ростом экстрезивных куполов. Точный возраст этих куполов и создавших их извержений пока никем не определен. Хотя начало одного из извержений можно условно датировать 1719 годом, так как С.П. Крашенинников при описании своего пути 2-14 января 1739 г. из Верхнего в Нижний Камчатский острог отмечал, что: "... остался вправо Шивелич... очень высокой камень и вострой, из самой ее верхушки дым идет... дым пошел из него лет за двадцать перед сим..." [12, с. 564]. Приведенная цитата позволяет также предположить, что вулкан Шивелуч проявлял повышенную активность (или слабо извергался) и в 1739 г.

В обзоре А.А. Меняйлова [18] (по публикациям А.Регеу, К.Саттер и В.С. Кулакова) указывается, что извержения Шивелуча происходили еще в 1790 г. - эксплозивное, и между 1790 и 1810 гг. - выбрасывались рыхлые продукты. В "Каталоге действующих вулканов Камчатки" В.И. Влодавца и Б.И. Пийпа извержения датируются 1793 г. и, со ссылкой на А. Гумбольдта, между 1790 и 1810 гг. Г.С. Горшков [4] считает все эти даты весьма сомнительными, тем более, что дата 1793 г., по его мнению, вообще ошибочная, так как А.Регеу в своей работе приводит дату 1790 г.

Извержение 1854 г. описано в двух публикациях [7, 11]. В более ранней из них [11] это описание сделано попутно, через 26 лет после извержения, в статье, посвященной Ключевскому вулкану. Там утверждается, что "Заречная сопка "Сивельч"... в 1855 г. так сильно горела, что половина ее разрушилась и своими громаднейшими камнями счистила весь лес у подножья, а река (Камчатка, примечание автора), сломавши лед, пошла" [11, с. 110]. Это описание явно сделано со слов очевидцев, так как Г.С. Горшков [4] отметил ошибочность приведенной даты: 1855, а не 1854.

В [7] К. Дитмар, бывший в 1851-1854 гг. на Камчатке, и тоже, по сообщению очевидцев, писал: "В ночь с 17 на 18 февраля 1854 г. вершина самого северного вулкана полуострова Шивелуча... ввалилась со страшным грохотом, и ... началось сильное извержение этого вулкана ... Шивелуч, который на памяти человека никогда еще не имел извержения и разве только немного дымился, теперь вошел в полную силу. Еще до этой катастрофы, в октябре и декабре 1853 г. Шивелуч сильнее курился на своей северной стороне, а теперь со всех сторон текли книзу потоки лавы, доходившие почти до р. Еловки. Вулканический песок и пепел падали в таком значительном количестве, что у лежащей напротив деревни Ключей снег был покрыт ими на целый фут, а дождь тонкого пепла наблюдался даже в Тигиле" [7, с. 572].

Г.С. Горшков [4] обратил внимание на две неточности в последней публикации: о явном преувеличении мощности выпавшей в Ключах тефры (1 фут) и лавовых потоках, которых не было.

По его мнению, первичная мощность тефры не превышала там 10-15 см, поскольку он считал, что в почвенном разрезе современного г.Ключи этот пепел в спрессованном виде имеет мощность всего 4-5 см. Более того, сейчас однозначно установлено, что упомянутый Г.С.Горшковым верхний четкий пепловый горизонт в ППЧ здесь вообще не связан с извержением 1854 г., а является более древним - SH₁ [30], отложенным около 1650 г. Пепла же 1854 г. в Ключах вообще не найдено, несмотря на тщательность проведенных поисков. Не обнаружен он и на левом берегу р.Камчатка против г.Ключи.

Из этого следует, что пеплопад в описываемом районе был намного слабее даже того, который допускал Г.С.Горшков. По-видимому, в работе К.Дитмара допущена опечатка. Не исключено, что там вместо 1" (одного дюйма) ошибочно было напечатано 1' (т.е. 1 фут). Справедливость такого предположения подтверждается еще и тем, что в книге А.А.Меняйлова [18], по данным О.Негз, указывается, что при извержении 1854 г. пепел был разнесен широкой полосой на 400 верст, а в Ключах он лег слоем толщиной в 3 см. Последняя цифра нам представляется вполне реальной, если учесть, что зимой на снегу обычно измеряется не истинная мощность тефры, а толщина загрязненного ею верхнего слоя снега. Понятно тогда, почему тефра 1854 г. отсутствует в районе г.Ключи на обоих берегах р.Камчатка: она, вероятно, имела слишком малую (<1 см) настоящую первичную мощность, чтобы после таяния снега образовать самостоятельную прослой в почвенно-пирокластическом чехле.

Однако тефра большой мощности и крупности (грубозернистый пемзовый песок с разноразмерным гравием) извержения 1854 г. обнаружена автором на противоположных, (северных) склоне и подножии вулканического массива Шивелуч. Так, на поверхности концевой части современного ледника в долине ручья 2-ой Ледниковый (11 км к ССВ от эруптивного центра) мощность тефры равна 30-40 см. Это примерно соответствует мощности тефры ноябрьского извержения 1964 г. вулкана Шивелуч по оси пеплопада на таком же расстоянии. Ниже по течению ручья 2-ой Ледниковый в северном и северо-восточном направлениях мощность и крупность тефры постепенно падают.

Основываясь на полученных данных и исторических свидетельствах (факт выпадения тефры в с.Тигиль, примерно 200 км к северо-западу от вулкана Молодой Шивелуч), можно заключить, что зона пеплопада извержения 1854 г. имела в плане сложную конфигурацию. Главная ее ось, маркированная выпадением грубой тефры, была ориентирована на северо-восток, а более тонкая тефра сносилась на северо-запад (в сторону с.Тигиль) и на юго-запад в район г.Ключи. Общий объем тефры извержения 1854 г. был, вероятно, в первом приближении сопоставим с таковым тефры извержения 1964 г. (0,3 км³) или несколько превышал его.

На этом аналогия между извержениями 1854 и 1964 гг., по-видимому, кончается. Во-первых, проведенными исследованиями [30] не обнаружено якобы возникшей тогда громадной обломочной лавины, которую предполагал Г.С.Горшков, принимая во внимание "катастрофический" характер описаний извержения 1854 г. в цитированных выше публикациях. Что касается фрагментов обломочной лавины за внешним краем обломочной лавины 1964 г., то она - более старая, и возникла, по данным тефрохронологического датирования, около 1430 г. Не найдено и больших пирокластических потоков соответствующего возраста. Под вопросом остается и образование двухкилометрового [4] кратера в ходе извержения 1854 г., если нет ассоциирующейся с ним громадной обломочной лавины.

Поэтому следует скорректировать и представление о типе и масштабе извержения 1854 г., которое по Г.С.Горшкову [4, с.31]: "... было более мощным, чем извержение 1964 г., и было сопоставимо с извержением вулкана Безымянного в 1956 г. или, быть может, превосходило его". По полученным данным, главный продукт извержения 1854 г. - ювенильная пемзовая тефра андезитового состава. Ее объем, вероятно, был заключен в интервале 0,3-0,5 км³, если судить по измеренным мощностям и площади зоны пеплопада. Возможно, что начальный этап извержения сопровождался частичным разрушением привершинной части ("... вершина... ввалилась...", "... половина ее разрушилась...", см. выше) и образованием сравнительно небольших по объему обломочных лавин, в том числе и раскаленных, по классификации Г.С.Горшкова. Нельзя исключать и возникновения пирокластических потоков, но далеко не выходящих за пределы привершинной части вулкана.

Таким образом, вопрос о масштабе извержения 1854 г. решается относительно просто: по своим параметрам оно явно слабее извержения 1964 г. Только объем его тефры равен или несколько превышает таковой 1964 г., объем же пород обломочной лавины и пирокластических потоков намного меньше. Как была разрушена (субвертикальный или направленный взрывы, обвал) извержением 1854 г. вершинная часть Молодого Шивелуча, остается до сих пор неясным, так как "провал вершины" можно связать как с направленным или субвертикальным взрывами, так и с обвалом.

3. Гигантская обломочная лавина ~1430 г. и ее предистория

"Отсчет времени" для подготовки условий образования обломочной лавины ~1430 г. начался с 970 г., когда отложилась предшествующая обломочная лавина - одна из самых обширных (>100 км²) и большеобъемных (~2 км³) в голоцене [30]. Породы последней имеют характерный красновато-розовый цвет, выделяющий ее среди других подобных образований подножия вулкана Молодой Шивелуч.

Первое зафиксированное в разрезах извержение рассматриваемого интервала имело место через несколько десятков лет после названного события. Оно было умеренным. Следы его в верхней части склонов южного сектора подножия вулкана представлены маломощным пирокластическим потоком, а на большем удалении от эруптивного центра - тонкими, с небольшой примесью пемзового гравия и обломков пород, отложениями пирокластических волн (pyroclastic surges).

Подобные следы, вероятнее всего, свидетельствуют об активности, связанной с ростом крупного экструзивного купола, например, типа купола 1993-94 гг. [по 26].



Рис. 11

Крупнейшим же является более позднее катастрофическое извержение Молодого Шивелуча, маркированное индексом SH₂ [30], происшедшее ~1030 г. Во всех секторах подножия вулкана последними отложены мощные пачки нормально стратифицированной андезитовой тефры. Оси пеплопада были направлены на юг и на север (рис. 11). Но пепел выпадал на значительном удалении и вокруг всего вулкана. Объем тефры оценен в 5-6 км³. В ее составе доминирует (80-90% объема) ювенильный материал общим весом 6,5 ÷ 7x10⁹ т. В разрезах по долинам сухих рек Байдарной и Каменской в верхние части пачек тефры вклиниваются отложения мощного пирокластического потока. В заключительную посткульминационную фазу извержения SH₂ сформировался очень крупный экструзивный купол, остатки которого были названы [4] Четвертой вершиной. Судя по сохранившимся фрагментам, объем купола, вероятно, превышал 1 км³.

Для последующего, примерно 400-летнего временного интервала, следов извержений Молодого Шивелуча не обнаружено. Не исключено даже, что они вообще отсутствовали, поскольку в ходе извержения SH₂ было вынесено, по очень грубой оценке автора, более 10x10⁹ т ювенильных продуктов: тефра, отложения пирокластических потоков, лава купола. Обычно после извержений такой силы практически почти на всех вулканах наступает период покоя длительностью в сотни лет.

Происшедшее после этого периода покоя катастрофическое извержение ~1430 г. привело к возникновению последней из доисторических и самой большеобъемной обломочной лавины. Ее отложения встречены на расстоянии до 20 км от эруптивного центра. Они обнаружены и изучены в долинах сухих рек Байдарная, Каменская и Кабеку. Максимальные мощности ее отложений отмечены в юго-западном секторе подножия вулкана. Из-за своей молодости, малой мощности облегающего почвенно-пирокластического чехла и сохранности первичного мезо- и даже микрорельефа поверхности обломочная лавина прекрасно дешифрируется на аэрофотоснимках и распознается при наземных полевых исследованиях.

Для фрагментов обломочной лавины 1430 г., находящихся за фронтом обломочной лавины 1964 г., характерен холмисто-западинный рельеф с относительными превышениями от 2 до 10 м. Мощность почвенно-пирокластического чехла на вершинах холмов не превышает 20 см, на днищах западин она возрастает за счет дождевого смыва тонкого материала со склонов холмов и эоловой аккумуляции до 100-150 см.

Общий цвет отложений обломочной лавины серый и серовато-розовый, встречаются пятна темно-серого цвета. Грубообломочный материал остроугольный или обитый, представленный всеми разновидностями андезитов, которые участвуют в строении экструзивных куполов Молодого Шивелуча. Заполнитель пылеватый разнородный песок зеленоватого, серого, красного и коричневого цветов.

В целом ни рельеф, ни отложения обломочной лавины 1430 г. практически не отличаются от таковых обломочной лавины 1964 г. Поэтому допускается, что сходным был и ее генезис, несмотря на то, что по площади ($\sim 200 \text{ км}^2$) и объему пород ($>3 \text{ км}^3$) она в 1,5-2 раза больше, обломочной лавины 1964 г. Разница, по-видимому, объясняется большим объемом разрушенной постройки Молодого Шивелуча - огромного купола (или куполов?), возникшего на финальной стадии предшествующего катастрофического извержения $\text{SH}_2 \sim 1030 \text{ г.}$

Феноменологически же извержения 1430 и 1964 гг. не являются полными аналогами. Наиболее существенное их отличие - разница в распространении, объемах и облике тефры: выпадение тефры 1964 г. объемом $0,3 \text{ км}^3$ происходило только в узком ЮВ секторе [4, 20 и др.] в направлении п. Усть-Камчатск - о. Беринга, а значительно меньшая по объему тефра 1430 г. присутствует в разрезах ППЧ не только ЮВ сектора (долина р. Кабеку), но и западного (долины р. Карина и руч. Мутный). В виде линз тонкая тефра извержения 1430 г. с единичными пемзовидными лапили встречается в разрезах ППЧ г. Ключи (к ЮЗ от эруптивного центра) и ниже по течению, в долине р. Камчатка. Возможно, это объясняется длительной посткульминационной фазой активности извержения 1430 г., которой в 1964 г. не было. Пирокластические потоки обоих извержений имеют примерно одинаковые ареалы распространения (весь южный сектор подножия вулкана) и, вероятно, сходные объемы.

4. Общие предпосылки, условия и детерминированность

возникновения гигантских обломочных лавин на вулкане Шивелуч

По мнению автора, катастрофизм извержений вулкана Шивелуч, одним из элементов которых являются частые гигантские грубообломочные лавины [30], обусловлены благоприятным для них сочетанием региональных и собственно вулканических факторов.

Главным региональным фактором служит, прежде всего, геолого-структурное положение Шивелучского вулканического массива, входящего вместе с другими вулканами в состав крупнейшей на Камчатке Северной группы вулканов, которая приурочена к исключительно динамичной северной части Центральной Камчатской депрессии в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Благодаря интенсивно протекающим глубинным процессам в этой зоне и повышенному выделению тепла, расположенная здесь Северная группа вулканов по суммарной энергетике своих эруптивных центров - типичное "горячее пятно" (hot spot), аналог гавайских или реюньонских "горячих пятен" [14]. Причем, свыше 80% вещества и выделяемой энергии на протяжении последних 45-50 тыс. лет выносилось тремя вулканами - "гигантами" (щитовой вулкан Плоских сопок, Ключевская сопка, Шивелуч), продуктивность которых примерно на порядок величины больше таковых у "нормальных" вулканов [21].

Определяющими вулканическими факторами, прямо или косвенно способствующими возникновению гигантских грубообломочных лавин, служат следующие: 1) местоположение Молодого Шивелуча, 2) конкретные особенности истории его эруптивной активности в голоцене, 3) физические свойства и состав извергаемой магмы, 4) характерная последовательность различных типов извержений в периоды, предшествующие образованию таких лавин.

Начиная с А.А.Меняйлова [18], все исследователи признают, что действующий вулкан Молодой Шивелуч расположен в крупной кальдере. Ориентировочно определен [15] и возраст кальдеры - около 30 тыс. лет. Сравнительно недавнее возникновение кальдеры, в свою очередь, подразумевает наличие под ней на глубине нескольких километров, как у всех подобных молодых форм, большого объема (минимум сотни км^3) активного магматического очага. Преобладание среди изверженных пород андезитов, а среди извержений - эксплозивных и экструзивных, является свидетельством того, что андезитовая магма существует, по крайней мере, в двух разновидностях:

богатой летучими, потенциально "взрывчатой", и дегазированной, очень вязкой. Связанные с первой разновидностью магматические и фреато-магматические эксплозии обеспечивали массовый выброс тефры и формирование пирокластических потоков. Выдавливание на поверхность дегазированной вязкой пластичной магмы приводило к образованию экструзивных куполов.

В период подготовки извержений с образованием гигантских обломочных лавин названные типы эруптивной активности повторялись (или чередовались), закономерно сменяя друг друга. Именно выявленная закономерность эволюции эруптивной активности Молодого Шивелуча во времени - едва ли не главная видимая предпосылка для возникновения гигантских обломочных лавин. Эта закономерность достаточно проста, хотя и проявлялась в течение рассматриваемого временного интервала в двух вариантах эруптивной предыстории формирования обломочных лавин, но с одинаковым финалом (рис.12). Несмотря на различия, каждый вариант завершался в итоге перекрытием подводящего канала вулкана и всей площади дна существовавшего кратера очень крупной экструзией или группой из слившихся между собой экструзивных куполов.

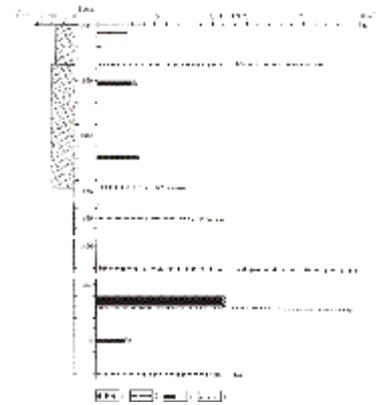


Рис. 12

Первый вариант проиллюстрирован выше на примере предыстории обломочной лавины 1964 г. (см. раздел 1). Многоцентровый экструзивный массив (или экструзивный вулкан) на дне кратера 1650 г. был создан за два эпизода экструзивной деятельности в 1879-1883 и 1944-1950 гг. Магматические эксплозии в течение 110 лет, предварявшие извержение 1964 г., отсутствовали, умеренные и слабые фреато-магматические извержения, возможно происходили в 1883 и 1898 гг., наиболее часто из эксплозий случались фреатические. Подобной силы извержения и сопровождавшие их взрывы практически почти не разрушали заполнившие кратер Молодого Шивелуча экструзивные купола. Последние же 14 лет перед извержением 12 ноября 1964 г. эруптивная активность вулкана вообще отсутствовала.

По второму варианту проходила подготовка образования обломочных лавин 1430 и 1854 гг. (см. разделы 2 и 3). Отличительная особенность этого варианта - мощные до катастрофических эксплозивные извержения ~1030 (SH₂) и ~1650 (SH₁) гг., в ходе которых происходили массовые выбросы газонасыщенной пирокластике преимущественно в виде ювенильной тефры и материала для формирования обширных пирокластических потоков, но не возникали большеобъемные обломочные лавины. В результате таких извержений на глубине оставались громадные объемы дегазированной вязкой андезитовой магмы, часть которой под действием процессов релаксации и преобладающего в зоне субдукции общего сжатия через некоторое время выдавливалась на поверхность в виде экструзий. Чем мощнее было эксплозивное извержение и значительнее масса выброшенной ювенильной пирокластике, тем быстрее начинался рост купола (куполов) и больше был его (их) объем. Это можно прекрасно проиллюстрировать при сравнении самого сильного в XX в извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г и менее мощного извержения 12 ноября 1964 г. вулкана Шивелуч. В первом случае купол стал расти непосредственно вслед за взрывом, а его объем через несколько лет достиг 0,3-0,4 км³, во втором - лишь через 16 лет, а его объем не превысил 0,02 км³.

Поэтому сразу после извержения 1030 г., возможно, даже в его посткульминационную стадию, околожерловая часть вулкана Молодой Шивелуч была погребена выросшим над ней громадным (>1 км³) экструзивным куполом - Четвертой вершиной. Затем наступил 400-летний период почти полного (или полного) покоя, поскольку следов извержений этого времени не было обнаружено. Так как купол Четвертая вершина, по-видимому, был одним из самых крупных в истории Молодого Шивелуча, то и образованная за счет его разрушения гигантская обломочная лавина ~1430 г. по объему (>3 км³) и площади распространения (>200 км²) оказалась самой большой за все 10 тыс. лет.

Формирование экструзивных куполов после более слабого извержения 1650 г. проходило в несколько этапов. Не исключено, что последние экструзивные извержения, предварявшие

относительно скромную по размерам обломочную лавину 1854 г., имели место в первой половине XVIII в. (см. раздел 2).

Основываясь на приведенных материалах, мы полагаем, что механизм разрушения экструзивных куполов и возникновения обломочных лавин во всех трех рассмотренных случаях был в принципе сходен с таковым во время катастрофического извержения 12 ноября 1964 г. Поэтому последнее и было взято в качестве базовой модели.

Эруптивная активность Молодого Шивелуча после 1964 г. (до 1994 г., 30 лет) почти в точности повторяет то, что произошло там в 1854-1883 гг. (29 лет) см. [рис.12](#). Сохранилась, в принципе, и прежняя продуктивность: $16 \div 17 \times 10^6$ т/год ювенильного материала - в интервале 1855-1964 гг. и $20 \div 21 \times 10^6$ т/год - в интервале 1965-1994 гг. При такой продуктивности подготовка следующего катастрофического извержения с образованием обломочной лавины типа 1964 г. и с весом ювенильного материала $1 \div 1,5 \times 10^9$ т, включая экструзивные формы, должна занять 50-90 лет.

Выражаю искреннюю благодарность моим коллегам и соавторам по предыдущей публикации В.В.Пономаревой и М.М.Певзнер за обсуждение и ценные советы при подготовке этой статьи к изданию.

Настоящая статья подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 00-05-64299 а, грант 05-15-98611 л).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Зыков Ю.Н., Иванов Б.А. Численное моделирование лавинообразного обрушения вулкана Корякский // Вулканология и сейсмология. 1995. N 6. С. 82-93.
- Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Извержение вулкана Шивелуч в 1964 г. (Камчатка) - плинианское извержение, предварявшееся крупномасштабным обрушением постройки // Вулканология и сейсмология. 1995. N 4-5. С. 116-126.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. N 2. С. 2-31
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3-37.
- Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. N2. С. 104-109.
- Державин А.Н. Работы в Ключевском районе и экскурсия на Чажму // Камчатская экспедиция Ф.П.Рябушинского. Зоологический отдел. М., 1916. Вып. 1. С. 279-309.
- Дитмар К. Поездки и пребывание в Камчатке в 1851-1855 гг. Часть. 1. СПб, 1901. 756 с.
- Добрынин Н.Ф. Аналитико-фотограмметрический метод количественной оценки экструзивных процессов // Вулканология и сейсмология. 1991. N.2. С. 92-109.
- Кирсанова Т.П., Рожков А.М. Тепловой поток в кратере Новом вулкана Шивелуч // Бюл. вулканол. станций. 1975. N 51. С. 60-63.
- Краевая Т.С. Генетические типы грубообломочных отложений стратовулканов. М.: Недра, 1977. 126 с.
- Крахмалев Иаков. Камчатский вулкан - Ключевская огнедышащая сопка // Иркутские Епархиальные Ведомости, Прибавления. 1880. N 9. С. 109-112.
- Крашенинников С.П. Описание Земли Камчатки. 4-е изд. М.-Л., 1949. 841 с.
- Мелекесцев И.В. Типы и возраст действующих вулканов Курило-Камчатской зоны // Бюл. вулканол. станций. 1973. N 49. С. 10-17.
- Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
- Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А., Кирсанова Т.П., Масуренков Ю.П. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
- Мелекесцев И.В., Егорова И.А., Лупкина Е.Г. Внутренний хребет Курильской дуги // Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. С. 265-326.
- Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Вольнец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) - будущий Сент-Хеленс // Вулканология и сейсмология. 1992. N 4. С. 3-32.
- Меняйлов А.А. Вулкан Шивелуч - его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. Вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.

- *Новограбленов П.Т.* Каталог вулканов Камчатки // Изв. Гос. Геогр. об-ва. 1932. Т. 64. Вып. 1. С. 88-99.
- *Пийп Б.И., Мархинин Е.К.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (предварительное сообщение) // Бюл. вулканол. станций. 1965. N 39. С. 3-28.
- *Поляк Б.Г., Мелекестев И.В.* Продуктивность вулканических аппаратов // Вулканология и сейсмология. 1981. N 5. С. 22-37.
- *Слюнин Н.В.* Охотско-Камчатский край. СПб, 1900. Т. 1. 253 с.
- *Токарев П.И.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. и его предвестники // Физика Земли. 1967. N 9. С. 84-92.
- *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки // М.: Наука, 1981. 164 с.
- *Фирстов П.П.* Реконструкция динамики катастрофического извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. на основании данных о волновых возмущениях в атмосфере и вулканическом дрожании // Вулканология и сейсмология. 1996. N 4. С. 48-63.
- *Хубуня С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я. Д. и др.* Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. N 1. С. 3-19.
- *Alidibirov M.A.* A model for viscous magma fragmentation during volcanic blasts // Bull. Volcanol. 1994. V. 56. P. 459-465.
- *Alidibirov M.A., Dingwell D.B.* Fragmentation of highly viscons magma caused by explosive decompression of lava domes: an experimental approach // Showa-Shinzan Intern. Volcanol. Workshop Abstr., Japan. 1995. P.1-7.
- *Belousov A.B.* The Shiveluch volcanic eruption of 12 November 1964 - explosive eruption provoked by failure of the edifice // J. Vol. Geoth. Res. 1995. V. 55. N 1-4. P. 357-365.
- *Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestev I.V.* Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Bull. Volcanol. 1998. V. 59. P. 490-505.

Latest giant explosive-debris avalanches of the catastrophic Sheveluch volcano eruptions in Kamchatka: determinancy and possible causes.

Melekestev I.V.

In Memory of G.S.Gorshkov

Director of the Institute of Volcanology (1966-1970)

who was the first to study such formations in Kamchatka in 1956

Based on detailed volcanological and tephrochronological investigations, parameters of catastrophic eruptions of the Molodoy Shiveluch volcano accompanied by formation of the giant debris avalanches in 1430, 1854, and 1964 have been evaluated and pre-history of their preparation has been reconstructed. Considerable attention has been given to the description of the 1964 explosive-collapse debris avalanche and a new mechanism of its formation is suggested. It is shown that similar mechanism was typical of the other two debris avalanches. Appearance of the giant debris avalanches was predetermined by various forms of andesite magma existence and by regularities of eruptive activity of the volcano in Holocene. Power and geologic-geomorphological effect of the 1854 eruption as well as size and volume of the associated debris avalanches have been revised and estimated as decreasing. Based upon productivity of the Molodoy Shiveluch volcano in XIX-XX centuries the next eruption of the 1964 type is supposed to happen in 60-90 years.