

УДК 551.21

© 1995 г. БЕЛОУСОВ А. Б., БЕЛОУСОВА М. Г.

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ В 1964 г.  
(КАМЧАТКА)— ПЛИНИАНСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ,  
ПРЕДВАРЯВШЕЕСЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМ ОБРУШЕНИЕМ ПОСТРОЙКИ<sup>1</sup>

На основе повторного изучения отложений и синтеза опубликованных данных предложена новая интерпретация последовательности событий сильного эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. Последовательность событий включала: обрушение части вулканической постройки объемом 1,154 км<sup>3</sup> в 7 ч 07 мин, относительно слабую фреатическую эксплозию с выбросом 0,01 км<sup>3</sup> резургентного пепла, сильную плинианскую активность с выбросом 0,3 км<sup>3</sup> ювенильной тefры с 7 ч 20 мин до 7 ч 47 мин, извержение пирокластических потоков объемом 0,3—0,5 км<sup>3</sup> с 7 ч 47 мин до 8 ч 22 мин. В ходе этого извержения не было катастрофического направленного взрыва, сходного с событиями на вулканах Безымянный в 1956 г. и Сент-Хеленс в 1980 г.

PLINIAN ERUPTION OF SHIVELUCH VOLCANO IN 1964 (KAMCHATKA) PRECEDED BY A LARGE-SCALE FAILURE OF EDIFICE, by B e l o u s o v A. B. and B e l o u s o v a M. G. A new interpretation, based on restudying deposits and on synthesis of published data, is proposed for a succession of events during the great explosive eruption of Shiveluch volcano on November 12, 1964. The succession of events included the failure of volcanic edifice 1,154 km<sup>3</sup> in volume at 07 : 07 AM, a relatively small phreatic explosion and ejection of 0.01 km<sup>3</sup> of resurgent ash, the violent plinian activity with ejection of 0.3 km<sup>3</sup> of juvenile tephra from 07 : 20 AM to 07 : 47 AM, and the eruption of pyroclastic flows 0.3—0.5 km<sup>3</sup> in volume from 07 : 47 AM to 08 : 22 AM. The catastrophic directed blast similar to those at Bezymianny in 1956 and Mount St. Helens in 1980 did not take place during this eruption.

(Received September 8, 1994)

*Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatski', 6S3006, Russia*

Вулкан Шивелуч — один из самых активных вулканов Камчатки. По данным И. В. Мелекссцева [13], его продуктивность составляет 36·10<sup>6</sup> т/год, что во много раз превышает среднюю продуктивность вулканических аппаратов. Извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. по объему выброшенной ювенильной пирокластики (0,8 км<sup>3</sup>) относится к сильнейшим историческим эксплозивным извержениям Камчатки, и интерес к нему не ослабевает. Это извержение было кратковременным и пришлось на темное время суток, поэтому основные выводы о его характере ранее сделаны на основе изучения отложений, сейсмограмм и барограмм [1, 6, 19].

Определяющим фактором в интерпретации последовательности событий этого извержения была идентификация среди его отложений так называемого «агломерата направленного взрыва» — грубообломочных резургентных отложений большой мощности с характерным холмистым рельефом поверхности, которые образовали у южного подножия вулкана покров площадью 98 км<sup>2</sup>. Этот тип отложений впервые выделен в работах Г. С. Горшкова и Г. Е. Богоявленской [5], изучивших

<sup>1</sup>Статья полемична, недостаточно аргументирована, печатается в дискуссионном порядке (примечание научного редактора).

последствия катастрофического извержения вулкана Безымянный 30.03.1956 г. В этих работах предполагалось, что в результате сильного вулканического взрыва может происходить направленный выброс материала старой постройки вулкана, объемом до нескольких кубических километров, который по баллистическим траекториям перебрасывается на расстояния, превышающие 10 км. Вместе с «агломератом направленного взрыва» на вулкане Безымянном описаны отложения «песка направленного взрыва» — относительно мелкозернистые и преимущественно ювенильные пирокластические отложения, распределенные тонким слоем вокруг «агломерата» на площади ~ 500 км<sup>2</sup>. Область распространения отложений «песка» совпадала с областью поваленного леса — наиболее впечатляющего последствия извержения. Эти отложения были интерпретированы как отложения «палящей тучи», которая образовалась во время направленного взрыва.

Несмотря на то что эквивалент «песка направленного взрыва» среди отложений извержения вулкана Шивелуч 12.11.1964 г. не найден, оно было отнесено Г. С. Горшковым и Ю. М. Дубиком [6] к тому же типу, что и извержение вулкана Безымянный 30.03.1956 г. — «направленный взрыв».

Взрывной генезис, предложенный Г. С. Горшковым для отложений «агломерата направленного взрыва», не мог объяснить ряд фактов. Так, В. В. Адушкин, Ю. А. Гостинцев и П. П. Фирстов [1] показали, что зарегистрированные в ходе извержений вулканов Безымянный и Шивелуч воздушные волны не могут быть отождествлены со взрывами «на выброс» необходимого масштаба. Не находил удовлетворительного решения и вопрос об источнике энергии для такой мощной эксплозии, что послужило поводом для предложения различных нетрадиционных механизмов этого извержения [7, 11]. После извержения вулкана Сент-Хеленс 18.05.1980 г. [24], последовательность событий которого документально зафиксирована видео-, фото- и киносъемкой, стала понятной возможность перемещения «агломерата направленного взрыва» не взрывом, а в виде обломочной лавины, которая образуется в результате крупномасштабного обрушения-оползня части вулканической постройки [22, 23]. Направленный взрыв, последовавший на вулкане Сент-Хеленс за обрушением и оставивший отложения, сходные с «песком направленного взрыва» вулкана Безымянный, явился результатом декомпрессии криптокупола — небольшой интрузии магматического расплава, внедрившегося в постройку вулкана в докульминационную стадию извержения. Повторное изучение отложений извержения вулкана Безымянный [2, 20, 21] подтвердило обвальную генезис для отложений «агломерата направленного взрыва» и взрывной генезис для «песка направленного взрыва». Данные, полученные после извержения вулкана Сент-Хеленс 18.05.1980 г. и повторного изучения отложений извержения вулкана Безымянный 30.03.1956 г., позволили по-новому подойти к интерпретации событий извержения вулкана Шивелуч 12.11.1964 г.

Предлагаемая работа представляет синтез данных, опубликованных по этому извержению, дополненный результатами повторного изучения отложений. Цель работы — восстановление последовательности и характера событий извержения 12.11.1964 г., а также выяснение влияния обрушения постройки на характер и интенсивность извержения.

Вулканическая постройка и краткая история активности вулкана до 1964 г. Постройка вулкана Шивелуч состоит из двух частей: Старого Шивелуча и Молодого Шивелуча. Старый Шивелуч (Главная вершина, высота 3335 м) представляет собой остатки гигантского стратовулкана, сложенного преимущественно лавовыми потоками андезитобазальтового и андезитового состава [13, 14]. Вершина и южная часть постройки Старого Шивелуча разрушены обвалом, объем которого превышал 10 км<sup>3</sup>. По данным И. В. Мелекесцева и соавт. [12], возраст отложений этого события составляет ~ 30 тыс. лет. После обрушения в образовавшемся подковообразном кратере диаметром 7 км, открытом на юг, началось формирование постройки Молодого Шивелуча (Кратерная вершина, высота 2763 м). Формирование Молодого Шивелуча сопровождалось сильными эксплозивными извержениями, которых известно более 60 за последние 10 000 лет [4, 13].

Однако наиболее характерным проявлением вулканической активности на последнем этапе истории вулкана Шивелуч было формирование куполов. Почти вся постройка Молодого Шивелуча состоит из куполов и коротких лавовых потоков андезитового состава.

В 1854 г. произошло сильное эксплозивное извержение Молодого Шивелуча, в ходе которого образовался подковообразный открытый на юг кратер диаметром 1,5 км. За последующие 100 лет в кратере выросло несколько экструзивных куполов. Они полностью заполнили кратер 1854 г. Последний купол объемом 0,9 км<sup>3</sup> образовался в 1946—1949 гг. [14]. Слабая эксплозивная активность продолжалась на нем до 1950 г. После этого до 1964 г. купол Молодого Шивелуча проявлял только фумарольную деятельность.

Подготовка и ход извержения по данным визуальных наблюдений и записям сейсмических и воздушных волн. *Подготовка.* Извержению предшествовала длительная сейсмическая подготовка [19]. Первое землетрясение под вулканом зарегистрировано 24.01.1964 г. После роя землетрясений, отмеченного в начале мая, наступил спад сейсмической активности. Новое постепенное нарастание частоты землетрясений началось после относительно сильного землетрясения 25.07.1964 г. Быстрое увеличение частоты и энергии землетрясений началось в октябре. За 7 ч до извержения землетрясения происходили так часто, что запись их сливалась и становилась неразборчивой. Некоторые землетрясения ощущались в пос. Ключи (50 км) и Козыревск (80 км) силой в 3—4 балла. Наиболее сильные землетрясения произошли в 7 ч 07 мин и в 7 ч 13 мин по местному времени. После землетрясения в 7 ч 07 мин началось извержение. Интенсивная сейсмическая активность в период подготовки извержения не отразилась на состоянии вулкана, который находился в состоянии слабой фумарольной деятельности. Не имеется свидетельств того, что пароксизмальному извержению 12 ноября предшествовали сильные деформации постройки или какая-либо продолжительная эксплозивная активность, как это имело место на вулканах Безымянный и Сент-Хеленс. Сотрудник Камчатской Вулканологической станции А. Е. Святловский 11.7.1964 г. поднимался на купола Молодого Шивелуча и отметил, что вулкан «продолжал находиться в спокойном состоянии. ... изменений в режиме газовых извержений (имеется в виду фумарольная деятельность) не произошло, несмотря на сейсмическую активность» [17].

*Извержение.* Извержение 12 ноября было коротким, внезапным и произошло в темное время суток, поэтому о нем имеются свидетельства только случайных очевидцев. Анализ сообщений, приведенных в работе Б. И. Пийпа и Е. К. Мархинина [17], вместе с результатами изучения сейсмического режима и воздушных волн извержения [1, 6, 18, 19] позволяет сделать следующие выводы о ходе извержения (время указано местное):

- 1) до 7 ч 07 мин признаков извержения не наблюдалось;
- 2) извержение началось сразу после землетрясения в 7 ч 07 мин; в этот момент начали регистрироваться слабые воздушные волны (рис. 1); визуальные данные также свидетельствуют об относительно слабой, постепенно усиливающейся эксплозивной активности в первые моменты извержения; отсутствие сообщений о раскаленных выбросах на начальном этапе извержения позволяет предположить, что первые эксплозии носили фреатический характер;
- 3) в 7 ч 20 мин стало регистрироваться вулканическое дрожание и произошло резкое увеличение энергии воздушных волн; приблизительно в это время были замечены первые выбросы раскаленного материала; вероятно, этот момент соответствует прорыву ювенильного материала на поверхность и переходу эксплозивной активности от фреатической к магматической;
- 4) движение по склонам раскаленного материала (пирокластическис потоки) наблюдалось на заключительной стадии извержения; времени формирования пирокластических потоков, вероятно, соответствует резкое увеличение энергии вулканического дрожания и максимальные энергии воздушных волн, зарегист-

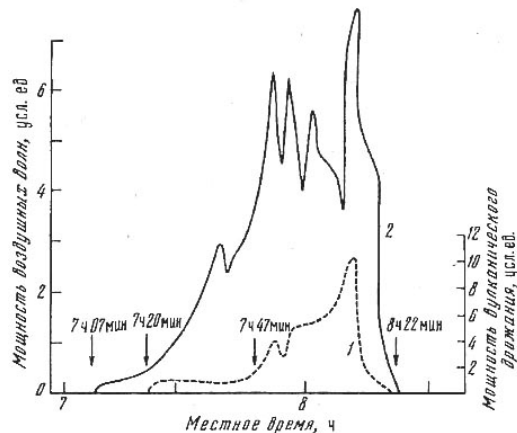


Рис. 1. Распределение во времени энергий вулканического дрожания (1) и воздушных волн (2), сопровождавших извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (по П. И. Токареву [19])

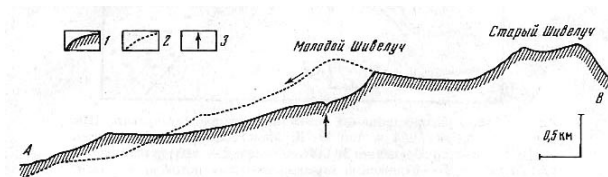


Рис. 2. Изменение профиля вулкана (линия А—В на рис. 8) в результате извержения 12 ноября 1964 г.; 1 — профиль после извержения; 2 — профиль до извержения; 3 - положение жерла 12.11.1964 г. Наклонная стрелка — направление обрушения

рированными с 7 ч 47 мин до 8 ч 17 мин; максимальная высота эруптивной колонны составила ~ 15 км;

5) извержение закончилось быстрым спадом интенсивности вулканического дрожания и воздушных волн; момент прекращения извержения можно определить в 8 ч 22 мин, когда перестало регистрироваться вулканическое дрожание.

После извержения образовался подковообразный кратер поперечником 1750 м, открытый на юг [8]. Он почти точно повторил очертания кратера 1854 г. Объем удаленной части постройки составляет 1,154 км<sup>3</sup> [9]. Изменение профиля вулкана в результате извержения показано на рис. 2.

После извержения до 1980 г. в кратере наблюдалась только фумарольная деятельность. В 1980—1981 гг. в кратере выжат купол объемом 0,0198 км<sup>3</sup> [8, 10].

**Отложения.** Разрезы отложений извержения 1964 г. изучены на южном и юго-восточном подножиях вулкана, так как по данным аэровизуальных наблюдений, выполненных уже во второй половине дня 12.11.1964 г., все продукты извержения распространялись в этих направлениях [6]. Исключение составляет небольшой грязевой поток длиной 5 км на западном склоне вулкана. Схема распространения отложений приведена на рис. 3. В одном обнажении все типы отложений этого извержения можно видеть в юго-восточном секторе вулкана (рис. 4, точка 3). Сводный разрез отложений этого извержения включает (снизу вверх): 1) отложения обломочной лавины; 2) резургентный пепел фреатического

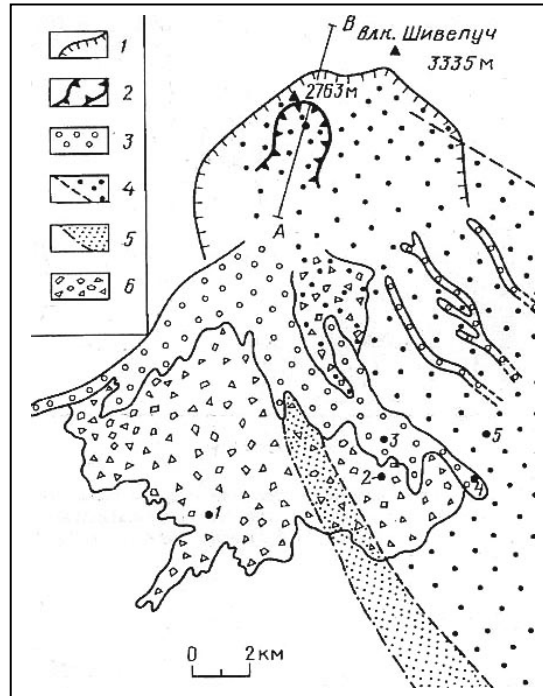


Рис. 3. Схема распространения отложений извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (по И. В. Мелекесцеву с дополнениями [13]). 1 — кратер обрушения 30 000 лет назад; 2 — кратер извержения 12.11.1964 г.; 3 — отложения пирокластических потоков; 4 — отложения лапилли плиинианского извержения; 5 — отложения пепла фреатического взрыва; 6 — отложения обломочной лавины. Точки с номером — местоположение разрезов, изображенных на рис. 4. Отложения грязевых потоков не показаны

взрыва; 3) ювенильную тсфру плиинианского извержения; 4) отложения пирокластических потоков.

*Обломочная лавина.* Отложения обломочной лавины («агломерата направленного взрыва» [3, 6]) слагают самую нижнюю часть разреза отложений 1964 г. (рис. 4). Они залегают преимущественно на отложениях почвенно-пирокластического чехла, который перекрывает отложения прошлых извержений вулкана Шивелуч. В большинстве случаев почвенно-пирокластический чехол не деформирован, а местами под отложениями обломочной лавины сохранился даже мелкозернистый пепел извержения вулкана Безымянный 1956 г. мощностью 1 см. Иногда подстилающие отложения несут следы сдвиговой деформации, которая отражает горизонтальное движение материала лавины.

Отложения обломочной лавины сложены сильно раздробленными породами старой вулканической постройки. В основном это материал куполов Кратерной вершины и их подножий. Состав большинства пород андезитовый. Встречаются как неизменные, так и сильно измененные породы. Различная степень окисления и изменения андезитов определила пеструю, мозаичную окраску отложений обломочной лавины. Наиболее распространены различные оттенки малинового и серого цветов. Отложения представлены преимущественно фацией блоков (по терминологии Г. Гликена [22]). Эта фация образуется, когда материал постройки вулкана в процессе транспортировки в различной степени дробится, но не подвергается полному перемешиванию, поэтому в обнажениях образует блоки —

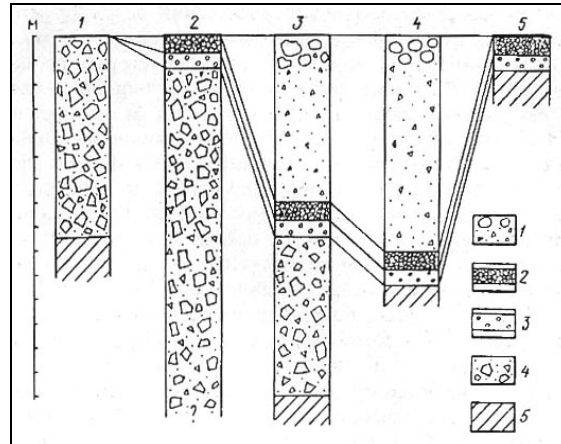


Рис. 4. Разрезы отложений извержении вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. Номера над колонками соответствуют номерам точек на рис. 3; 1 — отложения пирокластических потоков; 2 — лапилли плинианской стадии; 3 — пепел фреатического взрыва; 4 — отложения обломочной лавины; 5 — древние отложения или почва. Мощности отложений пепла фреатического взрыва и лапилли плинианской стадии показаны вне масштаба

линзы разнообразной неправильной формы, различающиеся по петрографическому и гранулометрическому составу слагающих их обломков. В пределах одного блока материал, как правило, однороден, обломки и заполнитель имеют одинаковый состав. Границы между блоками резкие. Размер блоков колеблется от десятков метров (мегаблоки) до первых сантиметров (микроблоки). Некоторые блоки сложены тефрой и отложениями пирокластических потоков с ненарушенной первичной слоистостью.

Смешанная фация, представленная полностью перемешанным материалом серо-коричневого цвета с редкими включениями микроблоков, найдена в небольшом объеме вдоль юго-восточного края отложений и иногда образует в основании лавины слой мощностью до 1 м. В прикратерной области на расстояниях до 8 км от вулкана в верхней части разреза лавины выделяется слой мощностью до 2 м, напоминающий смешанную фацию, но имеющий характерный грязно-зеленый цвет. В образовании этого слоя, вероятно, принимали участие интенсивно измененные породы верхней части постройки Кратерной вершины. Ювенильный материал в отложениях обломочной лавины не обнаружен. Приведенные в работе Г. Е. Богоявленской и соавт. [3] данные о двухпроцентном содержании ювенильного материала в заполнителе этих отложений являются ошибочными. Измерения температуры отложений обломочной лавины, выполненные через 10 дней после извержения, показали, что они были холодными, а часть материала находилась в смерзшемся состоянии. В отложениях обнаружены куски льда объемом до нескольких метров [6].

Поверхность отложений лавины, как правило, имеет характерный холмистый рельеф. Форма многих холмов близка к конусу или усеченной пирамиде. Высота холмов достигает 15 м. На большей части площади холмы группируются в радиальные гряды. В некоторых местах между холмами образовались небольшие озера. Отдельные участки поверхности лавины, сложенные сильно измененными породами или рыхлой пирокластикой, имеют пологоволнистый рельеф. Иногда поверхность лавины представляет нагромождение крупных глыб плотного андезита размером до нескольких метров. Фронт отложений крутой, четко очерченный, высотой ~ 3 м.

В восточном секторе распространения отложений перед фронтом обломочной лавины подстилающие отложения мощностью в несколько метров были сорваны, смяты в складки и сдвинуты на несколько десятков метров в полосе длиной 6 км и шириной 1—1,5 км. Растущие здесь деревья наклонились в разные стороны, образовав участок «пьяного леса». В меньшем масштабе это явление проявилось и на некоторых других участках перед фронтом обломочной лавины. Сорванные отложения можно выделить в особую «бульдозерную» фацию отложений обломочной лавины. Деревья за пределами распространения отложений обломочной лавины не имеют повреждений, которые можно было бы интерпретировать как воздействие направленного взрыва, как это наблюдается на вулканах Безымянный и Сент-Хеленс. На слабо расчлененном подножии вулкана отложения обломочной лавины образовали широкий язык протяженностью 16 км (рис. 3). Максимальная ширина языка 15 км. Площадь, покрытая отложениями, составляет 98 км<sup>2</sup> при мощности, как правило, 3—15 м, иногда до 50 м. На участке склона вулкана, прилегающем к кратеру, часть обвальных отложений задержалась, образовав несколько крутых уступов высотой до 100 м. Здесь мощность отложений превышает 150 м. По-видимому, это последние порции обвалившейся постройки. Объем отложений лавины по Г. С. Горшкову и Ю. М. Дубику [6] составляет 1,5 км<sup>3</sup>. Это несколько превышает объем удаленной части вулканической постройки (1,154 км<sup>3</sup> [9]), вероятно, за счет уменьшения плотности сложения в результате дробления изначально плотных пород постройки, а также захвата и подмешивания материала подножия.

Литологические характеристики изученных отложений и их идентичность с отложениями обломочной лавины вулкана Сент-Хеленс показывают, что они образовались не в результате выброса направленным взрывом по баллистическим траекториям, а являются отложениями крупномасштабного обрушения-оползня части вулканической постройки Молодого Шивслуча. В пользу этого свидетельствуют: залегание в виде широкого языка с четко очерченными границами, отсутствие «ударных» деформаций подстилающих отложений, очень плохая сортировка обломочного материала, отсутствие стратификации, отсутствие изменения зернистости обломков с удалением от вулкана, исключительно резургентный характер отложений и их низкая температура в момент отложения.

Геометрические характеристики обломочной лавины следующие: высота обрушения  $H = 2,3$  км; максимальный путь, пройденный лавиной:  $L = 16$  км;  $H/L = 0,14$ ; мощность отложений  $M = 3 \dots 150$  м; площадь отложений  $S = 98$  км<sup>2</sup>; объем отложений  $V = 1,5$  км<sup>3</sup>; объем удаленной части постройки 1,154 км<sup>3</sup>.

*Резургентный пепел фреатического взрыва.* На отложениях обломочной лавины с резким контактом залегает слой оливково-серого пепла мощностью 4—8 см (рис. 4). Характер контакта показывает, что отложение пепла происходило, когда обломочная лавина уже перестала двигаться. За пределами распространения обломочной лавины этот пепел залегает непосредственно на почве. Характер погребенной растительности показывает, что отложение пепла происходило в виде спокойного вертикального выпадения из эруптивной тучи. Слой пепла состоит из многочисленных аккреционных лапилли, диаметр которых достигает 1,8 см.

Пепел тонкозернистый (частицы тоньше 0,063 мм составляют более 60%), содержит редкие включения более крупных обломков размером до 1 см. Пепел сложен обломками разнообразных пород, сходных с породами обвалившейся части постройки, кристаллами плагиоклаза, пироксена и роговой обманки и редкими оскольчатыми обломками стекла (рис. 5). Многие частицы окислены, некоторые имеют следы гидротермального изменения. Облик пепловых частиц показывает, что эксплозивному разрушению подвергся закристаллизованный, частично измененный андезит старых вулканических куполов.

Необычной составляющей пепла являются многочисленные, хорошо оформленные кристаллы гипса, которые составляют значительную часть фракций от 0,125 до 2, мм. Хорошая форма кристаллов свидетельствует о том, что они



Рис. 5. Резургентный пепел фреатического взрыва и ювенильные лапилли стадии плиннианской активности, подстилающие отложения пирокластического потока (точка 4 на рис. 3 и 4)

образовались в результате перекристаллизации, уже после отложения пепла. Однако гипс, по-видимому, изначально входил в состав пепла, а не мигрировал позже из подстилающих и перекрывающих отложений. С. И. Набоко [16] отмечала, что гипс был одним из наиболее распространенных минералов на fumarолах куполов Молодого Шивелуча. Обломки гипса размером до 0,5 м встречаются в материале обломочной лавины среди сильно измененных пород. Случай выброса с пеплом кристаллов гипса описан также для фреатического извержения вулкана Эбеко в 1967 г. [15].

Характеристики этого пепла позволяют предположить, что он выброшен фреатическим взрывом, который произошел, когда обвал постройки снял давление с небольшой гидротермальной системы, существовавшей вокруг старых куполов. Образовавшееся пепловое облако распространилось в юго-восточном направлении. Объем пепла можно оценить в  $\sim 0,01 \text{ км}^3$ .

*Ювенильная тефра плиннианского извержения.* На отложениях резургентного пепла с резким контактом залегает грубая тефра, представленная лапилли ювенильного пемзовидного андезита. Мощность слоя лапилли в районе юго-восточного края обломочной лавины составляет 4—20 см. Направление распространения облака плиннианского извержения почти совпадало с направлением, в котором распространилось облако предшествовавшей фреатической эксплозии. Объем извергнутой ювенильной тефры оценивается в  $0,3 \text{ км}^3$ .

*Пирокластические потоки.* Разрез отложений этого извержения завершают пирокластические потоки, которые покрыли площадь  $50 \text{ км}^2$ , образовав две ветви — восточную и западную. В западной части области распространения пирокластические потоки залегают на отложениях обломочной лавины, а в восточной — перекрывают отложения тефры плиннианской стадии извержения. Пирокластические потоки сложены преимущественно обломками пористого ювенильного андезита. В кровле потока преобладает ювенильная составляющая, а у основания сконцентрированы обломки резургентного материала. Мощность отдельного пирокластического потока 2—5 м. Там, где потоки несколькими порциями заполнили понижения рельефа, например русло р. Байдарная, их мощность достигает 40 м. Объем отложений оценивается в  $0,3—0,5 \text{ км}^3$ .

**Реконструкция последовательности эруптивных событий.** Сопоставление результатов повторного изучения отложений с данными визуальных наблюдений



и результатами изучения сейсмических и воздушных волн позволяет восстановить последовательность событий извержения 1964 г.

Сейсмическая подготовка извержения была связана с продвижением магмы к поверхности [19]. К моменту извержения магма находилась на неглубоком уровне, но еще не успела внедриться в вулканическую постройку. Об этом свидетельствует отсутствие в период подготовки извержения сильных деформаций и взрывной активности, как это наблюдалось на вулканах Безымянный и Сент-Хеленс.

Извержение началось с обрушения группы куполов, заполнявших кратер 1854 г. Обрушение было спровоцировано интенсивной сейсмичностью, наиболее вероятно, землетрясением в 7 ч 07 мин. Обвалившийся материал в виде обломочной лавины распространился в южном направлении.

Обрушение привело к резкому снятию давления с гидротермальной системы вулкана. В результате произошел небольшой фреатический взрыв, выбросивший резургентный пепел. Большое количество водяного пара в эруптивном облаке привело к отложению пепла в виде аккреционных лапилли.

Уменьшение литостатического давления в прикратерной области ускорило продвижение магмы к поверхности. Извержение ювенильного материала, по-видимому, началось в 7 ч 20 мин, когда стало регистрироваться вулканическое дрожание, и наблюдатели отметили появление выбросов раскаленного материала. Начиная с этого момента, характер вулканической активности можно определить как плинианский.

Образование пирокластических потоков происходило на заключительной стадии извержения, возможно, начиная с 7 ч 47 мин. Извержение закончилось в 8 ч 22 мин, когда прекратилось вулканическое дрожание.

**Выводы.** Сравнение последовательностей событий в извержениях вулканов Безымянный 1956 г., Шивелуч 1964 г. и Сент-Хеленс 1980 г. показывает их большое сходство. Однако их объединяют не направленные взрывы, как считалось ранее [3], а крупномасштабные обрушения вулканической постройки. Признание обвального генезиса отложений «агломерата направленного взрыва» решает проблему источника энергии для перемещения большой массы резургентного материала и объясняет образование подобных отложений на потухших вулканах.

Сопоставление докульминационных стадий рассматриваемых извержений (до обрушения) позволяет выявить предвестники катастрофических направленных взрывов и понять причину отсутствия этого феномена в извержении вулкана Шивелуч. Во всех трех случаях постройка вулкана потеряла устойчивость и обрушилась под воздействием медленно внедрявшейся магмы, что проявилось в длительной и интенсивной сейсмичности на докульминационной стадии извержений. На вулканах Безымянный и Сент-Хеленс обрушение произошло, когда магма уже непосредственно внедрилась в постройку и образовала криптокупол. Внешними проявлениями близповерхностного нахождения расплава были сильные деформации склонов вулкана и частые фреатомагматические эксплозии. В результате обрушения произошла быстрая декомпрессия криптокупола и его разрушение в форме направленного взрыва. Отсутствие сильных деформаций и взрывной деятельности в период подготовки катастрофического извержения вулкана Шивелуч свидетельствует о том, что его постройка потеряла устойчивость, когда магма находилась еще на достаточно большой глубине. Обрушение повлекло декомпрессию только локальной гидротермальной системы, существовавшей вокруг старых куполов. Это вызвало относительно слабый фреатический взрыв, который не сопровождался образованием «палящей тучи» и несопоставим по масштабам и последствиям с направленными взрывами вулканов Сент-Хеленс и Безымянный.

Уменьшение литостатического давления в результате обрушения во всех случаях резко ускорило поступление магмы к поверхности и основная часть ювенильного материала был извергнута в ходе сильных плинианских извержений в виде тefры и пирокластических потоков. Можно предположить, что, если бы постройки вулканов оказались более устойчивыми и не обвалились, рассматри-

ваемые извержения не отличались бы столь высокой степенью эксплозивности. Так, характер извержения вулкана Шивелуч мог напоминать рост купола в 1946—1949 гг., т.е. продолжаться длительное время и сопровождаться относительно слабой эксплозивной деятельностью.

Пример Шивелуча показывает, что только гидротермальная система не может служить «зарядом» для направленных взрывов. Следовательно, сильные деформации склона вулкана, сопровождающиеся эксплозивной активностью, которые можно интерпретировать как внедрение магмы в постройку, должны рассматриваться как предвестники направленного взрыва в случае, если при дальнейшем развитии событий вулкан потеряет устойчивость и обрушится.

Авторы признательны сотрудникам Института вулканической геологии и геохимии ДВО РАН и Института вулканологии ДВО РАН М. А. Алидибирову, Г. Е. Богоявленской, О. А. Брайцевой, Н. Ф. Добрынину, В. Ю. Кирьянову, И. В. Мелекесцеву, Ю. Б. Слезину, П. П. Фирстову и др. за консультации при написании этой работы.

Исследования выполнены при поддержке Международного научного фонда (Грант RMF 000) и ГНТП (тема № 18, раздел 1.2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В. Д., Гостинцев Ю. А., Фирстов П. Л. О природе воздушных воли при сильных эксплозивных извержениях//Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3—11.
2. Белоусов А. Б. Литология пирокластических отложений катастрофических извержений (Безымянный, Шивелуч, Сент-Хеленс): Авторсф. дис. канд. геол.-мин. наук. М.: 1993. 21 с.
3. Богоявленская Г. Е., Брайцева О. А., Мелекесцев И. В. и др. Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч//Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 3—26.
4. Брайцева О. А., Кирьянов В. Ю., Сулержский Л. Д. Маркирующие прослой голоценовой тefры восточной вулканической зоны Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80—96.
5. Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955—1963 гг.). М.: Наука, 1965. 170 с.
6. Горшков Г. С., Дубик Ю. М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч//Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3—37.
7. Гуценко И. И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 144 с.
8. Двигало В. И. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980—1981 гг. по фотограмметрическим данным//Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104—109.
9. Добрынин И. Ф. Аналитико-фотограмметрический метод количественной оценки экструзивных процессов//Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 92—110.
10. Иванов Б. В., Чирков А. М., Дубик Ю. М. и др. Состояние вулканов Камчатки и Курильских островов в 1980 г.//Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 99—104.
11. Мелекесцев И. В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 211 с.
12. Мелекесцев И. В., Брайцева О. А., Эрлих Э. И. и др. Вулканические горы и равнины //Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. С. 162—233.
13. Мелекесцев И. В., Вольнец О. И., Брайцева О. А. и др. Вулкан Шивелуч//Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84—105.
14. Меняйлов А. А. Вулкан Шивелуч, его геологическое строение, состав и извержения//Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
15. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Храмова Г. Г. Газо-гидротермальное извержение вулкана Эбеко в феврале — апреле 1967 г.//Бюл. вулканол. станций. 1969. N 45. С. 3—6.
16. Набоко С. И. Вулканические эггалации и продукты их реакций//Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1959. Вып. 16. 299 с.