

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ 1956 г. И АНАЛОГИЧНЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ В ДРУГИХ РАЙОНАХ МИРА: ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЭРУПТИВНЫХ СОБЫТИЙ, ОТЛОЖЕНИЯ И МЕХАНИЗМ

Александр Белоусов^{1,2}, Барри Войт³, Марина Белоусова¹

¹*Институт Вулканологии и Сейсмологии, Петропавловск - Камчатский, Россия,
e-mail: belousov@mail.ru*

²*Институт Морской Геологии и Геофизики, Южно-Сахалинск, Россия.*

³*Пенсильванский Университет, США*

Наиболее распространенной причиной нарушения гравитационной устойчивости построек стратовулканов, приводящей к крупномасштабным обрушениям-оползням, является внедрение вязкой, богатой летучими магмы в процессе подготовки очередного извержения. В таких ситуациях быстрое снятие литостатического давления, связанное с обрушением постройки, провоцирует сильное эксплозивное извержение. В результате сопоставления имеющихся данных наблюдений процесса извержений и изучении стратиграфических разрезов отложений нами было выделено 2 основных сценария таких извержений.

Первый сценарий (тип Безымянного) включает слабую - умеренную докульминационную эксплозивную активность и кульминационную стадию, состоящую из крупномасштабного обрушения-оползня вулканической постройки, за которым следует катастрофический направленный взрыв, переходящий в вертикально направленное (суб)плинианское или вулканское извержение с образованием пирокластических потоков, связанных с коллапсом эруптивной колонны (табл. 1) [9]. Исторические примеры – извержения вулканов Безымянный в 1956 г. [2-4, 6, 7], Сент-Хеленс в 1980 г. [8, 11] и Монтсеррат в 1996 г. [10, 12] (табл. 2.)

Второй сценарий (тип Шивелуча) включает обрушение-оползень постройки, за которым следует фреатический взрыв слабой - умеренной силы, вертикально направленное (суб)плинианское извержение и образование пирокластических потоков, связанных с коллапсом эруптивной колонны. Примерами извержений такого типа являются извержения вулканов Харимкотан в 1933 г. [7] и Шивелуч в 1964 г. [1, 5, 7] (табл. 1).

Докульминационная стадия извержений

Докульминационная эксплозивная деятельность наблюдалась только в случае извержений типа Безымянного (1-ый сценарий). Её сопровождали два важных взаимосвязанных процесса:

1. внедрение и накопление некоторого объема магмы в верхней части вулканической постройки (объемы соответственно 0,15-0,2 км³ для Безымянного; 0,11 км³ для Сент-Хеленса и 0,035 км³ для Монтсеррата);

2. медленные деформации или «вспучивание» склона постройки вулкана (в некоторых случаях со смещением до 100 м).

Накопление магмы происходило в виде приповерхностного интрузивного тела, которое было или полностью изолировано внутри постройки - криптокупол на Сент-Хеленсе, или выходило на поверхность в форме экструзивного купола (Монтсеррат), или сочетало черты криптокупола и купола (Безымянный) (рис. 1). Внедрение магмы было достаточно длительным процессом (2-6 месяцев для Безымянного, 2 месяца для Сент-Хеленса и несколько дней - 1,5 месяца для Монтсеррата). Это связано с тем, что внедряющаяся магма была очень вязкой и скорость внедрения не могла быть высокой (например, максимальная скорость внедрения магмы на Монтсеррате) составляла около 11 м³/с. На следующей, кульминационной стадии извержений эти магматические тела играли роль «заряда» для направленных взрывов.

Таблица 2. Сравнительные характеристики построек вулканов и извержений, связанных с направленными взрывами (сценарий 1), на вулканах Безымянный (1956 г.), Сент-Хеленс (1980 г.) и Монтсеррат (1997 г.)

Характеристики вулканических построек

	Безымянный	Сент-Хеленс	Монтсеррат
Возраст построек, года	11 000	40 000	>30 000
Древние обрушения: количество/возраст	0	1/20000	1/4000
Древние взрывы: количество/возраст	0	1/1200	0
Период покоя перед взрывом, годы	1000	123	400
Состав пород постройки	Андезит	Дациит	Андезит
Относительное превышение, м	1300	1700	1000
Высота до/после взрыва, м	3085/2886	2951/2549	914/?
Уменьшение высоты после взрыва, м	750	900	300
Размеры кратера после извержения, км	1.7x2.8	2.8x3.5	0.4

Характеристики извержений типа «направленный взрыв»

Докульминационная стадия извержения

Объем купола/ криптокупола, км ³	0.15 - 0.2	0.11	0.035
Деформации постройки: месяцы метры	2-6 100	2 150	1.5
Вулканическая активность	Фреато-магматическая	Фреатическая-фреатомагматическая	Магматическая

Кульминационная стадия извержения

Обломочная лавина

Сброшенная высота Н, км	2.4	2,5	1
Пройденное расстояние L , км	22	26	6
Коэффициент Н/L	0.12	0,1	0.15
Площадь отложений, км ²	36	64	1.7
Объем отложений, км ³	0.5	2.5	0.05
Объем обрушения /объем постройки вулкана, %	10	10	
Скорость лавины, м/с	<60	50-70	27

Направленный взрыв

Угол охвата зоны разрушений, градусы	110	180	70
Пройденное расстояние, км	30	27	>6.3
Площадь отложений, км ²	500	600	>10
Максимальная толщина, м	2.5	2-2.5	1
Объем отложений, км ³	0.2	0.2	0.03
Скорость, м/с		100-110	60-80
Граница: дальняя зона (по оси от кратера, км)	19	15	В море
Температура облака, °С	<250	100-325	<293
Средняя плотность ювенильного материала, г/м ³	2.2	1.87	2.29
Средняя вспененность ювенильного материала, %	20	30	15
Количество ювенильного материала в отложениях, %	84	62	87

Извержение после взрыва

Общие характеристики	Из открытого жерла	Из открытого жерла	Из полу-открытого жерла
Тип извержения	Плинианское извержение, пемзовые пирокластические потоки	Плинианское извержение, пирокластические потоки	Взрывы вулканического типа

Посткульминационная стадия

Рост лавового купола: длительность, годы	>50	6	>6
объем, км ³	0.4	0.07	

Таблица 1. Сценарии извержений, связанных с крупномасштабными обрушениями

Сценарий 1 (тип Безымянного)	Сценарий 2 (тип Шивелуча)
1. Докульминационная вулканическая активность	1. Крупномасштабное обрушение.
2. Крупномасштабное обрушение	2. Вертикальное извержение (плинианское/вулканское)
3. Направленный взрыв	
4. Вертикальное извержение (плинианское/вулканское)	

Процесс внедрения магмы сопровождался интенсивной сейсмичностью и слабой или умеренной эксплозивной активностью вулканского типа. Докульминационная эксплозивная активность была связана с взаимодействием внедрявшейся магмы с водой, находящейся в постройке вулкана, и/или с дегазацией формирующегося приповерхностного магматического тела. Характер докульминационной эксплозивной активности был фреатомагматическим - магматическим на Безымянном, фреатическим - фреатомагматическим на Сент-Хеленсе и чисто магматическим на Монтсеррате, что связано с положением магматического тела в постройке: чем ближе к поверхности, тем меньшее значение имела фреатомагматическая составляющая (табл. 2).

Сильные деформации (вспучивание) вулканических построек были важным процессом докульминационной активности, так как они нарушили гравитационную устойчивость построек и привели к крупномасштабным обрушениям, которые, в свою очередь, вызывали быструю декомпессию близповерхностных магматических тел и направленные взрывы. Деформации были связаны с внедрением магмы в верхнюю часть конуса вулкана [4, 11, 12]. На Сент-Хеленсе вспучивание охватило эллиптический участок площадью 1,5×2 км. Измерения зафиксировали субгоризонтальное перемещение склона вулкана со скоростью 1,5 - 2,5 м/день [11]. Хотя деформации были очень сильными (около 100 м на Безымянном и 150 м на Сент-Хеленсе), постройки вулканов были в состоянии некоторое время выдерживать этот процесс без обрушения, позволяя достаточно большим объемам магмы накопиться в постройке.

Кульминационная стадия извержений

Для извержений типа Безымянного (1-ый сценарий) кульминационная стадия состояла из крупномасштабного обрушения (оползня) постройки, катастрофического направленного взрыва, вертикально направленного (суб)плинианского или вулканского извержений. На Сент-Хеленсе кульминационная стадия непосредственно наблюдалась [8, 11], а на Безымянном и Монтсеррате последовательность событий была реконструирована на основе стратиграфии отложений и различных геофизических данных [6, 10, 12]. Очень неровный, деформированный контакт между отложениями обрушений (обломочными лавинами) и отложениями направленных взрывов с характерными, изогнутыми кластическими дайками материала взрыва, проникающими вниз в отложения лавины, указывает на то, что материал крупномасштабного обрушения еще продолжал двигаться, когда облако направленного взрыва начинало откладывать свой пирокластический материал на его поверхность. Из этого следует, что промежуток времени между началом обрушения и взрывом во всех трех рассматриваемых случаях был существенно меньше, чем время движения обломочной лавины. На Безымянном и на Сент-Хеленсе быстрый переход от обрушения к направленному взрыву подтверждается дополнительно тем фактом, что в ближней зоне отложения взрыва всегда залегают на отложениях обломочной лавины, а в дальней зоне, там, где облако взрыва обогнало лавину, встречаются разрезы, в которых отложения взрыва залегают как над, так и под отложениями лавины. Это происходит потому, что скорость распространения облака направленного взрыва выше скорости распространения обломочной лавины.

В случаях извержений типа Шивелуча (2-ой сценарий), контакт между отложениями обломочной лавины и перекрывающей ее пирокластикой, связанной с эксплозивной

активностью после обрушения, не деформирован: отложение материала эксплозивного извержения, последовавшего за обрушением началось, когда лавина уже переставала двигаться. Из этого следует, что в случае сценария 2, промежуток времени между началом обрушения и последующей эксплозивной активностью был значительно больше, чем в извержениях типа Безымянного (например, для Шивелуча 1964 г. этот промежуток составлял около 7 минут [1, 5]).

Механизм извержений

Сравнение последовательностей событий извержений с направленными взрывами и извержений, в которых внедрение магмы приводило к крупномасштабным обрушениям без направленных взрывов, показывает, что основная разница между ними заключается в уровне, на котором располагалась магма внутри постройки вулкана в момент обрушения (рис. 1). Когда магма находится в постройке близко к поверхности (что проявляется в до-кульминационной эксплозивной активности и больших деформациях постройки) и во время крупномасштабного обвала-оползня срезается плоскостью его отрыва, происходит направленный взрыв (1-ый сценарий); когда магма находится глубоко в постройке и не пересекается плоскостью отрыва (плоскость расположена намного - несколько сотен метров - выше), направленного взрыва не происходит (2-ой сценарий).

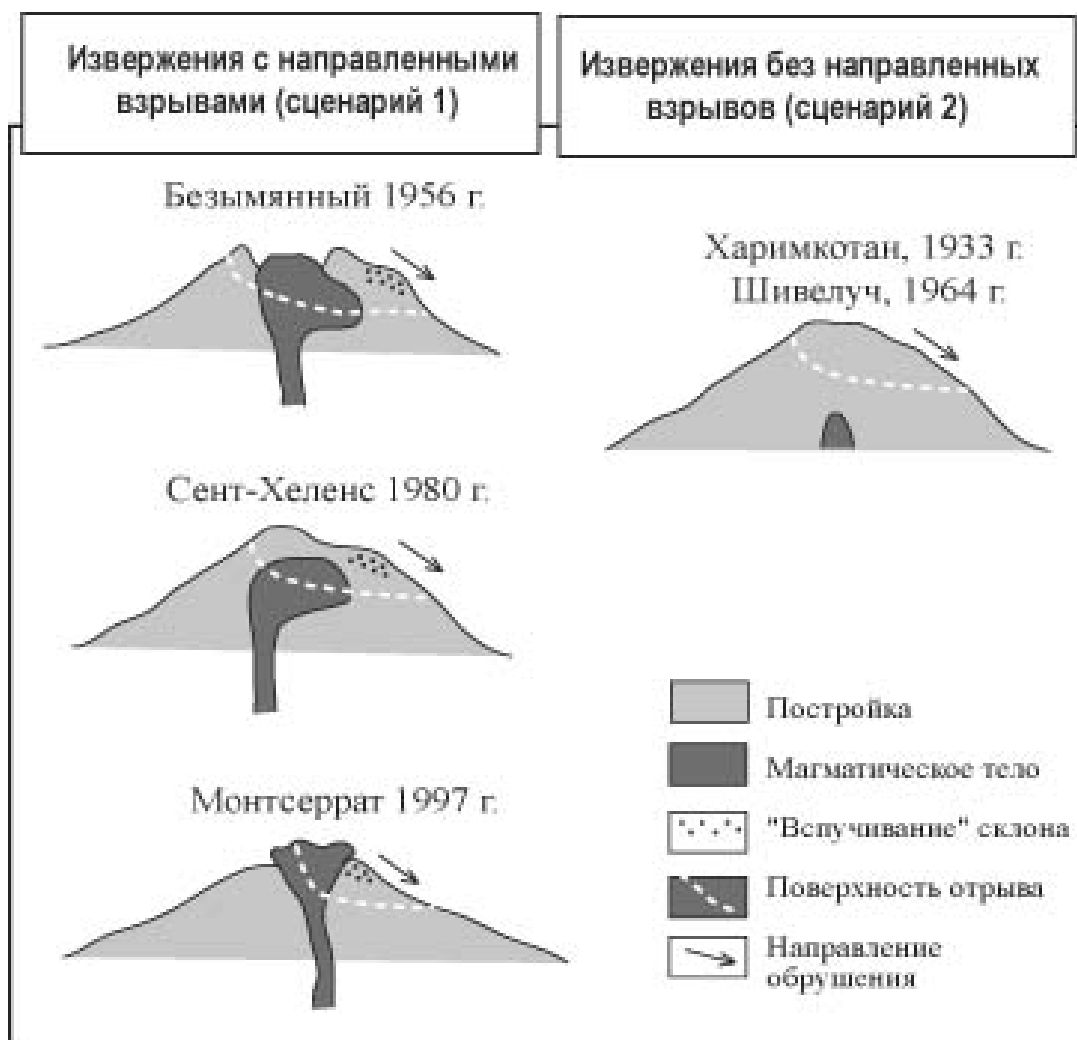


Рис. 1. Схема, показывающая положение магматических тел внутри построек вулканов перед направленными взрывами: на Безымянном - сочетание купола и криптокупола, на Сент-Хеленсе - криптокупол, на Монтсеррате - купол. Для сравнения показано положение магматических тел в постройках вулканов Харимкотан и Шивелуч перед их крупномасштабными обрушениями, когда магма в момент обрушения находилась гораздо глубже, и направленного взрыва не произошло.

Для реализации 1-ого сценария извержения (тип Безымянного) у вулкана перед извержением должна существовать некоторая промежуточная степень гравитационной неустойчивости постройки. Если вулканическая постройка изначально очень неустойчива, первые слабые деформации и другие возмущения, связанные с поднимающейся магмой, спровоцируют обрушение слишком рано – когда магма будет еще находиться слишком глубоко в постройке или даже ниже (2-ой сценарий). В этом случае за обрушением не следует взрыв, потому что:

- поверхность скольжения оползня-обвала не пересекает магматическое тело (над находящейся под давлением магмой останется толща вмещающих пород, поэтому декомпрессия будет слабее и менее резкой);

- магма на глубоких уровнях менее газирована (имеется в виду газ в свободной фазе в пузырьках) и менее раскристаллизована. В этом случае, в результате декомпрессии, связанной с обрушением, вместо немедленного разрыва газовых пузырьков и фрагментации магмы, сначала будет происходить относительно медленный (из-за низкой скорости диффузии) процесс выделения газа из расплава в свободную фазу (вспенивание) и только затем фрагментация, и вместо направленного взрыва возникнут условия для более растянутого во времени эксплозивного процесса - плиннианского извержения.

Такая ситуация часто имела места при многократных обрушениях вулканов Шивелуч и Харимкотан: за обрушениями постройки непосредственно следовали только слабые фреатические выбросы - результат декомпрессии небольших приповерхностных гидротермальных систем вулканов. После фреатических выбросов магме требовалось некоторое время, чтобы достигнуть поверхности, и поэтому она начинала извергаться с некоторой задержкой в форме плиннианских извержений с образованием пирокластических потоков [1, 5, 7].

Заключение

Причиной различий между 1 и 2-ым сценариями служит различная глубина интрузии магмы по отношению к поверхности отрыва крупномасштабного оползня и, следовательно, условия декомпрессии магмы (рис. 1). Глубина магмы в момент отрыва оползня определяется соотношением интенсивности дестабилизирующего воздействия внедряющейся магмы и первоначальной (доэруптивной) устойчивости постройки вулкана. 1-ый сценарий имеет место, если поверхность отрыва оползня пересекает магматическое тело. 2-ой сценарий имеет место, если магматическое тело расположено значительно глубже, чем поверхность отрыва оползня. В 1-ом сценарии магматический направленный взрыв следует сразу же за обрушением, а его направление определяется направлением обрушения. Во 2-ом сценарии после оползания постройки происходят только умеренные фреатические эксплозии, связанные с декомпрессией поверхностной гидротермальной системы, и направленный взрыв не происходит. Вертикально-направленное магматическое извержение следует с некоторой задержкой, так как поднимающейся магме требуется некоторое время, чтобы достигнуть поверхности внутри кратера обрушения. Доисторические крупномасштабные оползни на вулканах Курило-Камчатского региона (10 изученных событий) были связаны в основном со 2-ым сценарием (тип Шивелуча), который, вероятно, является более распространенным в природе.

Список литературы

1. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Извержение вулкана Шивелуч в 1964 г. (Камчатка) – плиннианское извержение, предварявшееся крупномасштабным обрушением постройки // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 116-126.
2. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения обломочной лавины // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 25-40.
3. Белоусов А., Белоусова М. Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения направленного взрыва // Вулканология и сейсмология. 2000. № 2. С. 3-17.

4. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955 - 1963 гг. М. Наука. 1965. 170 с.
5. Belousov A.B. The Shiveluch volcanic eruption of 12 November 1964 - explosive eruption provoked by failure of the edifice // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1995. V. 66. P. 357-365.
6. Belousov A.B. Pyroclastic deposits of March 30, 1956 directed blast at Bezymianny volcano // *Bull. Volcanol.* 1996. V. 57. P. 649-662.
7. Belousov A.B., Belousova M.G. Large scale landslides on active volcanoes in XXth century - examples from Kurile-Kamchatka region (Russia) // In: *Landslides*, Ed. Senneset, K. Rotterdam. Balkema. 1996. C. 953-957.
8. Hoblitt R.P., Miller C.D., Vallance J.E. Origin and stratigraphy of the deposits produced by the May 18 directed blast // In: Lipman P.W. and Mullineaux D.R. (eds) *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington*. US Geol. Surv. Prof. Paper. 1981. V. 1250. P. 401-419.
9. Siebert L., Glicken H., Ui T. Volcanic hazards from Bezymianny- and Bandai-type eruptions // *Bull. Volcanol.* 1987. V. 49. P. 435-459.
10. Ritchie L., Cole P., Sparks R.S.J. Sedimentology of pyroclastic density current deposits generated by the December 26, 1997 eruption at the Soufriere Hills volcano, Montserrat // In: Druitt T., Kokelaar B.P. (eds). *The eruption of Soufriere Hills volcano, Montserrat, from 1995-1999*. Mem. Geol. Soc. London. 2002. V. 21. p. 435-456.
11. Voight B. et al. Catastrophic rockslide avalanche of May 18 // In: Lipman P.W. Mullineaux D.R. (eds) *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington*. US Geol. Surv. Prof. Pap. 1981. V. 1250. P. 347-377.
12. Voight B. et al. The 26 December (Boxing Day) 1997 sector collapse and debris avalanche at Soufriere Hills Volcano, Montserrat // In: Druitt T.H., Kokelaar B.P. (eds) *The eruption of Soufriere Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999*. Geological Society. London. Memoir. 2002. V. 21, P. 363-407

THE 1956 ERUPTION OF BEZYMIANNY AND SIMILAR EVENTS WORLDWIDE: ERUPTIVE SEQUENCES, DEPOSITS AND MECHANISMS

A. B. Belousov, B. Voight, M. G. Belousova

Here we compare eruptive sequences, effects and deposits of explosive eruptions with large-scale edifice landslides as key events. In such eruptions directed blast took place only in the case when the detachment failure surface crossed shallow magma body formed inside volcano edifice during preclimactic stage of eruption (Bezymianny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufriere Hills volcano, Montserrat 1997). In the case where magma is situated deeper than detachment surface (the first hundred meters) the vertical plinian eruption followed the edifice failure instead of directed blast (Harimkotan 1933 and Shiveluch 1964).