

Направленный взрыв на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г.: характеристики и представления о механизме (обзор)

Алидибиров М.А., Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.

The March 30, 1956 directed blast of Bezymianny volcano: characteristics and models of the mechanism (review)

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

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: ma1828@mail.ru

Обрушение постройки вулкана Безымянный 30.03.1956 г. объемом 0.5 км^3 привело к быстрой декомпрессии и дроблению (фрагментации) магмы, находившейся в постройке вулкана. Это вызвало направленный взрыв с выбросом 0.2 км^3 пироклаستيку, отложившейся на площади в 500 км^2 . Приводится описание отложений и обзор представлений о механизме взрыва.

Введение

Извержение вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. явилось крупнейшим эксплозивным извержением XX века. Г.С. Горшков и Г.Е. Богоявленская [4] выделили это извержение в самостоятельный тип – «тип направленного взрыва». Направленный взрыв был лишь эпизодом длительного извержения и его кульминационной стадии [4, 17]. 25.01.1956 г. в кратере был впервые замечен купол и сильное вздутие юго-восточного склона высотой 100 м [4] (рисунок, а). Был отмечен также рост старого экструзивного купола на южном склоне вулкана [3]. 30 марта 1956 года в 17 ч 11 мин 05 с произошло относительно сильное вулканическое землетрясение. Затем началось мощное извержение. Высота эруптивного облака достигала 34–36 км. Визуальные наблюдения кульминационной стадии носили ограниченный характер. В результате образовался подковообразный кратер диаметром $\sim 1.8 \text{ км}$ и были повалены деревья в направлении от вулкана.

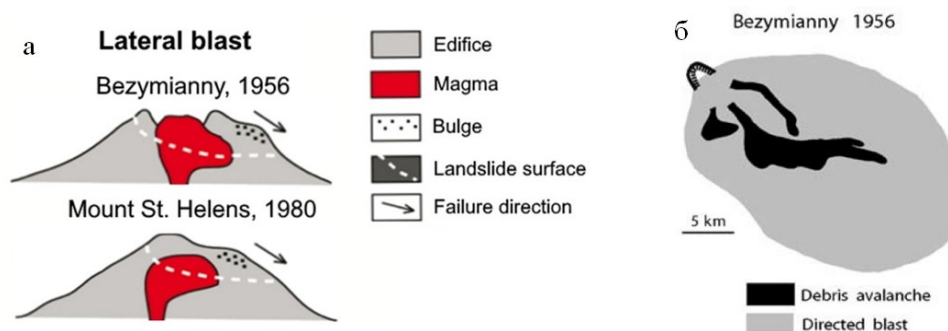


Рисунок. а) Схемы залегания магматического тела перед взрывами; б) Отложения извержения вулкана Безымянный в 1956 г.

Отложения направленного взрыва

В зоне разрушений на площади 500 км^2 возникли специфические пирокластические отложения. Г.С. Горшков и Г.Е. Богоявленская [4] дали этим отложениям названия: «агломерат направленного взрыва» и «песок направленного взрыва». Извержение было классифицировано Г.С. Горшковым как «извержение типа направленного взрыва» [17]. Позднее к этому типу были отнесены извержения и некоторых других вулканов [5, 7]. 18 мая 1980 г. на вулкане Сент-Хеленс произошел крупномасштабный обвал (оползень) части постройки вулкана, за которым последовал направленный взрыв, и затем началась плининская стадия извержения. На площади 600 км^2 сформировались взрывные отложения. Это событие оказало значительное влияние на представление о последовательности событий на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г. [2] и повлекло за собой новое детальное изучение его взрывных отложений.

Первоначально к отложениям направленного взрыва были отнесены так называемые «агломерат» и «песок» [4]. Позже авторы работы [14] пришли к выводу, что «агломерат направленного взрыва» может быть отнесен к отложениям обломочной лавины. К аналогичному выводу пришел и А.И. Малышев [6]. Непосредственно к отложениям направленного взрыва А.Б. Белоусовым и М.Г. Белоусовой были отнесены лишь отложения «песка направленного взрыва», объем которых был оценен в 0.2 км^3 [13, 15] (рисунок, б). Эти отложения на 84 % состоят из ювенильного материала: 55 % приходится на плотный андезит и 29 % на более пористый андезит. Плотность (и, соответственно, пористость) ювенильного материала имеет бимодальное распределение с пиками в районе 1700 кг/м^3 и 2400 кг/м^3 (средняя плотность оценивается в 2100 кг/м^3 и средняя пористость оценивается в 20 %) [15]. Большинство пор имеет связанный характер. Мощность отложений уменьшается по мере удаления от вулкана от 2.5 метров до 4 см. В ближней зоне (<19 км от вулкана) в отложениях были выделены три слоя (А, В, С) [13, 15]. В этой зоне мощность отложений уменьшается от 2.5 метров до 26 см. Максимальный размер обломков уменьшается от слоя А к слою С и составляет от 11 см до 8.6 см в ближней зоне. В дальней зоне (расстояние 19-30 км от вулкана) отложения состоят из одного слоя мощностью от 26 до 4 см и сложены волнистым слоистым песком с примесью гравия, хорошо отсортированы и содержат необугленные растительные остатки. Максимальный размер обломков в дальней зоне уменьшается от 4.8 см до 0.6 см (в среднем он составляет 1.6 см) [13]. Отложения направленного взрыва вулкана Безымянный оказались схожими с отложениями направленного взрыва вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. [15]. Общепризнанной является следующая последовательность основных событий на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г. [15]: деформация склона вулкана, вызванная внедрением магмы; обвал постройки вулкана и формирование обломочной лавины; возникновение направленного взрыва с выбросом продуктов в юго-восточном направлении; излияние пирокластических потоков и формирование эруптивной колонны.

Представления о механизме направленного взрыва

Первоначальные представления о механизме взрыва на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г. были основаны на практике и теории *крупных промышленных взрывов на выброс* [4]. Предполагалось, что весь объем постройки вулкана был выброшен одноактным взрывом. Источником энергии могла являться энергия сжатого газа (пара). В работе [4] высказывалось предположение, что свободному выходу вулканических газов мог препятствовать древний купол, который играл роль пробки, закупорившей канал вулкана. Предполагалось, что материал купола и постройки вулкана мог быть наклонно выброшен при взрыве по баллистической траектории. Направленность взрыва связывалась с неодинаковой прочностью склонов вулкана. Ю.Н. Рябинин и В.Н. Родионов [9], используя теорию взрывов на выброс, смогли оценить энергию взрыва (тротилового эквивалента) как $8 \cdot 10^{16}$ Дж. Она требовалась для выброса 0.85 км^3 породы и образования воронки с характерным диаметром 2000 м (как эквивалент кратера размером 1700×2800 м). Эта оцененная энергия оказалось большой и требовала очень большого исходного объема газа $1.6 \cdot 10^8 \text{ м}^3$ при давлении в 2000 бар, на что было указано авторами [9] и что представлялось нереалистичным.

Фотосъемка вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. показала, что перед взрывом на этом вулкане произошел оползень постройки вулкана. Часть постройки вулкана переместилась вниз по склону в виде обломочной лавины под действием силы тяжести. Затем возник взрыв в результате высвобождения энергии сжатых газов, находящихся в магме криптокупола. Такое представление о механизме направленного взрыва было использовано в *магматической модели взрыва* [16], где предполагалось, что в процессе взрыва произошло быстрое расширение в атмосферу смеси сжатого газа с пирокластикой, имевшей начальное давление до 200 бар. Требуемое количество

водяного пара в магме было оценено в 0.2-0.7 вес. %. Такие исходные параметры позволили объяснить скорости выброса в 100-250 м/сек. Изложенные выше представления о развитии взрыва на вулкане Сент-Хеленс оказали в 1980-х годах значительное влияние и на представления о механизме направленного взрыва на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г. Однако в модели [16] не рассматривался вопрос образования пироклаستي, многоактность и пространственная миграция источников взрыва, а также большая длительность взрыва. Для объяснения механизма таких взрывов М.А. Алидибировым была предложена *теоретическая модель* [10], в которой взрыв объяснялся механизмом последовательного отрыва слоев сильновязкой пористой магмы при распространении фронта волны дробления, возникающей при резкой декомпрессии. Аналогичное объяснение механизма небольшого направленного взрыва на вулкане Безымянный в 1985 г. было предложено в работе [1]. Такой же механизм был предложен в теоретической модели [11] и для взрыва на вулкане Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. Расчеты показали, что при давлении газа в порах криптокупола 200 бар и пористости 0.4-0.7 скорость выброса пироклаستي могла составлять 100-250 м/с. Выделяемая при взрыве энергия была оценена в $4.8-7.2 \cdot 10^{15}$ Дж. Несколько взрывных эпизодов во время взрыва были объяснены остановкой волны дробления из-за перекрытия взрывающегося криптокупола оползневым материалом. Аналогичный механизм развития взрыва и близкие оценки можно применить и ко взрыву на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г.

Проводились также эксперименты по моделированию взрывного дробления сильновязкой магмы при резкой декомпрессии. Так, в экспериментах В.К. Панова [8] была проведена съемка со скоростью 15 000 кадр/сек, что позволило увидеть моменты появления трещин и получить подтверждение, что разрушение пористого модельного материала происходило путем последовательного отрыва его кусков. Наконец, была создана *высокотемпературная экспериментальная установка*, позволившая впервые осуществить фрагментацию реальных образцов вулканических пород, подвергавшихся быстрой декомпрессии при температурах до 1000 °С и перепадах давлений до 200 бар. Схема экспериментальной установки описана в работе [12]. Много экспериментов было выполнено с образцами пористого (36 %) дацита криптокупола вулкана Сент-Хеленс. Были определены пороговые значения перепада давления, вызывающие фрагментацию, которые оказались в диапазоне от 90 бар до 30 бар и понижались при росте температур от 15 °С до 900 °С. Скорость фрагментации пористого дацита была измерена в диапазоне 5-170 м/с и зависела от перепада давления ΔP . Значения скорости близкие к 5 м/с были характерны для экспериментов, где дробление носило многоактный характер. Крупные фрагменты имели дискообразную и пластинчатую форму, в то время как мелкие фрагменты имели более изометрическую форму. Частицы размером ~1 мм состояли из кристаллов, окруженных пористой стеклянной матрицей, а частицы размером 0.1 мм и меньше представляли собой либо только фрагменты кристаллов, либо только фрагменты пористого стекла. Угловатая форма фрагментов, наблюдавшаяся для всего диапазона температур, включая $T=900$ °С, превышающую температуру стеклования матрицы дацита (810 °С), указывала на хрупкий характер фрагментации. Процесс дробления при высокой $T=900$ °С не сопровождался изменением характера пористости материала, и дополнительного вспенивания стекловатой матрицы дацита не наблюдалось.

Эксперименты с образцами с вулкана Безымянный (пористостью 38 % и 46 %) при нормальной температуре позволили определить перепад давления, вызывающий дробление, как 63-65 бар и 108 бар. Скорость фрагментации возрастала до 55 м/с при росте перепада давления от 60 бар до 200 бар [18]. Полученные пороговые давления оказались близки к аналогичным величинам для образцов серого дацита вулкана Сент-Хеленс (около 90 бар) для нормальной температуры. Эти эксперименты объясняют механизм развития направленного взрыва на вулкане Безымянный 30 марта 1956 г.

Представления о механизме взрыва как процесса дробления (фрагментации) сильновязкой магмы, вызванной декомпрессией, получили широкое распространение [15].

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0008.

Список литературы

1. *Алидибилов М.А., Белоусов А.Б., Кравченко Н.М.* Фаза направленного взрыва извержения вулкана Безымянный в 1985 г. // *Вулканология и сейсмология*. 1987. № 5. С. 81-89.
2. *Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекцев И.В. и др.* Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // *Вулканология и сейсмология*. 1985. № 2. С. 3-26.
3. *Богоявленская Г.Е., Гирина О.А.* Вулкан Безымянный: 50 лет активности // *Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный)*. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 13-18.
4. *Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955-1963 гг.). М.: Наука, 1965. 170 с.
5. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // *Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков*. М.: Наука. С. 3-37.
6. *Мальшев А.И.* Направленный взрыв вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (вопросы интерпретации) // *Вулканология и сейсмология*. 1997. № 3. С. 46-53.
7. *Мелекцев И.В., Литасова С.И., Сулержицкий Л.П.* О возрасте и масштабе катастрофических извержений типа направленного взрыва вулкана Авачинский (Камчатка) в позднем плейстоцене // *Вулканология и сейсмология*. 1991. № 2. С. 3-12.
8. *Панов В.К.* Экспериментальное моделирование процессов, происходящих при извержении типа «направленный взрыв» // *Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный)*. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 49-57.
9. *Рябинин Ю.Н., Родионов В.Н.* Оценка энергии вулканических взрывов // *Вулканизм и глубинное строение Земли. Труды Всесоюзного Вулканологического совещания*. Т. 3. М.: Наука, 1966. С. 56-60.
10. *Alidibirov M.* A model for viscous magma fragmentation during volcanic blasts // *Bulletin of Volcanology*. 1994. V. 56. P. 459-465. <https://doi.org/10.1007/BF00302827>
11. *Alidibirov M.* A model for the mechanism of the May 18, 1980 Mount St. Helens blast // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1995. V. 66. P. 217-225. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00065-0](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00065-0)
12. *Alidibirov M., Dingwell D.B.* Magma fragmentation by rapid decompression // *Nature*. 1996. V. 380. P. 146-148. <https://doi.org/10.1038/380146a0>
13. *Belousov A.* Deposits of the 30 March 1956 directed blast at Bezymianny volcano, Kamchatka, Russia // *Bulletin of Volcanology*. 1996. V. 57. P. 649-662. <https://doi.org/10.1007/s004450050118>
14. *Belousov A.B., Bogoyavelnskaya G.E.* Debris avalanche of the 1956 Bezymianny eruption // *Kagoshima International Conference on Volcanoes. Proceedings*. Japan, 1988. P. 460-462.
15. *Belousov A., Voight B., Belousova M.* Directed blasts and blast-generated pyroclastic density currents: a comparison of the Bezymianny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufrière Hills, Montserrat 1997 eruptions and deposits // *Bulletin of Volcanology*. 2007. V. 69(7). P. 701-740. <https://doi.org/10.1007/s00445-006-0109-y>
16. *Eichelberger J.C., Hayes D.B.* Magmatic model of the Mount St Helens blast of May 18, 1980 // *Journal of Geophysical Research*. 1982. V. 87. P. 7727-7738. <https://doi.org/10.1029/JB087iB09p07727>
17. *Gorshkov G.S.* Directed volcanic blasts // *Bulletin of Volcanology*. 1963. V. 26. P. 83-88.
18. *Richard D., Scheu B., Mueller S.P. et al.* Outgassing: Influence on speed of magma fragmentation // *Journal of Geophysical Research*. 2013. V. 118(3). P. 862-877. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50080>