

О МЕХАНИЗМАХ ОСЛАБЛЕНИЯ СКЛОНОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ОБРУШЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕК И КАЛЬДЕРНЫХ УСТУПОВ

И.Ф. Делемень

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: delemen@kscnet.ru

Гигантские гравитационные обрушения вулканов - одно из самых опасных природных явлений в окружающей среде, которые по своим масштабам, скоростям протекания процессов и по их катастрофическим последствиям сопоставимы с такими природными катастрофами, как кальдерообразующие взрывы, цунами и сильнейшие землетрясения. После катастрофического обрушения, произошедшего в 1980 г. на склоне г. Сент-Хеленс (США), данные о произошедших в прошлом гравитационных обрушениях были получены для многих других действующих и угасших вулканов мира, в том числе для вулканов Камчатки (Авачинского, Безымянного, Швелуч и др.). По подсчётам А.Б. Белоусова [Белоусов, 2006], в трёх из пяти наиболее катастрофических и очень сильных извержений, произошедших в Курило-Камчатском региона с начала XX века, извержения были спровоцированы крупномасштабным оползнем вулканической постройки.

Длительное время считалось, что гигантским обрушениям, сопровождающимся сходом катастрофических обломочных лавин, подвержены преимущественно положительные формы вулканического рельефа. Однако в последние годы появляется всё больше данных, что такие процессы являются одним из закономерных этапов развития кальдер.

Учитывая многочисленность терминов, используемых для обозначения рассматриваемых процессов, для обозначения процесса обрушения (независимо от причин, его вызвавших), будем использовать термин «коллапс», а связанные с ним отложения и формы рельефа назовём коллапсными.

На Камчатке крупное гравитационное обрушение произошло 3 июня 2007 г. в южном борту Долины Гейзеров, расположенной в пределах Узон-Гейзерной кальдерной депрессии [Пинегина и др., 2008]. Крупномасштабные гравитационные обрушения произошли в последние годы не только в Долине Гейзеров. Так, например, 26.03.2004 г. два крупных гравитационных обрушения со сходом грязе-каменных лавин в кальдере Бавакараенг на о. Сулавеси (Индонезия) привели к значительным человеческим жертвам.

Захороненные более молодыми отложениями оползневые тела вскрыты на глубинах около 1 км скважинами глубокого научного бурения, пробуренными в кальдере Лонг-Велли. Очевидно, что наличие крупноблоковых оползней является общей особенностью развития равновесного вертикального профиля кальдер, и такие оползни закартированы уже в нескольких эродированных кальдерах обрушения [Lipman, 2003].

Признаки крупных оползневых образований и гравитационных обрушений обнаружены в пределах вулканических структур и на других планетах на склонах гигантских вулканов (например, на флангах вулкана Олимпус Монс и в южной части кальдеры Арсия Монс на Марсе; предполагается гравитационно-оползневое происхождение склонов вулканических куполов в структурах типа «венец» Помона, Анахит, Бачуэи и др. на Венере; кратер Шеклтон, Луна).

В подготовке обрушения вулканических построек и кальдерных уступов можно выделить несколько этапов, каждый из которых можно было бы подразделить на более дробные стадии развития процесса.

Этап 1. Предыстория развития ослабления склона. Ещё до начала развития процессов ослабления вулканическая постройка приобретает достаточно сложное внутреннее строение. Как было показано нами ранее [Делемень, 1994], значительную роль в обеспечении устойчивости вулканической постройки играет соотношение слоёв лав и туфов в ней, наличие даек и силлов и т.д. Не менее важную роль играет также реальный рельеф вулканической постройки, особенно если форма её поверхности отличается от формы, соответствующей экспоненциальной образующей в вертикальном сечении [Делемень и др., 2004]. Всё это предопределяет место заложения будущего ослабленного сектора.

Этап 2. Ослабление склона. Наиболее часто встречаются модели магматических механизмов ослабления, предусматривающие воздействие на постройку избыточного магматического давления за счёт поступления в неё магматического материала. К таким моделям можно отнести механизмы внедрения мантиевых силлов или даек [Адушкин и др., 1995], роста магматических криптокуполов в теле постройки и т.д.

Ослабление склонов гидротермальными процессами на вулканических постройках может быть связано с деятельностью фумарол. Вероятно, именно с этим типом процессов ослабления связано снижение прочностных свойств вулканической постройки при подготовке обрушения западного сектора вулкана Комарова (хребет Гамчен), происшедшего около 1 тыс. лет, а также крупных обвалов, оползней и обрушений на вулкане Кихпиныч (Камчатка), Рейниер (США). В пределах кальдер ослабление склонов определяется в первую очередь гидротермальными процессами. Так, например, в кальдере Лонг-Велли оползень заложился не на склонах резургентного купола, а на участке, где по кольцевому разлому, контролирующему положение южного сектора кальдерного уступа, происходила разгрузка термальных вод глубинной гидротермальной системы [Suemnicht et al., 2007].

Этап 3. Триггеринг обрушения. Обрушение склона вулканической постройки или кальдерного уступа может произойти внезапно, в результате далеко зашедшего ослабления склона, когда прогрессирующее уменьшение прочностных свойств горного массива достигнет предела прочности породы на сдвиг или на растяжение. Однако чаще коллапс происходит раньше, за счёт того, что критическое значение прочностных свойств или дополнительная нагрузка на склон обеспечивается каким-либо естественным или технологическим процессом (механизм спускового крючка или же триггерный механизм, триггер). Роль триггера могут сыграть процессы различного генезиса, как эндогенные, так и экзогенные.

Среди эндогенных процессов значительное внимание уделяют землетрясениям. До настоящего времени не совсем ясно, какой из процессов, сопровождающих сейсмические события, является триггерным. Так, два обрушения, произошедшие 26.03.2004 г. в кальдере Бавакараенг, были вызваны землетрясением с силой 3 балла по шкале Рихтера, и роль спускового механизма сыграла вибрация [Suemnicht et al., 1973]. Нередко триггеринг обусловлен смещением по разлому, расположенному у основания ослабленного сектора, причём по таким разломам возможны неоднократные смещения при повторении землетрясений. В качестве примера можно привести гигантский оползень Хилина на южном фланге вулкана Килауэа (Гавайские острова, США), где по разлому Хилина отмечались сдвиговые смещения при землетрясении Ка'у (1868 г., магнитуда 7,9), а затем – при землетрясении Калапана (1974 г., магнитуда 7,2) [Ocubo, 1974]. Показано, что в некоторых случаях в качестве триггера могут выступать различные процессы, вызывающие объёмные деформации в толще осадочных пород, служащих основанием для вулканической постройки.

Этап 4. Обрушение и сход сухой каменной лавины или сход оползня. Проблема реконструкции механизмов обрушения по литолого-геологическому строению отложений, равно как принятия решения первичности обрушения или направленного взрыва по таким данным во многом связана с немногочисленностью наблюдений об очерёдности таких событий. В случаях, когда удавалось зафиксировать их последовательность с помощью записи барограмм или прямых наблюдений, временной промежуток был весьма незначителен, что дало основание И.В. Мелекесцеву назвать образующиеся при этом отложения обвальновзрывными и эксплозивно-обвальными [Мелекесцев, 2001]. При изучении палеолавин обрушения основную проблему представляет явление геологической конвергенции – появления одинаковых диагностических признаков для объектов различного происхождения. Так, например, оползневые отложения кальдеры Лонг-Велли длительное время рассматривались, как имеющие ледниковое происхождение. Л. Сиберт обращает внимание на то, что нередко отложения сухих обломочных каменных лавин, скатывающихся при гравитационном обрушении [Siebert, 1984], нередко принимаются за отложения пирокластических потоков, селей, лахаров.

При обвале и обрушении происходит фрагментация и дробления сталкивающихся блоков породы. Однако имеются отличия в гранулометрическом составе наполнителя, а также в размерах наиболее крупных глыб, слагающих отложений направленных взрывов и отложений сухих каменных лавин. Для первых типично уменьшение размерности наиболее крупных обломков по мере удаления от источника выброшенного материала, для вторых такая закономерность не устанавливается.

Этап 5. Постколлапсные процессы. Потеря гравитационной устойчивости постройки вулкана приводит к снятию литостатической нагрузки на питающую магматическую систему вулкана. При наличии в ней избыточного магматического давления обвал одного из секторов вулканического конуса или сход крупного оползня может спровоцировать направленный взрыв. Кроме того, как было предположено А.Б. Белоусовым, заметное уменьшение длины канала вулкана в результате обрушения конуса увеличивает магмопроводящую способность вулкана и интенсифицирует процесс не только того извержения, в ходе которого произошло обрушение, но и в целом активизирует деятельность вулкана на длительный период. Чем больше объём обрушения, тем больше, при прочих равных условиях, интенсифицируется процесс извержения.

Этап 6. Захоронение или эрозия гравитационно-коллапсных форм рельефа и отложений. Захоронение отложений более молодыми осадками приводит к тому, что в областях древнего вулканизма выявление коллапсных отложений и палеоморфоструктур затруднено. При интенсивном воздействии процессов эрозии и денудации итогом их деятельности может стать полное исчезновение таких образований. Развитие процессов пятащегося обрушения даже на современных кальдерах приводит к тому, что кромка кальдерного уступа с течением времени врезается даже в тела более молодых вулканических построек, обрамляющих кальдеру.

Сделан вывод о том, что гравитационное обрушение вулканических построек является закономерным процессом формирования вертикального профиля равновесия земной поверхности. Процессы обрушения повторяются во времени и имеют циклический характер. Для механизмов ослабления склонов вулканических процессов, а также процессов обрушения, триггерных явлений и коллапсных отложений типична конвергентность диагностических признаков.

Литература

Адушкин В.В., Зыков Ю.Н., Иванов Б.А. Численное моделирование лавинообразного обрушения вулкана Корякский // Вулканология и сейсмология, 1995. № 6. С. 82-93.

Аносов Г.И., Делемень И.Ф., Константинова Т.Г. Разжижение грунтов, оползневые процессы и сейсмическая опасность в вулканических районах // Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин Севера Пацифики. Т. 1. Магадан. 2003. С. 238-241.

Аносов Г.И., Константинова Т.Г., Делемень И.Ф. Разжижение грунтов, оползневые процессы и сейсмическая опасность в вулканических районах // Стратегия развития Дальнего Востока: возможности и перспективы. Т. 4. Экология. Хабаровск. Дальневосточная гос. науч. б-ка. 2003. С. 33-41.

Белоусов А.Б. Эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатского региона: механизм, динамика, закономерности образования отложений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. Москва. 2006.

Делемень И.Ф. Механизмы потери гравитационной устойчивости вулканической постройки (на примере Ключевского вулкана) // Вулканология и сейсмология, 1994. № 6. С. 64-80.

Делемень И.Ф., Уткин И.С., Уткина Л.И., Мельников Д.В., Жданова О.К. Анализ образующей вулканического конуса для выявления ослабленных секторов вулканической постройки (на примере Корякского вулкана, Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2004. № 4. С. 90-96.

Константинова Т.Г., Аносов Г.И., Делемень И.Ф. Оползневые и склоновые процессы в сейсмически и вулканически опасных районах // Сергеевские чтения. Вып. 6. М.: МГУ. 2004. С. 135-139.

Мелекесцев И.В. Новейшие гигантские эксплозивно-обвальные лавины катастрофических извержений вулкана Шивелуч на Камчатке: детерминированность и возможные причины // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск –Камчатский. ИВГиГ ДВО РАН. 2001. 428 с.

Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А. и др. Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33-45.

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. № 1-4. P. 357-365.

Lipman, P. Internal structure of exhumed calderas // Understanding a Large Silicic Volcanic System: An Interdisciplinary Workshop on Volcanic Processes in Long Valley Caldera-Mono Craters. 2003. NSF.

Ocubo C.H. Rock mass strength and slope stability of the Hilina slump, Kilauea volcano, Hawai'i // Journal of volcanology and geothermal research. 2004. Vol. 138. № 1-2. P. 44-76.

Omura, H.H., Kubota T. Landslide Disaster at Mt. Bawakaraeng Caldera, South Sulawesi, Indonesia // Kyushu Journal of Forest Research. 2006. № 59. P. 269 – 272.

Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev 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.

Siebert L. Large volcanic debris avalanches: characteristic of source areas, deposits, and associated eruptions // J. Vol. Geoth. Res. 1984. V. 22. P. 163 -197.

Suemnicht G.A., Sorey M.L., Moore J.N., Sullivan R. The shallow hydrothermal system of Long Valley caldera, California // Proceedings, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007. SGP-TR-183.