

ЭКЗОГЕННЫЙ И ЭНДОГЕННЫЙ ФАКТОРЫ ОБВАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВУЛКАНЕ МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ

Шевченко А.В., Свирид И.Ю.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский;
shevchenko@kscnet.ru

EXOGENOUS AND ENDOGENOUS FACTORS OF THE COLLAPSES AT MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO

Shevchenko A.V., Svirid I.Yu.

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky;
Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky;
shevchenko@kscnet.ru

Гравитационные обрушения построек активных вулканов или эруптивного материала в процессе извержения нередко сопутствуют вулканической деятельности. По внешнему эффекту крупные обвалы иногда даже можно принять за извержения, как, например, это произошло с обвалом на вулкане Ключевской в 1945 г., проинтерпретированным Б.И. Пийпом как пароксизмальное извержение [5]. Более того, геоморфологический эффект обвала крупной части постройки вулкана может на порядок превышать возможный эффект его извержения.

Одним из наиболее подверженных обвальным процессам активных вулканов является Молодой Шивелуч (Камчатка) – исследованию которого посвящена настоящая работа. Причины и предпосылки такой подверженности, а также взаимообусловленность гравитационных и эруптивных процессов в текущем цикле его деятельности (2001 г. – настоящее время) являются одной из самых актуальных и при этом – малоизученных тем в отечественной вулканологии.

Интенсивность обвальных процессов на вулкане Молодой Шивелуч возрастает с каждым новым циклом роста экструзивного купола в северной части кратера 1964 г. Так в первую фазу его формирования (1980-1981 гг.) относительно спокойный процесс экструзивного роста сопровождался слабой эксплозивной деятельностью и постоянными незначительными обрушениями и осыпаниями короны купола, которые формировали его осыпную мантию. Также наблюдался сход небольших раскаленных лавин. Отложение материала обрушений происходило в пределах агломератовой мантии у подножия купола. Рост купола прекратился в феврале 1981 г., его относительная высота к этому времени достигла 180 м, объем – 0,02 км³ [4].

В апреле 1993 г. экструзивная деятельность возобновилась и продолжалась до января 1995 г. В течение второй экструзивной фазы высота купола возросла до 300 м, объем – до 0,2 км³ [12]. Таким образом, за время извержения 1993-1995 гг. купол увеличился в 10 раз. В конце 1994 г. впервые отмечаются признаки ослабления постройки купола: следы просадок и оползания его юго-восточного сектора [15]. Это свидетельствует о достижении куполом критической массы, обусловленной пределом устойчивости его постройки. Обвальные отложения наблюдаются далее площади распространения агломератовой мантии, но еще не выходят за пределы южной части кратера. Если обвальные лавины предыдущего цикла были связаны с обрушениями затвердевшего экструзивного материала при выталкивании, то обвальными оползневыми процессами на постройке купола в 1994-1995 гг. являлись скорее самостоятельными (гравитационно обусловленными), нежели сопутствующими эруптивным.

Период деятельности, сопровождающийся наиболее крупными обвалами постройки купола Молодого Шивелуча, начался в 2001 г. На первый взгляд причина резкой интенсификации может показаться очевидной – достигнута критическая масса купола. Однако следует отметить, что с 2001 г.

и по настоящее время происходят частые крупные обрушения участков купола, а не одиночное – практически всей его постройки, – как это имело место 12 ноября 1964 г.

Еще одной значимой особенностью деятельности Молодого Шивелуча в настоящем эруптивном цикле является чередующаяся смена типов роста купола: эндогенного и экзогенного [13, 14]. Следует пояснить значение терминов «эндогенный» и «экзогенный» в данном случае.

Два типа куполов под такими названиями были впервые выделены в 1932 г. Х. Виллиамсом [20]. В.И. Влодавец [2] приводит определения этих терминов: «Обычно купола разделяют на эндогенные и экзогенные. К первым относят те из них, которые выросли путем первоначального расширения изнутри ... К экзогенным относят купола, которые образуются в результате выжимания ряда слоев вязкой лавы, перекрывающих друг друга» [2, с. 46], однако вслед за этим предлагает отказаться от такого разделения и вводит свою классификацию (не использовавшуюся в дальнейшем для описания существующих куполов). Тем не менее, в настоящее время разделение куполов на эндогенные и экзогенные является устоявшимся в зарубежной вулканологии и лежит в основе большинства современных исследований по данной теме. В русскоязычной вулканологической литературе данные термины использовались в работах Б.И. Пийпа [11] и А.А. Меняйлова [8].

Очевидно, что термины «эндогенный» и «экзогенный» были использованы Х. Виллиамсом в соответствии с подходом Лайелля [18] и Дели [17], а не Пенка [19]: в данном случае подразумевается «порождение» купола изнутри либо снаружи постройки вулкана, а не планеты Земля в целом. Тот факт, что сами по себе процессы образования как эндогенных, так и экзогенных куполов согласно получившей широкое распространение систематизации Вальтера Пенка принято (как и все вулканические) считать эндогенными не должен вызывать никаких противоречий.

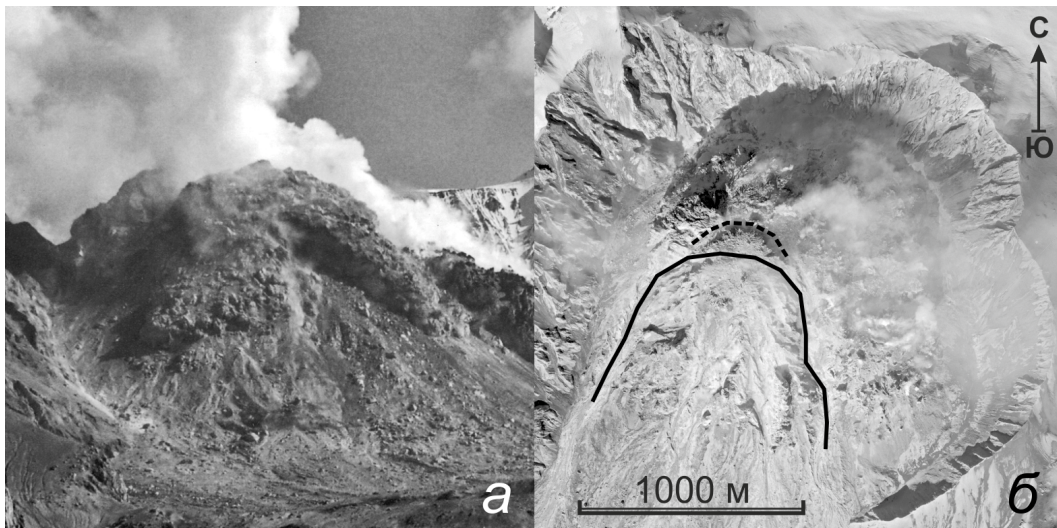


Рис. 1. Первые крупные обвалы на куполе вулкана Молодой Шивелуч: а – экзогенный купол 2002 г., впоследствии обрушившийся. Фото А.В. Сокоренко; б – эндогенный купол 07.10.2003 г. Фото В.Н. Двигало. Сплошной линией ограничен амфитеатр обрушений экзогенного купола 2002 г., пунктирной – просадка, сформированная сбросовым движением.

Рост купола вулкана Молодой Шивелуч в 2001 г. начался сразу по экзогенному типу [13, 14]. В 2003 г. на период не более одного года произошла обратная смена режима с экзогенного на эндогенный: в южном секторе происходило выжимание трех крупных блоков [14]. Также на стереоизображениях купола 2003 г. идентифицируются следы первых крупных обвалов. Очевидно, в результате выжимания блоков эндогенного купола покрывавший его экзогенный купол, образованный в 2002 г. (рис. 1а), обрушился. При этом в южном секторе купола вулкана Молодой Шивелуч были сформированы многочисленные обвальные образования, разделяемые участками более прочных пород и отдельными обелисками (рис. 1б). Южный блок вместе со своим подножием отделен от остальной части купола полукольцевым оврагом, верхняя часть которого образована просадками, боковые части – обрушениями. По всей видимости, данный овраг трассирует выход на поверхность купола поверхности скольжения, по которой происходило сбросовое движение. Эти события очень напоминают имевшие место на куполе вулкана Мерапи: «Западная часть этого купола 1942 г. в ноябре того же года осела на несколько метров вдоль сброса, полукруглого в плане» [1, стр. 189].

Первый обвал с образованием одиночной крупной шарра произошел ночью 9-10 мая 2004 г. (рис. 2а). По данным работы [10] он предварялся интенсификацией роста купола, сейсмические

предвестники отсутствовали. Во время, либо сразу после обвала началось эксплозивное извержение: множественные пепловые выбросы происходили с 10 по 12 мая. Во время облета 21 мая 2004 г. на вершине купола вулкана Молодой Шивелуч было обнаружено экструзивное образование экзогенного типа. По всей видимости, данный обвал был связан со сменой режима экструзивной деятельности.

В конце 2004 – начале 2005 г. на вулкане Молодой Шивелуч отмечался высокий уровень эксплозивной активности. На спутниковых снимках с декабря 2004 г. по февраль 2005 г. дешифрируются следы многочисленных пирокластических потоков, сходявших по его южному склону. Заметных морфологических изменений на куполе вулкана Молодой Шивелуч в этот период не наблюдалось.

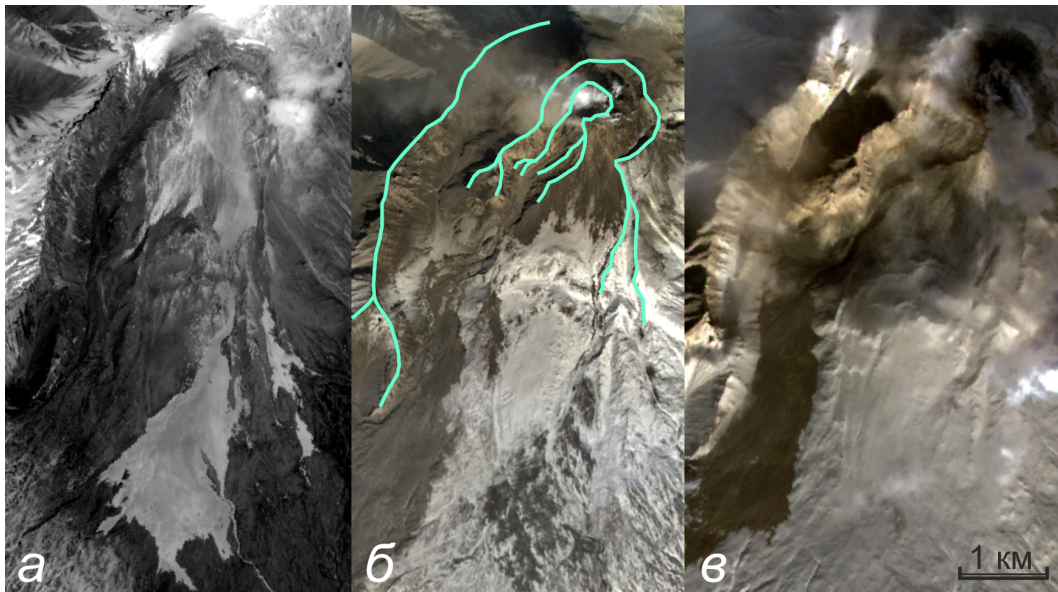


Рис. 2. Спутниковые снимки ASTER: *а* – 21.05.2004 г.; *б* – 12.03.2005 г.; *в* – 22.12.2007 г. Линиями на снимке *б* показаны контуры обрушений.

27.02.2005 г. произошел ряд событий, интерпретированных в работах [3, 7] как самое сильное извержение после 1964 г. Детальный анализ морфологических особенностей этих событий позволяет заключить, что ведущая роль в них принадлежала гравитационным процессам. На ЮЗ склоне постройки Молодого Шивелуча образовалась типичная обвальная форма – шарра (рис. 2б). Весь переотложенный и изверженный твердый материал при событиях 27.02.2005 г. перемещался только по поверхности шарра. Доля переотложенного материала является существенной, поскольку объем обрушившейся части купола составляет не менее $0,11 \text{ км}^3$. Таким образом, эти в значительной мере обвальные отложения не могут ассоциироваться с одиночным пирокластическим потоком, как считалось прежде.

Интересной особенностью является полное подобие контуров, ограничивающих отрицательные формы, образовавшиеся при событиях 12.11.1964 г. и 27.02.2005 г., а также – по западной кромке – и при верхнеплейстоценовом обрушении. Это подобие может свидетельствовать о подобии процессов их образования и, в частности, – о ведущей роли гравитационных процессов, поскольку, очевидно, что образование шарра 27.02.2005 г. предшествовало образованию открытого в нее округлого в плане обвально-эксплозивного кратера на вершине купола.

К концу 2007 г. отрицательные обвальные формы, образовавшиеся 27.02.2005 г., заполнились. Новый обвал произошел 18.12.2007 г. (рис. 2в) в том же самом секторе постройки вулкана Молодой Шивелуч что и обвально-эксплозивные события 27.02.2005 г. При сравнении контуров отрицательных форм, образованных 27.02.2005 г. и 18.12.2007 г., можно отметить что их нижняя часть фактически совпадает, в то время как, по сравнению с предыдущим, верхняя часть контура шарра 18.12.2007 г. захватывает большую площадь постройки купола, но при этом она имеет меньшую глубину. События 18.12.2007 г. представляют собой обвал, начавшийся с перемещения рыхлого материала, заполнявшего нижнюю часть шарра 27.02.2005 г. Далее обвальный процесс перекинулся на вершинную часть постройки купола, вследствие некоторых причин потерявшей устойчивость, и привел к образованию одиночной шарра более протяженной, чем 27.02.2005 г. Этот обвал предварялся резким возрастанием сейсмической активности: в течение предшествовавших ему 7 дней произошло пятикратное увеличение суточного количества поверхностных землетрясений. Скорее

всего, причиной данного обвала были сейсмические события в постройке вулкана Молодой Шивелуч.

Наиболее крупный обвал части постройки купола произошел 27 октября 2010 г. Обрушением была охвачена почти половина купола, фрагменты короны остались только в его северо-западном секторе. Вместе с короной обрушилась вся юго-восточная часть осыпной мантии. Объем обрушения составил $0,28 \text{ км}^3$, его материал был вынесен за пределы постройки вулкана Молодой Шивелуч по руслу р. Кабеку на 16 км [6].

В течение 13 дней, предшествовавших обвалу, наблюдалось резкое снижение сейсмической активности в постройке, 17.10.2010 г. – сейсмичность – ниже уровня регистрации, в последующую неделю – фоновая. Возобновление сейсмической активности началось 26.10.2010 г. (немного выше фона – 11 событий), 27.10.2010 г. отмечено 42 события. Парогазовая деятельность вулкана Молодой Шивелуч в конце 2010 г. была относительно слабой, взрывные события в течение ближайших дней и недель перед обвалом отсутствовали, и, таким образом, его наиболее вероятным происхождением является сейсмогенное.

Небольшая (объемом около $0,0035 \text{ км}^3$) взрывная воронка в СЗ части шарра, по всей видимости, возникла в результате взрыва, имеющего декомпрессионное происхождение и случившегося по причине резкого сброса давления вышележащих пород вследствие обвала. Механизм таких декомпрессионных взрывов описан в работе [16].

В некоторых работах [3, 7, 9] этот обвал был интерпретирован как крупное взрывное извержение, а обвальные отложения – как отложения пирокластического потока. Однако, образовавшаяся в 2010 г. отрицательная форма рельефа в вершинной части купола представляет собой классическое обвальное образование – шарра, сильно сужающееся книзу, а не взрывную воронку. Движение перемещенного материала происходило по желобу шарра, а не по баллистическим траекториям взрыва, поскольку на аэрофотоснимках 22.11.2010 г. наблюдается незначительное количество взрывных отложений на склонах вулкана Молодой Шивелуч.

Кроме обвалов части постройки эндогенного купола на вулкане Молодой Шивелуч постоянно происходят обрушения экзогенных экструзивных образований: их формирование происходит неразрывно с процессами последующего постоянного разрушения [14]. Лавы современного цикла деятельности, выжимаемые из периодически возникающих временных эруптивных центров, вследствие претерпевания характерных для экструзивного процесса около- и постсолидификационных деформаций в значительной мере разупрочнены и легко обрушаются при крупных взрывах, а также непосредственно под действием силы тяжести [15]. Обвалы экзогенного купола и его глыбового панциря также зачастую принимаются за пирокластические потоки или взрывные извержения.

В 2012 г. почти весь объем шарра, образованной обвалом 2010 г. заполнился новым экструзивным материалом. Интенсивность обвальных процессов в 2012 г. по сравнению с периодом 2003-2010 гг. резко снизилась, возможно – по причине перемещения эруптивного центра в северный сектор купола, являющийся более устойчивым вследствие наличия подпоры в виде кратерной стенки.

Таким образом, хотя все обвальные процессы, в том числе и на активных вулканах, в соответствии с систематизацией Вальтера Пенка принято относить к экзогенным, следует учитывать, что они обусловлены главным образом вулканической, то есть эндогенной деятельностью. Эндогенными факторами обвальных процессов на вулкане Молодой Шивелуч являются: экструзивный тип деятельности, обуславливающий низкую прочность пород; подвижки в постройке купола; вулканогенные и тектонические землетрясения; высокие температура и газонасыщенность изверженного материала; положение эруптивного центра, а также крупные взрывы. В свою очередь взрывные события также могут быть вызваны декомпрессией газонасыщенных пород при обвалах. Вследствие такой взаимообусловленности обвальные процессы в некоторых случаях могут рассматриваться в составе эруптивных.

ВЫВОДЫ

1. При морфологическом анализе обвальных форм 27.02.2005 г. отмечено подобие с формами кратера обрушения 12.11.1964 г., а по западной кромке – также и верхнеплейстоценового обрушения, что, возможно, свидетельствует о подобии процессов образования этих форм.
2. Прослеживается взаимосвязь наиболее крупных обвалов со сменой типа экструзивной деятельности, либо – с сейсмическими событиями в постройке вулкана. Возможно, что смена типа сопровождается перестройкой купола, проявляющейся также существенными деформациями его постройки, приводящими к последующим разрушениям.
3. Экструзивный материал вследствие претерпевания около- и постсолидификационных

деформаций разупрочнен (по сравнению с эффузивным) и вследствие этого в большей мере подвержен воздействию гравитационных процессов.

4. Обвальные процессы на активных вулканах могут быть обусловлены эндогенными факторами и в некоторых случаях могут быть отнесены к эруптивным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Беммелен Р.В. Геология Индонезии. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1957. 395 с.
2. Влодавец В.И. О вулканологической терминологии // Бюлл. вулканологической станции. 1954. № 21. С. 43-46.
3. Гирина О.А., Маневич А.Г., Ушаков С.В., Мельников Д.В., Нурдаев А.А., Коновалова О.А., Демянчук Ю.В. Активность вулканов Камчатки в 2010 г. // Тезисы докладов региональной конференции, посвященной дню вулканолога, 30 марта – 1апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 20-26.
4. Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104-109.
5. Двигало В.Н., Мелекесцев И.В. Крупные современные обвалы на конусе вулкана Ключевской (по результатам ревизии последствий событий 1944-1945 и 1984-1985 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 1. С. 3-17.
6. Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В., Сокоренко А.В., Демянчук Ю.В. Состояние активных вулканов Северной Камчатки по данным аэрофотосъемочных облетов и фотограмметрической обработки снимков 2010 г. // Материалы региональной конференции, посвященной дню вулканолога, 30 марта – 1апреля 2011 г. // Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 26-36.
7. Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Крупные эксплозивные извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) с частичным разрушением экструзивного купола 28 февраля 2005 г. и 27 октября 2010 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 2. С. 48-62.
8. Овсянников А.А., Маневич А.Г. Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2 (16). С. 7-9.
9. Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В. Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75-80.
10. Пийп Б.И. Новое эруптивное состояние вулкана Шивелуч с конца 1944 по май 1945 гг. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях // Бюлл. вулканологической станции на Камчатке. 1948. № 14. С. 38-51.
11. Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А., Иванов В.В., Селиверстов Н.И., Хубуная С.А., Демянчук Ю.В., Марков И.А., Осипенко Л.Г., Смелов Н.П. Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 3-15.
12. Шевченко А.В., Свирид И.Ю. Геоморфологические особенности формирования современного купола вулкана Молодой Шивелуч // Материалы XI Региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле», 26 ноября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2013. С. 45-60.
13. Шевченко А.В., Свирид И.Ю., Двигало В.Н. Формирование экзогенного купола вулкана Молодой Шивелуч // Материалы региональной конференции, посвященной дню вулканолога // Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 127-133.
14. Шевченко А.В., Свирид И.Ю. Обвальные процессы на современном куполе вулкана Молодой Шивелуч // Материалы XIII Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки» 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 129-142.
15. Alidibirov, M., Dingwell, D.B., 1996. Magma fragmentation by rapid decompression. Nature 380. P. 146-149.
16. Daly R.A. Igneous Rocks and Their Origin New York: McGraw-Hill Book Co., 1914. 563 p.
17. Lyell Ch. Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth Surface Vol. 3 London: John Murray, 1833. 398 p.
18. Penck W. Die morphologische analyse: ein kapitel der physikalischen geologie Stuttgart: J. Engelhorn's nachf., 1924. 283 s.
19. Williams H. The history and character of volcanic domes California University Publications, Geol. Sci. Bull. 1932. V. 21. P. 51-146.