

УДК 551.21.032+ 551.435.6

## ОБВАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА СОВРЕМЕННОМ КУПОЛЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ

***Шевченко А.В., Свирид И.Ю.***

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

*Научный руководитель: д.г.-м.н. Мелекесцев И.В.*

На основе дешифрирования и фотограмметрической обработки спутниковых и аэрофотоснимков выявлены и исследованы обвалы современного купола вулкана Молодой Шивелуч. Составлено описание порожденных гравитационными процессами форм, образование которых сопровождало последнему (2001 г. – настоящее время) и предшествующему (1993 – 1995 гг.) эруптивным циклам. Обнаружена интенсификация обвальных процессов и произведен поиск возможных обуславливающих ее факторов. Показано, что увеличение частоты и масштаба обрушений постройки экструживного купола сопряжено с увеличением его размеров и, следовательно, с приближением массы его постройки к пределу устойчивости. Выявлено подобие обвально-эксплозивных форм для обрушений 1964 и 2005 гг., а по западной кромке – также и для верхнеплейстоценового, что может свидетельствовать о подобии процессов их образования.

*Ключевые слова: вулкан Молодой Шивелуч, экструживный купол, обвальные процессы*

### ВВЕДЕНИЕ

Молодой Шивелуч является одним из самых активных вулканов Камчатки. Его активность имеет преимущественно экструживно-эксплозивный характер. Кроме того, на протяжении последнего цикла деятельности, начавшегося в 2001 г. и продолжающегося по настоящее время, существенную роль в движении изверженного материала играли, в дополнение к сугубо эруптивным, гравитационные процессы. Их значение, недооценивавшееся прежде, – основная тема настоящей работы. Также, ее предметом является взаимосвязь оползневых и обвальных процессов с динамикой извержения и выявленными в предыдущих работах авторов [14, 15] особенностями его характера.

## МОРФОДИНАМИКА ОБВАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В августе 1980 г., после 16-летнего перерыва в эруптивной деятельности начался новый цикл экструзивной активности вулкана Молодой Шивелуч. К концу 1981 г. в центре северной части кратера Молодого Шивелуча сформировался небольшой купол высотой 180 м и объемом 0,02 км<sup>3</sup> [5]. Происходило спокойное выжимание тела, по форме близкого к цилиндрическому (рис. 1). Этот процесс 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 [8]. Рост купола прекратился в феврале 1981 г., в дальнейшем его форма менялась только за счет эксплозивных, просадочных и обвальных процессов.



Рис. 1. Экструзивный купол вулкана Молодой Шивелуч 30.10.1980 г.  
Фото В.Н. Двигало.

В апреле 1993 г. экструзивная деятельность возобновилась и продолжалась до января 1995 г. В течение второй экструзивной фазы высота купола достигла 300 м, объем – 0,2 км<sup>3</sup> [13]. Таким образом, за время извержения 1993-1995 гг. купол увеличился в 10 раз. На стереоизображении 01.10.1994 г. впервые отмечаются признаки ослабления постройки купола: следы просадок и оползания его юго-восточного сектора (рис. 2). 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 вызваны выталкиванием нового экструзивного материала, то обвально-оползневые процессы на постройке купола в 1994 г. являлись сугубо гравитационными.

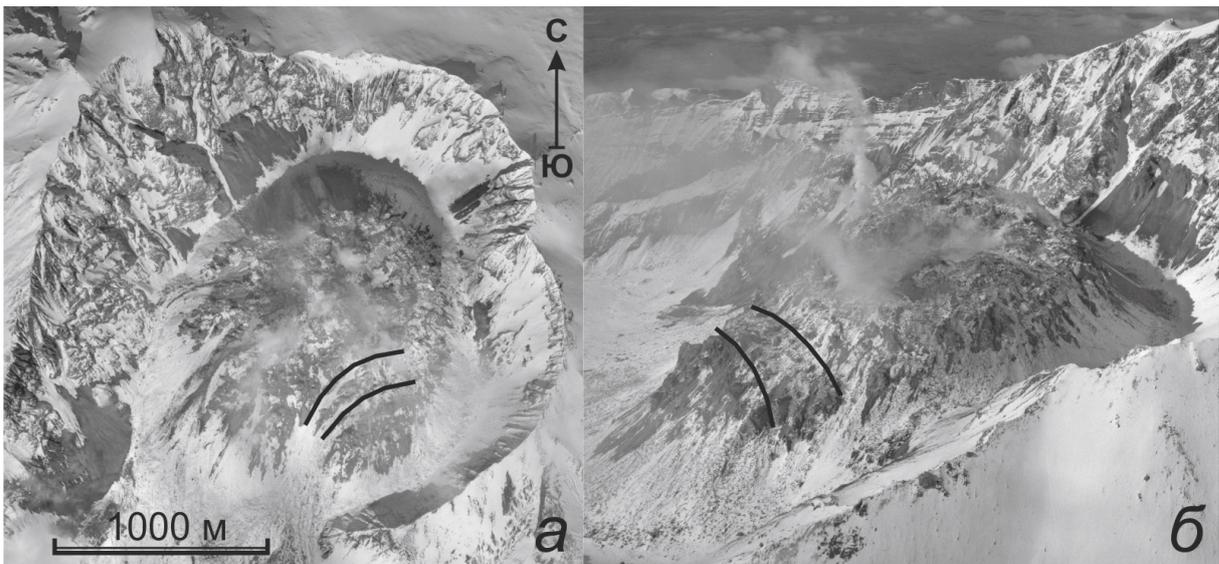


Рис. 2. Купол вулкана Молодой Шивелуч 01.10.1994 г. Фото В.Н. Двигало. *а* – плановый снимок; *б* – перспективный снимок, вид с востока. Линиями показаны просадки юго-восточного сектора купола. Здесь и далее указанный линейный масштаб соответствует среднему значению для отображенных участков местности.

Период деятельности, сопровождающийся наиболее крупными обвалами постройки купола Молодого Шивелуча, начался в 2001 г. В работах [14, 15] отмечено, что при этом эндогенный рост купола сменился на экзогенный. Вполне возможно, что смена типа экструзивной деятельности со-

проводится перестройкой купола, проявляющейся также существенными деформациями его постройки, приводящими к последующим разрушениям.

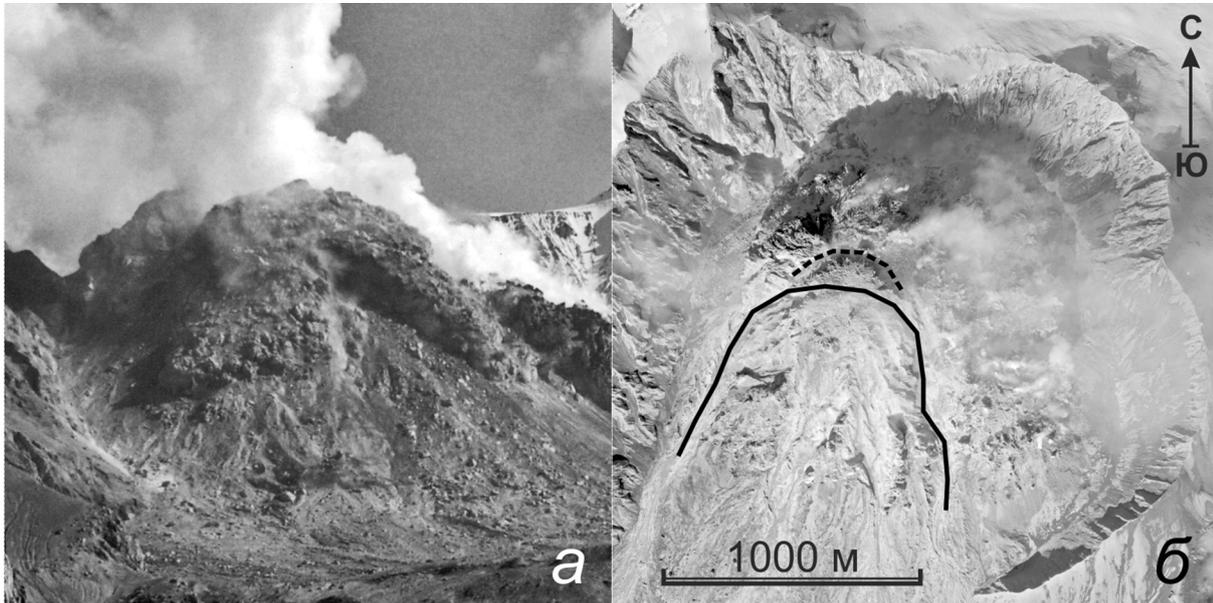


Рис. 3. Первые крупные обвалы на куполе вулкана Молодой Шивелуч. *а* – экзогенный купол 2002 г., впоследствии обрушившийся. Фото А.В. Сокоренко. *б* – эндогенный купол 07.10.2003 г. Фото В.Н. Двигало. Сплошной линией ограничен амфитеатр обрушений экзогенного купола 2002 г., пунктирной – просадка, сформированная сбросовым движением.

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 [15]. 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. 3а), обрушился. При этом в южном секторе купола вулкана Молодой Шивелуч были сформированы многочисленные обвальные образования, разделяемые участками более прочных пород и отдельными обелисками (рис. 3б). 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 сброс-

совое движение. Эти события очень напоминают имевшие место на куполе вулкана Мерапи (рис. 4): «Западная часть этого купола 1942 г. в ноябре того же года осела на несколько метров вдоль сброса, полукруглого в плане» [1, стр. 189].

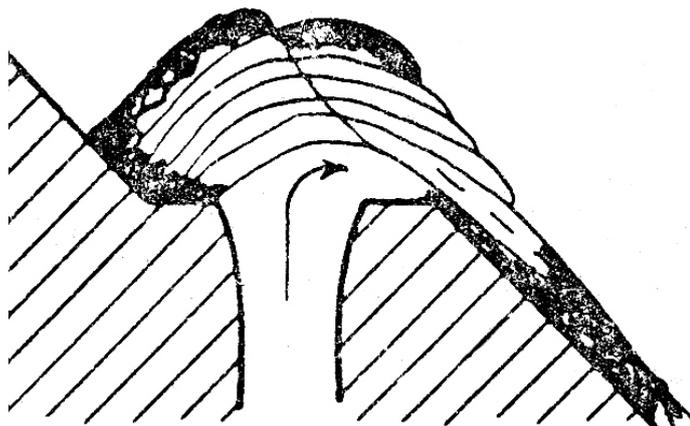


Рис. 4. Сечение купола вулкана Мерапи с полукруглым в плане сбросом в западной части. Рисунок из работы Р. В. Ван Беммелена [1].

Первый обвал с образованием одиночной крупной шарра произошел ночью 9-10 мая 2004 г. (рис. 5а). По данным работы [12] 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. Скорее всего, 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.

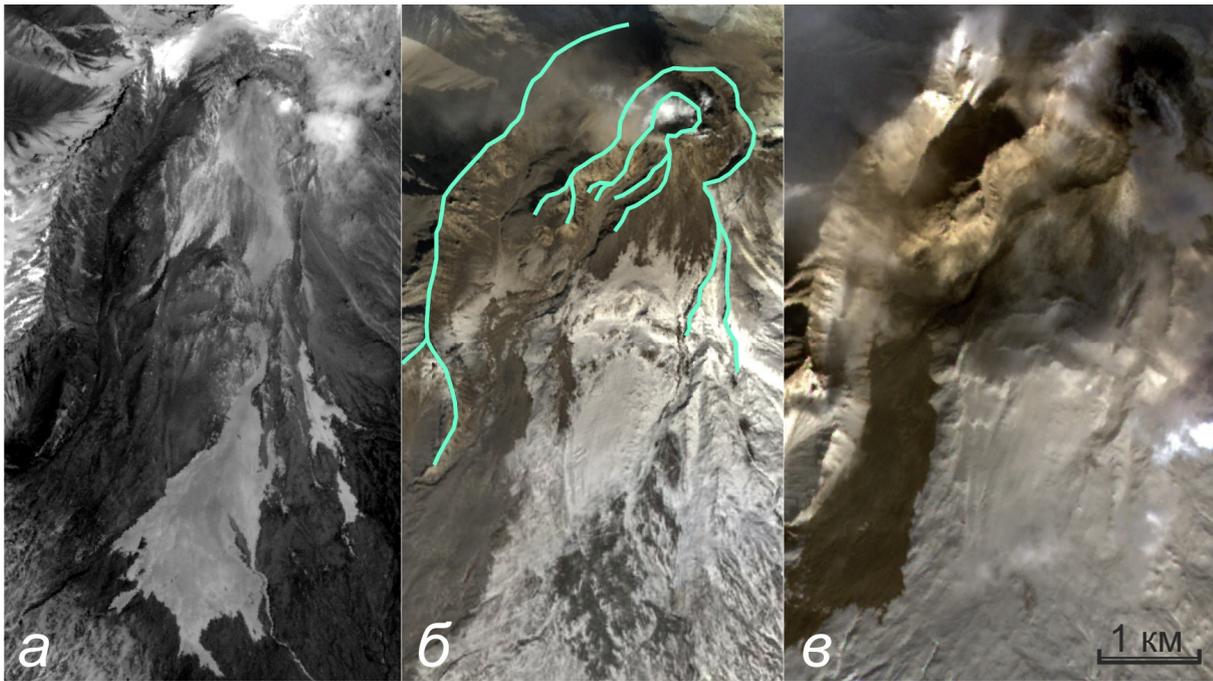


Рис. 5. Спутниковые снимки ASTER: *а* – 21.05.2004 г.; *б* – 12.03.2005 г.; *в* – 22.12.2007 г. Линиями на снимке *б* показаны контуры обрушений.

27.02.2005 г. произошел ряд событий, интерпретированных в ряде работ [2, 3, 7, 9, 10] 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. 5б). 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 обвального-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. 5в) в том же самом секторе постройки вулкана Молодой Шивелуч что и обвального-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 обвальное явление перекинулось 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 предвещался 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.

Кроме обвалов части постройки эндогенного купола на вулкане Молодой Шивелуч постоянно происходят обрушения экзогенных экструзивных образований, так как их формирование происходит неразрывно с процессами последующего постоянного разрушения [15]. Обвалы экзогенного купола и его глыбового панциря зачастую принимаются за пирокластические потоки или взрывные извержения. Примером таких событий может служить обвал 14.10.2008 г., показанный на рис. 6в. Из данных EXIF этого снимка следует, что выдержка при его получении составляла 5 сек. Исходя из величины смаза изображения движущейся лавины, не превы-

шающего в масштабе рельефа местности 75 м, мы можем заключить, что ее скорость не превышала 15 м/сек. Эта характеристика является еще одним свидетельством того, что на снимке запечатлена обвальная лавина, а не пирокластический поток, поскольку типичная скорость движения последнего составляет 40-50 м/сек.

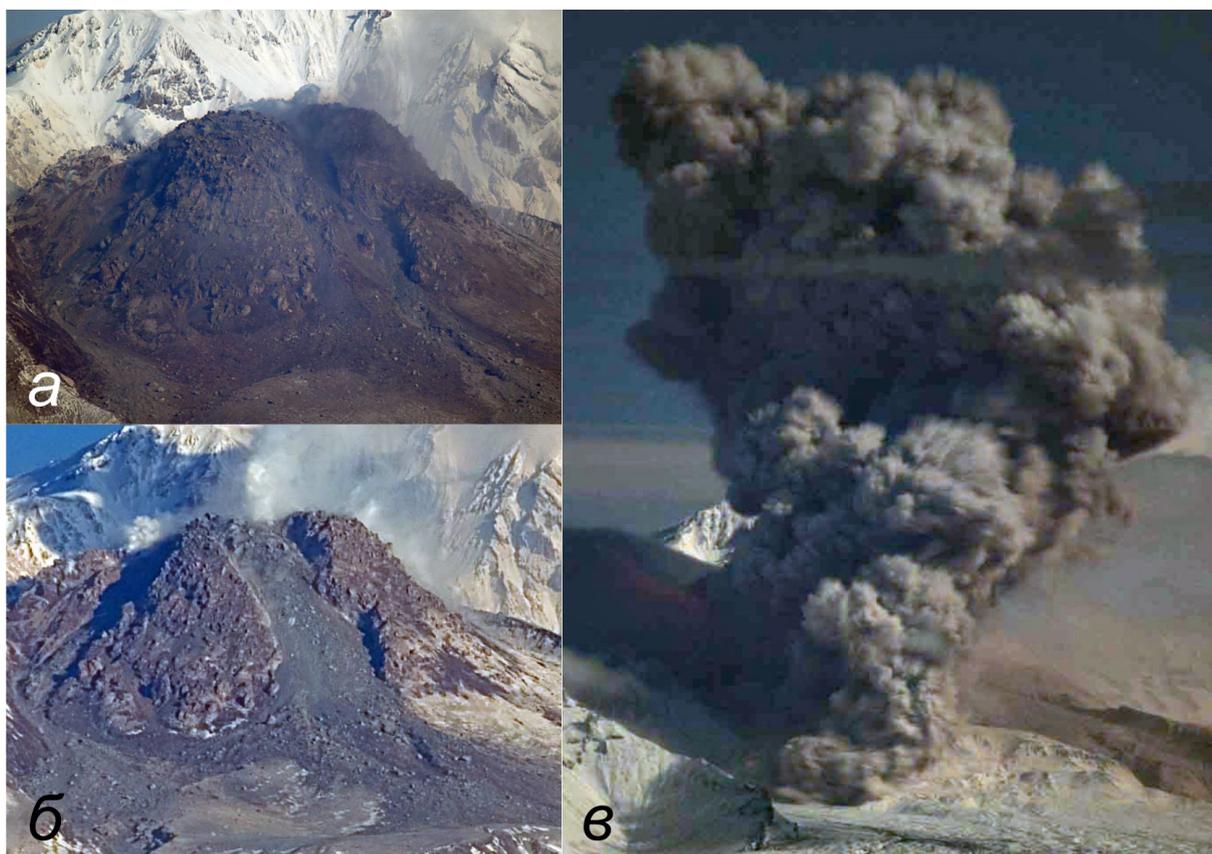


Рис. 6. Обрушение экзогенных экструзивных образований с постройки купола: *а* – 10.10.2008 г.; *б* – 29.10.2008 г.; *в* – 14.10.2008 г.  
Фотографии Ю.В. Демянчука.

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 (рис. 7а). 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].

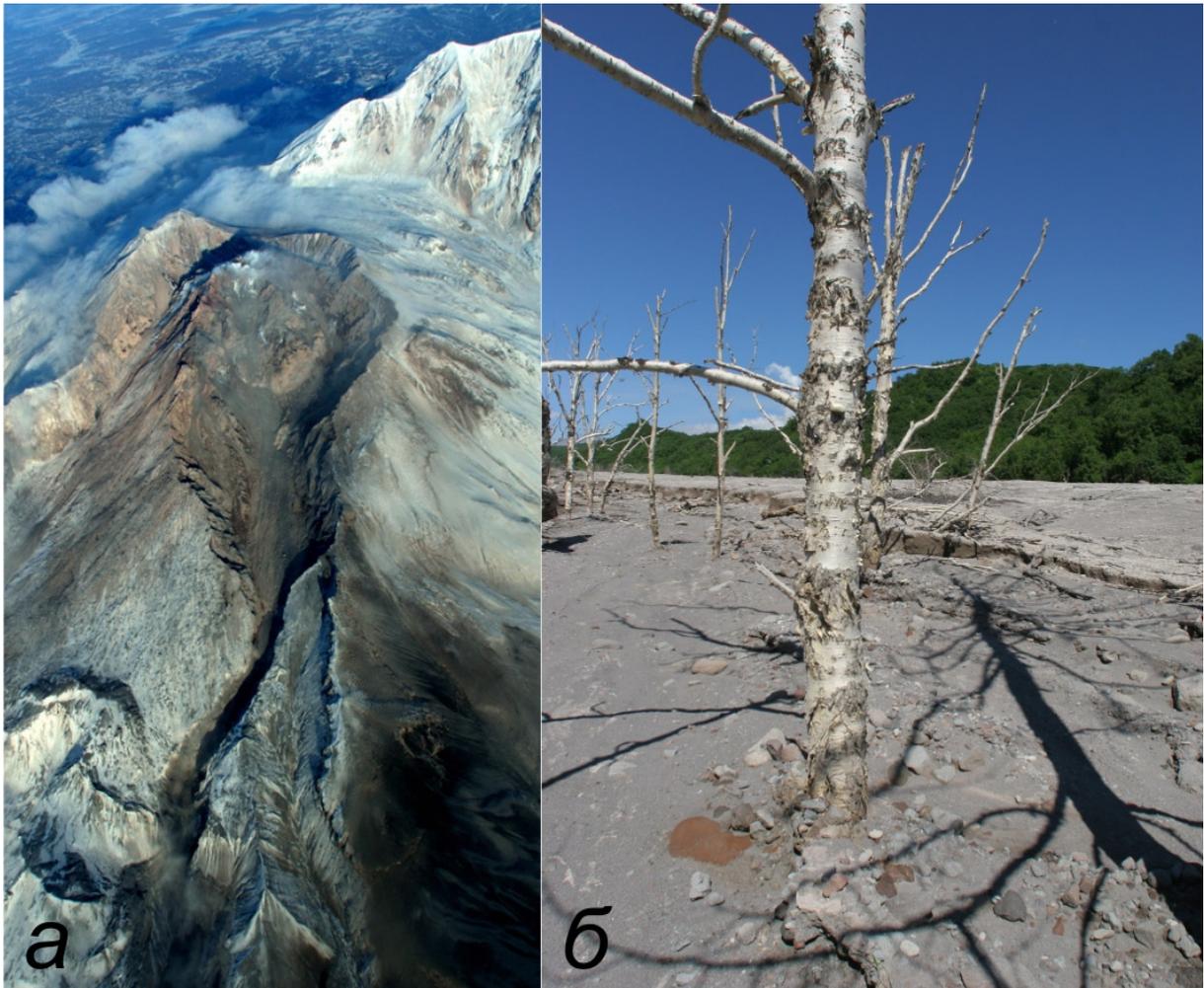


Рис. 7. Крупный обвал постройки купола 27.10.2010 г.: *а* – шарра, образованная обвалом; *б* – деревья в обвальных отложениях.

В течение 13 дней, предшествовавших обвалу, наблюдалось резкое снижение сейсмической активности в постройке, 17.10.2012 г. – сейсмичность – ниже уровня регистрации, в последующую неделю – фоновая. Возобновление сейсмической активности началось 26.10.2005 г. (немного выше фона – 11 событий), 27.10.2012 г. отмечено 42 события. Парогазовая деятельность вулкана Молодой Шивелуч в конце 2010 г. была относительно слабой, эксплозивные события в течение ближайших дней и недель перед обвалом отсутствовали, и, таким образом, его наиболее вероятным происхождением является сейсмогенное.

Небольшая (объемом около  $0,0035 \text{ км}^3$ ) эксплозивная 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 [2, 4, 7, 9, 11] этот обвал был интерпретирован как крупное эксплозивное 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 эксплозивную воронку. Движение перемещённого 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.

Существенным несоответствием указанных работ в отношении фактов и их интерпретации является описание отложений, исключительно как отложений потока ювенильной пирокластики. При этом полностью игнорируется во-первых – тот факт, что обрушившийся с купола (т. е. резургентный) материал объемом  $0,28 \text{ км}^3$  должен быть представлен в отложениях, а во-вторых – характер движения обвальных масс, существенно отличающийся от типичного для ювенильной пирокластики.

При посещении вулкана летом 2012 г., одним из авторов настоящей работы были обнаружены деревья, находившиеся на пути лавины, кора которых не была повреждена выше уровня поверхности отложений (рис. 7б). На большой берёзе, находящейся посреди «поля отложений пирокластики», распустились листья. В случае настоящего пирокластического потока это не было бы возможным, так как раскалённые массы пирокластики, взвешенные в горячем потоке воздуха, спускаясь по склонам вулкана со скоростью до 50 м/сек сметают и сжигают всё на своём пути.

В отношении отличительных признаков для пирокластического потока и обвальной лавины следует отметить, что ими не могут являться факты повреждения деревьев с обугливанием древесины и нахождения пи-

рокластического материала в отложениях сами по себе. Эти факты действительно имели место при событиях 27.10.2010 г., как отмечено в работе [11]. Однако, следует обратить внимание на некоторые обнаруженные при непосредственном обследовании так называемого «поля отложений пирокластики 27.10.2010 г.» особенности.

Так, совершенно не наблюдалось деревьев, испытавших воздействие «пирокластической волны» – ободранных, опаленных до макушек и искореженных «словно застывших на ветру». Стволы поваленных деревьев практически не имели повреждений и, очевидно, были обломлены у самого корня под натиском массы обвального материала. Характер повреждений коры деревьев был преимущественно абразивным, несильное обугливание оголенной древесины наблюдалось только в местах непосредственного ее контакта с отложениями. Кора, даже самая тонкая береста молодых погибших березок, не была опалена выше первых сантиметров от уровня отложений.

Необходимо понимать, что отложения обвала 27.10.2010 г. представляли собой не что иное, как материал, перемещенный с вершины активного купола изверженный сравнительно недавно. В значительной мере этот материал был представлен массами пирокластики, отложенной на вершине купола – еще достаточно свежей и горячей, чтобы ее легко было принять за ювенильную по внешним признакам, но уже несколько остывшей и лишенной свойства автоэксплозивности, то есть неспособной к движению подобно ювенильному пирокластическому потоку, и тем более не являющейся ювенильной пирокластикой. Судя по относительно слабому обугливанию деревьев температура отложений обвала 27.10.2010 г. составляла 200-250° С.

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 снизи-

лась, возможно – по причине перемещения эруптивного центра в северный сектор купола, являющийся более устойчивым вследствие наличия подпоры в виде северной стенки кратера.

## ВЫВОДЫ

1. Экструзивная деятельность вулкана Молодой Шивелуч сопровождается крупными обвалами и другими гравитационными процессами.
2. Изучению обвальных процессов уделяется недостаточно внимания: зачастую крупные обвалы принимаются за эксплозивные извержения.
3. 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 подобию процессов образования этих форм.
4. Прослеживается взаимосвязь наиболее крупных обвалов со сменой типа экструзивной деятельности, либо – с сейсмическими событиями в постройке вулкана.
5. Обвальные лавины, возникающие при обрушении постройки купола, представляют серьезную опасность на территориях, прилегающих к южному сектору вулкана Молодой Шивелуч.

Авторы выражают благодарность В.Н. Двигало за помощь в работе, а также Ю.В. Демянчуку и А.В. Сокоренко за предоставленные снимки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Беммелен Р.В. Геология Индонезии. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1957. 395 с.
2. Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Маневич А.Г. Активность вулкана Шивелуч по видео и спутниковым данным // Вулканизм и геодинамика. Материалы V Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, г. Екатеринбург, 21-25 ноября 2011 г. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2011. С. 410-413.
3. Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В., Ушаков С.В., Овсянников А.А., Сокоренко А.В. Новая пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.

4. *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 «Современный вулканизм и связанные с ним процессы», 30 марта – 1апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 20-26.
5. *Двигало В.Н.* Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104-109.
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 // 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. *Иванов Б.В., Чирков А.М., Дубик Ю.М., Гаврилов В.А., Степанов В.В., Руленко О.П., Фирстов П.П.* Состояние вулканов Камчатки и Курильских островов в 1980 г. // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 99-104.
9. *Курочкина Т.А.* Особенности пирокластических пород современных извержений вулкана Шивелуч // Материалы XII Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки», 16 апреля 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2013. С. 65-78.
10. *Нурдаев А.А., Гирина О.А., Мельников Д.В.* Некоторые результаты изучения пирокластических отложений извержений 28 февраля и 22 сентября 2005 г. вулкана Молодой Шивелуч наземными и дистанционными методами // Вестник КРАУНЦ. Науки и Земле. 2005. № 2 (6). С. 62-66.
11. *Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2 (16). С. 7-9.
12. *Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В.* Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75-80.
13. *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.
14. *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.
15. *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.
16. *Alidibirov, M., Dingwell, D.B., 1996.* Magma fragmentation by rapid decompression. Nature 380. P. 146-149.

COLLAPSING PROCESSES OF THE CURRENT LAVA DOME AT  
MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO

*Shevchenko A.V., Svirid I.Yu.*

This work presents the study of current collapsing processes at Molodoy Shiveluch Volcano on the base of interpretation and photogrammetric processing of aerial and satellite imagery. The authors describe landforms caused by the gravitational processes over the latest eruptive period (2001 - present) and the previous period (1993-1995). The intensification of the collapsing processes was detected and its possible causing factors were suggested. The increasing of frequency and extent of the dome collapses is associated with the increasing of its size and therefore with the dome edifice reaching the stability limit. The paper reveals the similarity of the 1964, 2005 and Upper Pleistocene (only for western edge) collapse-explosive landforms.

*Keywords: Molodoy Shiveluch Volcano, lava dome, collapsing processes*