

УДК 551.435.627+528.74

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО КУПОЛА 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.*

В работе дана новая интерпретация процессов формирования современного экструзивного купола вулкана Молодой Шивелуч. Авторы вводят терминологию, ранее не используемую в отечественной вулканологии, которая дает новый взгляд на происходящие на вулкане процессы и позволяет глубже понять механизм его современной экструзивной деятельности. Установлено, что в 2001 г. произошла смена типа экструзивной активности с эндогенного на экзогенный. Также было показано отсутствие ранее предполагаемых эффузивных процессов на куполе в настоящее время.

*Ключевые слова: вулкан Молодой Шивелуч, экзогенный купол, структуры расщепления, глыбовый панцирь*

### ВВЕДЕНИЕ

Массив Шивелуч расположен в северной части Центральной камчатской депрессии. В голоцене вулканическая деятельность массива была сосредоточена главным образом в его юго-западной части, где происходило формирование вулканического аппарата Молодого Шивелуча. Активность Молодого Шивелуча имеет преимущественно экструзивно-эксплозивный характер. Экструзивная деятельность сопровождается различной силы эксплозиями, периодически происходят катастрофические извержения и обвалы, приводящие к значительному разрушению постройки вулкана.

Современная экструзивная активность вулкана Молодой Шивелуч возобновилась в 1980 г., спустя 16 лет после катастрофического извержения 1964 г. Рост купола, происходивший в 1980–1982 гг. и 1993–1995 гг., был детально изучен в результате систематических комплексных

исследований [2, 6]. Дальнейшее формирование купола, которое продолжается с 2001 г. по настоящее время, исследовано уже не так тщательно по причине высокой опасности его непосредственных наблюдений, а также отсутствия систематических аэрофотосъемок вулкана Молодой Шивелуч.

В настоящей работе на основе собранных фотоматериалов дается интерпретация происходящих на вулкане событий с целью восполнить пробелы в исследовании формирования современного экструзивного купола.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Аэрофототопографическая съемка купола не выполнялась с 2003 по 2010 гг. Вследствие этого отсутствует материал для построения цифровых моделей рельефа и определения точных количественных параметров фотограмметрическим методом. По этой причине авторы применили визуальное дешифрирование стереопар, составленных по плановым аэрофотоснимкам 2001 г. и плановым и перспективным снимкам купола, выполненным обычными, не топографическими камерами. Анализ стереоизображений позволил авторам выделить морфологические элементы, трудно различимые на одиночных снимках.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ ЭКСТРУЗИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В 1932 г. Х. Виллиамс выделил два типа роста экструзивных куполов: эндогенный и экзогенный [12]. В настоящее время эта классификация является общепринятой.

По наиболее современному определению Д.С. Бейкера [7, стр. 63]: «Эндогенные купола увеличиваются, по мере того, как новая лава поднимается вверх и распространяется в пределах более холодной лавовой коры, а экзогенные купола прирастают, по мере того, как новая лава проходит вверх, проламывает лавовую кору, и распространяется по внешней поверхности».

Экзогенный тип экструзивной деятельности очень часто сопровождается появлением на поверхности куполов таких морфологических элементов, как структуры расщепления и глыбовые панцири.

Структуры расщепления (crease structures, cleavage canals или spreading centers) (рис. 1) были впервые выделены Ф. Омори в 1916 г. при исследовании вулкана Сакура-дзима [9]. Они детально изучены на вулкане Сент-Хеленс во время роста купола в 1980–1986 гг. [11]. Структуры расщепления в большинстве случаев образуются в результате выжимания гладких пластичных дегазированных экструзивных тел по краям линейной впадины [8].



Рис. 1. Структура расщепления на куполе вулкана Сент-Хеленс в 1981 г.  
Фото Д. Дзурисин, USGS.

Глыбовые панцири (blocky carapaces) образуются на периферии структур расщепления и покрывают пластичное ядро экзогенного купола. При поступлении новых порций пластичного магматического вещества

происходит выталкивание ими ранее отложенного экзогенного экструзивного материала на склоны старого эндогенного купола. Экзогенный купол теряет пластичность в верхней части склона, вся его толща до подстилающей поверхности раскалывается на крупные глыбы, которые вслед за этим медленно оползают по склону и держатся на нем за счет своей массы и силы трения.

При сопоставлении аэрофотоснимков 2001 г. с более ранними были выявлены морфологические особенности роста экструзивного купола вулкана Молодой Шивелуч, свидетельствующие о смене типа экструзивной деятельности с эндогенного на преимущественно экзогенный.

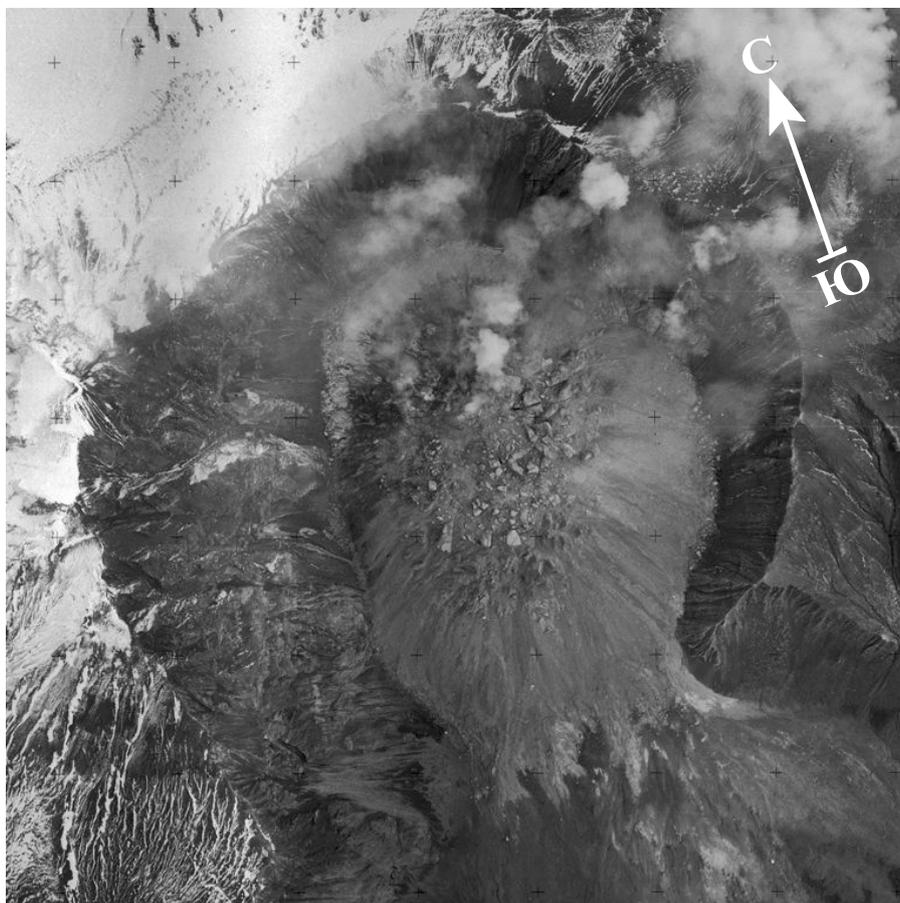


Рис. 2. Эндогенный рост купола вулкана Молодой Шивелуч 24 августа 1993 г. Фото В.Н. Двигало.

В 1993 г. купол вулкана обладал классической эндогенной морфологией (рис. 2): происходило выжимание крупных экструзивных блоков, на склонах и у подножия образовывалась осыпная мантия. Купол

формировался по эндогенному типу до конца экструзивного извержения в январе 1995 г.

В мае 2001 г. режим экструзивной деятельности изменился. На снимке (рис. 3) мы можем наблюдать формирование структур расщепления в западной части купола, на его северном склоне и в центральной части, а также образование на юго-западном склоне купола первого глыбового панциря.

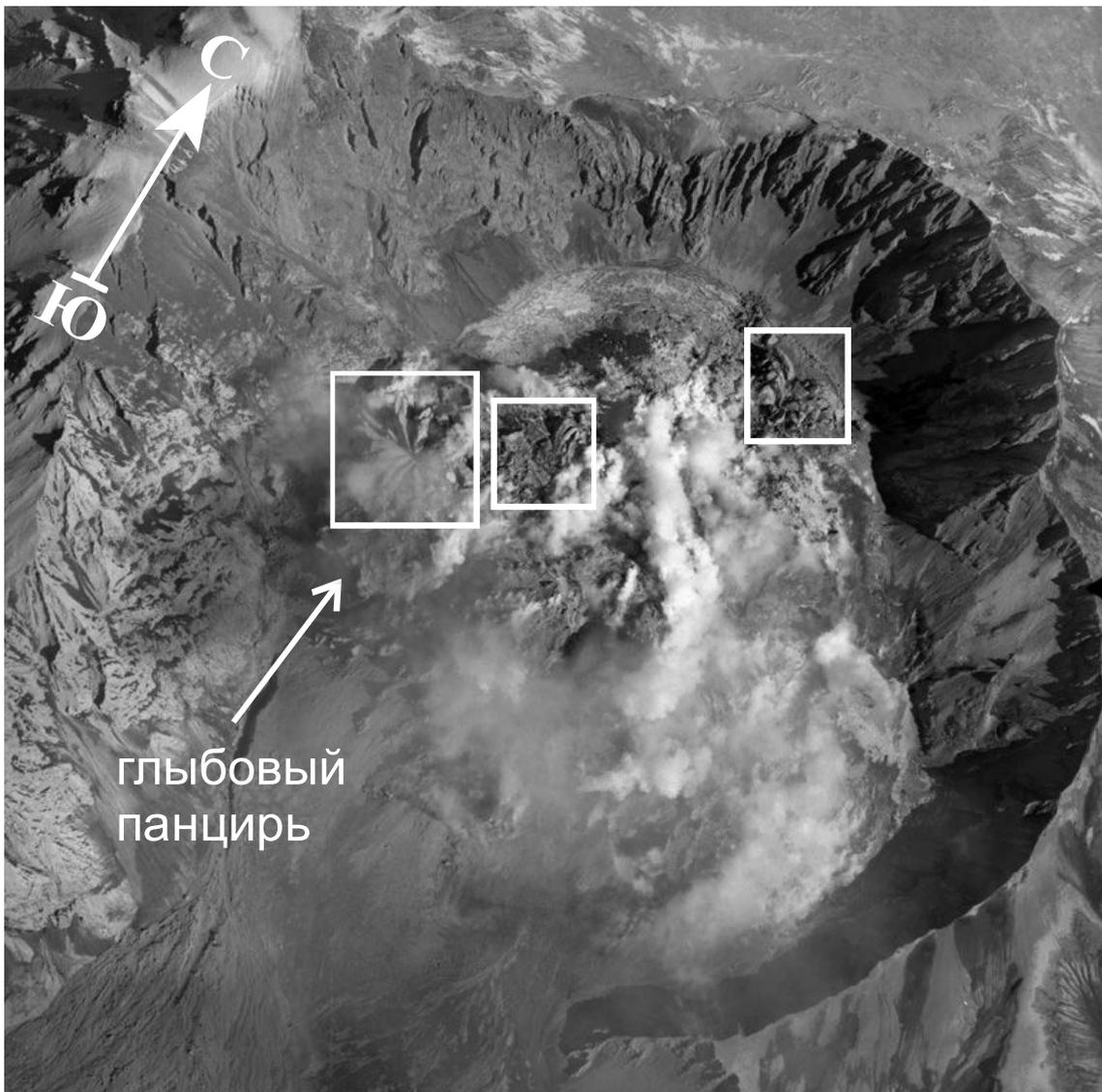


Рис. 3. Экзогенный рост купола вулкана Молодой Шивелуч 16 мая 2001 г.  
Структуры расщепления выделены прямоугольниками.  
Фото В.Н. Двигало.

Структура расщепления в западной части купола вулкана Молодой Шивелуч является наиболее крупной и состоит из пластин, вытянутых

радиально от одного центра. На юго-западном склоне купола образован связанный с ней глыбовый панцирь. Данная структура расщепления относится к радиальному типу, впервые выделенному авторами только на вулкане Шивелуч.

Структура расщепления на северном склоне купола представлена телескопически выжатыми отдельностями. Такая форма образовалась по причине выжимания из трещины на крутом склоне, почти у подножия. На вершине структуры находится обелиск, расслаивающийся на отдельные части. На дне атрио наблюдаются отколовшиеся от нее глыбы. Отнесена авторами к типу зеркально-симметричных структур.

Пластины центральной структуры расщепления имеют иррегулярную направленность расхождения. Выжимание пластин в западном ее секторе происходит субгоризонтально в разные стороны от одного центра, пластины северного сектора направлены с севера на юг и слегка наклонены на запад. На пластинах только этой структуры отмечаются концентрические полосы более темного цвета. Авторы относят эту структуру к иррегулярному типу, также впервые выделенному на куполе вулкана Молодой Шивелуч.

Впервые появившись в 2001 г. глыбовые панцири продолжают формироваться на куполе Молодого Шивелуча, периодически разрушаясь вследствие крупных эксплозий, а также под действием силы тяжести. На снимке 2002 г. (рис. 4) наблюдается оползание покрываемого глыбовым панцирем экзогенного купола по северо-западному, западному и юго-западному склонам эндогенного купола в виде трёх отдельных «языков».



Рис. 4. Глыбовый панцирь, сформировавшийся на куполе в 2002 г.  
Фото А.В. Сокоренко.

Для сравнения можно привести выжимание экзогенного купола и формирование глыбового панциря на вулкане Редаут в 2009 г. В процессе извержения в ущелье северного склона происходило оползание пластичного ядра экзогенного купола, на поверхности которого формировался глыбовый панцирь (рис. 5). Вследствие быстрого остывания поверхность еще пластичной экструзии растрескивается и разделяется на отдельные глыбы. Подталкиваемые пластичным ядром глыбы во фронтальной части экзогенного купола оползают вниз по склону. Периодически во фронтальной части экзогенного купола происходят глыбовые обвалы, обнажая в поверхности отрыва монолитное ядро, бывшее пластичным в привершинной части склона. При дальнейшем

оползании затвердевшее ядро разделяется на крупные глыбы. Так объясняется наличие самых крупных глыб во фронте оползающего экзогенного купола.



Рис. 5. Фронтальная часть экзогенного купола вулкана Редаут 16 апреля 2009 г.  
Фото Г. Мак-Гимси, AVO USGS.

В 2004 г. на вулкане Молодой Шивелуч продолжалась экзогенная экструзивная деятельность. На снимке (рис. 6) зафиксирована начальная стадия формирования экзогенного купола. Купол покрыт глыбовым панцирем, в его фронтальной части видна поверхность отрыва, обнажающая монолитное ядро. Слева от экзогенного купола выделяется зеркало скольжения, по которому сползал один из «языков» экзогенного

купола 2002 г. Оставшаяся часть экзогенного купола 2002 г. идентифицируется на западном склоне подстилающего старого купола.



Рис. 6. Начальная стадия формирования экзогенного купола 29 мая 2004 г.  
Фото С.А. Хубуная.

На следующем изображении (рис. 7) зафиксирована дальнейшая стадия формирования экзогенного купола 2004 г., когда его глыбовый панцирь спустился к подножию старого (эндогенного) купола. По структурным линиям на поверхности глыбового панциря мы можем видеть, что экзогенный купол теряет пластичность в верхней части склона. Далее происходит оползание глыб, которые удерживаются на склоне за счет своей массы и силы трения. В нижней части склона панцирь раздваивается, из его центральной части, также как и из боковой, происходят обвалы глыб, обнажающие подстилающую поверхность. На вершине купола

идентифицируется линейная впадина, которая может указывать на наличие в этом месте структуры расщепления, но поскольку плановая аэрофотосъемка купола 2004 г. не была выполнена, мы не можем утверждать о ее наличии.



Рис. 7. Оползание экзогенного купола по склону подстилающего старого купола 28 июля 2004 г. Фото М.Е. Зеленского.

Впервые структура расщепления на Молодом Шивелуче была выделена американскими исследователями Майклом Рэмси и Риком Весселсом, которые выполнили плановую аэрофотосъемку купола в августе 2005 г. [10]. На снимке (рис. 8) структура расщепления в форме полумесяца окружена глыбовым панцирем, который только начал оползать по южному склону. Прежний экзогенный купол был разрушен в результате крупной эксплозии 27 февраля 2005 г.

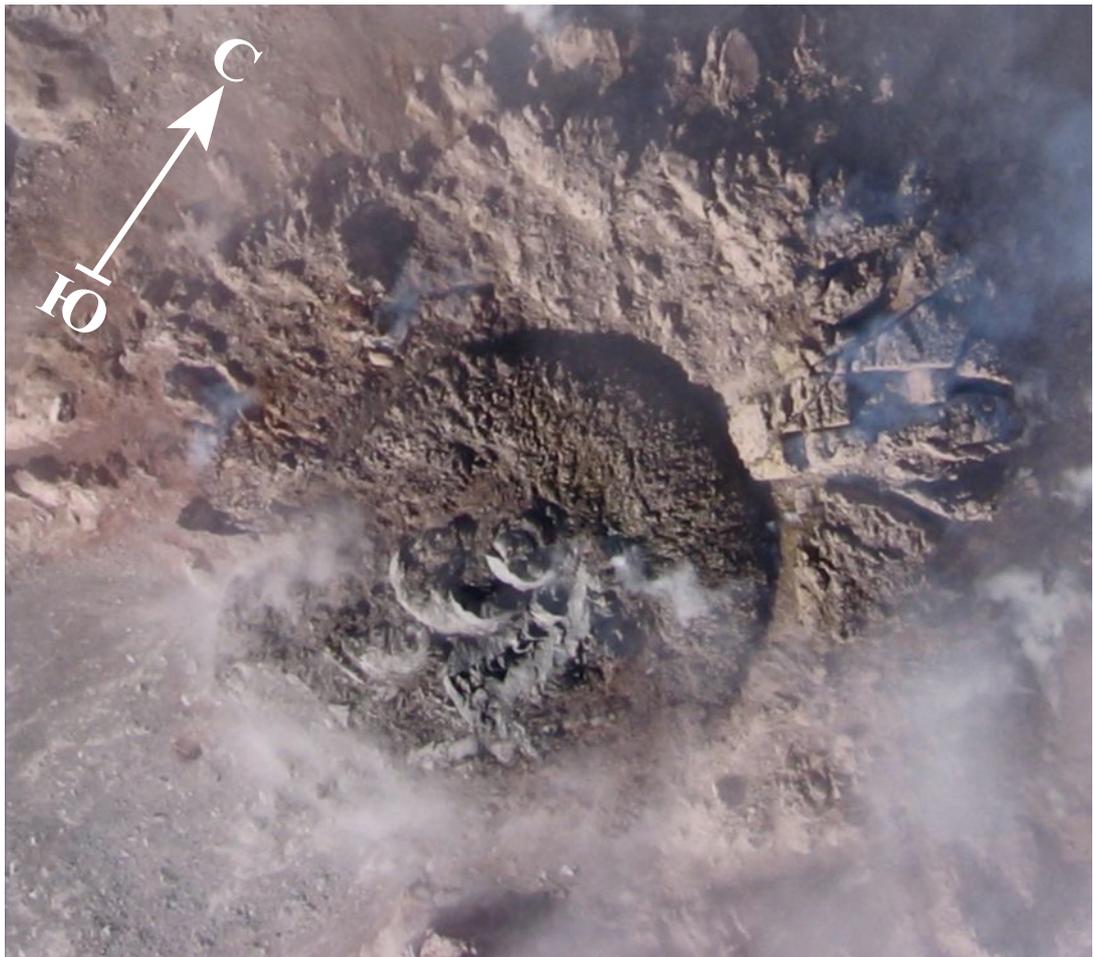


Рис. 8. Структура расщепления на вершине купола Молодого Шивелуча 21 августа 2005 г. Фото Р.Л. Весселса.

В 2012 г. экзогенная экструзивная деятельность продолжалась в виде образования структур расщепления и оползания глыбовых панцирей по подстилающим склонам старого (эндогенного) купола. На снимке (рис. 9) четко выделяется трещина из которой выжимается структура расщепления, имеющая форму, близкую к зеркально-симметричной. На снимке (рис. 10) элементы структуры глыбового панциря, выгнутые против направления движения, свидетельствуют об отсутствии процессов течения. Кроме того, в средней части купола четко идентифицируется вывал, образовавшийся в результате опрокидывания совокупности глыб, направленность которых изменилась с субвертикальной на субгоризонтальную. Такой вывал возможен только при отсутствии связанности полностью затвердевших отдельных глыб, из которых состоит панцирь.



Рис. 9. Структура расщепления на куполе вулкана Молодой Шивелуч 12 июля 2012 г. Фото И.Ю. Свирида.



Рис. 10. Глыбовый панцирь экзогенного купола Молодого Шивелуча в 2012 г. Фото Ю.В. Демянчука.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В нескольких предыдущих работах о современной активности вулкана Шивелуч [1, 3, 4] описанные выше экзогенные экструзивные образования интерпретируются как лавовые потоки. По нашему мнению, они не могут быть названы лавовыми потоками, так как их форма и структура поверхности демонстрируют отсутствие каких-либо следов течения: вершинные их части значительно мощнее фронтальных; фронт не выражен; отсутствует характерная для вязких потоков каплевидная, расширяющаяся книзу форма; отсутствуют бортовые валы (необходимый элемент вязких андезитовых потоков); структурные линии на поверхности глыбового панциря имеют выгнутую против движения направленность в отличие от выпуклых в сторону течения волн на поверхности лавовых потоков.

Кроме того, основываясь на определении: «Экструзивными называют извержения высоковязкой магмы, которая не способна образовать поток» [5, стр. 76], мы можем заключить, что одновременное сосуществование экструзивной и эффузивной деятельности не представляется возможным. Сам факт появления структур расщепления свидетельствует о деформациях выжимаемого из трещин материала, превышающих предел текучести, вследствие чего данный материал не может являться жидкой лавой.

В подтверждение этого следует отметить, что на вулкане Шивелуч фиксируется постоянный экструзивный рост купола, в то время, как на вулкане Безымянном с возникновением лавовых потоков в 1977 г. экструзивная деятельность прекратилась.

## ВЫВОДЫ

1. В 2001 г. на вулкане Молодой Шивелуч произошла смена режима экструзивной деятельности – эндогенный рост купола сменился на преимущественно экзогенный, появилась заметная пластичность экструзивных образований. С 2001 г. по настоящее время на поверхности купола происходит формирование структур расщепления и глыбовых панцирей. Выделены три типа структур расщепления: зеркально-симметричный, радиальный, иррегулярный. Два последних из них не встречались прежде.

2. Материал экзогенного купола при сползании вниз по подстилающей поверхности старого эндогенного купола удерживается в верхней части склона за счет его связанности и пластичности, ниже по склону – за счет своей массы и силы трения.

3. Исследуемые геоморфологические образования не имеют следов течения и не могут быть названы лавовыми потоками. В настоящее время на вулкане Молодой Шивелуч эффузивная активность отсутствует.

Авторы благодарят В.Н. Двигало, Ю.В. Демянчука, А.В. Сокоренко, С.А. Хубуня, М.Е. Зеленского, А.А. Овсянникова за предоставленные фотоматериалы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горбач Н.В. Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 9–16.
2. Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104–109.
3. 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.
4. Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Рост экструзивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 1980-2007 гг. по геодезическим наблюдениям и видеосъемке // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 3–13.
5. Слезин Ю.Б. Механизм экструзивных извержений // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 76–84.
6. Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д., Иванов В.В., Богоявленская Г.Е., Новгородцева Т.Ю., Демянчук Ю.В., Будников В.А., Фазлуллин С.М. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3–19.
7. Barker D.S. Endogenous and exogenous plutons: the influence of emplacement style on contamination of granitic magma // The Canadian Mineralogist. 2007. V. 45. N. 1. P. 63–70.
8. Fink J.H., Anderson S.W. Lava domes and coulees // Sigurdsson H. ed. Encyclopedia of volcanoes, Academic Press. 2000. P. 307–319.
9. Omori F. The Sakura-jima eruptions and earthquakes // Bulletin of the imperial earthquake investigation committee, Tokyo. 1916. V. 8. P. 181–321.
10. Ramsey M.S., Wessels R.L., Anderson S.W. Surface textures and dynamics of the 2005 lava dome at Shiveluch volcano, Kamchatka // Geological Society of America Bulletin. 2012. V. 124. N. 5/6. P. 678–689.
11. Swanson D.A., Dzurisin D., Holcomb R.T., Iwatsubo E.Y., Chadwick W.W., Casadevall T.J., Ewert J.W., Heliker C.C. Growth of the lava dome at Mount St. Helens // Fink J.H. ed. The emplacement of silicic domes and lava flows: Geological Society of America special paper 212. 1987. P. 1–16.
12. Williams H. The history and character of volcanic domes // Univ. Calif. Publ. Bull. Dept Geol. Sci. 1932. 21. P. 51–146.

GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF CURRENT DOME FORMATION  
PROCESS AT MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO

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

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS  
Vitus Bering Kamchatka State University*

The paper presents a new interpretation of current dome formation process at Molodoy Shiveluch Volcano. The authors introduce new terms, which have never been previously used in Russian volcanology. These terms suggest a new perspective on the on-going activity at Molodoy Shiveluch and provide a better understanding of the volcano's extrusive process. The paper reveals that in 2001 the endogenous type of extrusive activity transformed into exogenous type. Besides, the article shows that despite expectations, recently no effusive processes have been detected at the dome.

*Keywords: Molodoy Shiveluch volcano, exogenous dome, crease structures, blocky carapace*