

УДК 551.21

## ЛАВОВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ МОЛОДОГО КОНУСА ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ

Н.В. Горбач

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006.*

**Введение.** Шивелуч – посткальдерный андезитовый вулкан, самый северный действующий вулкан Камчатки, расположенный в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг (Рис. 1а). По количеству вынесенных на поверхность андезитов вулкан Шивелуч не имеет аналогов среди четвертичных вулканов Камчатки. Объем его постройки составляет  $1100 \text{ км}^3$ ,  $\sim 900 \text{ км}^3$  составляют породы андезитового состава (Кожемяка, 2001).

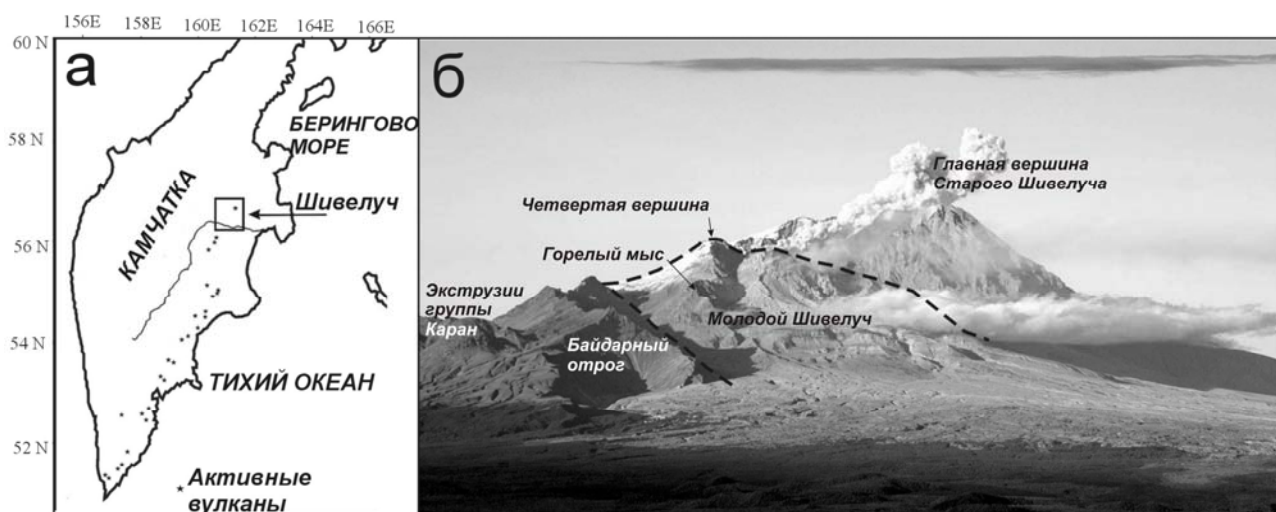


Рис. 1. а – положение вулкана Шивелуч; б - вид на вулкан с юга, пунктирная линия разделяет верхнеплейстоценовые докальдерные образования Старого Шивелуча и конус Молодого Шивелуча.

По данным (Мелекесцев и др., 1991) вулкан начал формироваться  $\sim 60-70$  тыс. лет назад. Верхнеплейстоценовый стратовулкан Старый Шивелуч, кальдера комбинированного происхождения и активный в голоцене Молодой Шивелуч – основные структурные элементы вулкана по (Мелекесцев и др., 1991). Постройка Старого Шивелуча имеет сложное строение, различное в северо-восточной и юго-западной части. Северо-восточная часть сложена мощной пирокластической толщей (агломератовые и псефитовые туфы андезитов, мощность 1800-2000 м), которая перекрыта серией андезитовых потоков, мощностью в 1000-1200 м. В юго-западной части мощность пирокластических отложений составляет  $\sim 1500$  м. Здесь пирокластическая толща перекрыта базальтовыми – андезибазальтовыми потоками и прорвана многочисленными радиальными дайками. Южный сектор стратовулкана уничтожен кальдерой диаметром в 9 км. Предполагается, что образование кальдеры произошло ранее, чем 23-24 тыс. лет назад - до начала второй фазы верхнеплейстоценового оледенения (Мелекесцев и др., 1991). В постакальдерную фазу деятельности был сформирован Молодой

конус или Молодой Шивелуч - серия экструзий и мощных лавовых потоков, обширное поле пирокластических отложений в южном секторе вулкана и цепочка экструзий группы Каран на западном склоне Старого Шивелуча (рис. 1б).

В первом систематическом геологическом описании вулкана (Меняйлов, 1955) приводится подробная информация о докальдерных лавово-пирокластических образованиях, об экструзиях группы Каран и породах, формировавших купол Суелич в 1944-1948 гг. Современные извержения и их продукты охарактеризованы в ряде отдельных публикаций (Меняйлов, 1955; Горшков, Дубик, 1969; Хубуная, 1995; Федотов и др., 2004; Гирина и др., 2006; Горбач, 2006; Dirksen, 2006; Humphreys, 2006). Хронология, масштабы и характер извержений в голоцене детально изучены и датированы тефрохронологами (Ponomareva et al., 1998; Ponomareva et al., 2007). В ходе этих работ в голоценовом пирокластическом чехле было обнаружено присутствие необычных для вулкана пород. 7600 лет назад были извергнуты амфибол-содержащие умеренно-калиевые базальты, 3600 лет назад – магнезиальные высококалиевые базальты с амфиболом и флогопитом (Волынец и др., 1997). Присутствие необычных по своему геохимическому облику базальтов в монотонном разрезе андезитовой пирокластики ставит задачу выяснения их петрогенетических соотношений. Это может указывать на проявление в пределах одного вулкана производных различных первичных магматических расплавов либо на возможность формирования нескольких серий пород за счет эволюции единого исходного расплава (Волынец и др., 1997).

Реконструкция магматической эволюции вулкана и выявление петрогенетических соотношений между породами, различными по геохимической специфике, возможно на основе детального изучения стратиграфической последовательности изверженных продуктов. Но строение Молодого конуса вулкана, его лавовые образования и последовательность их излияний остаются мало изученными. Невыяснены и структурные взаимоотношения голоценовых лав вулкана и докальдерных образований. В настоящей работе приведены новые данные о строении Молодого конуса вулкана Шивелуч и краткая характеристика вещественного состава его лав.

**Морфология и строение Молодого Шивелуча.** Лавовые образования Молодого конуса или Молодого Шивелуча расположены в северо-западной части кальдеры и занимают площадь ~40 км<sup>2</sup>. Серия экструзий и мощных лавовых потоков формируют ассиметричный и несколько вытянутый в северо-западном направлении конус (рис. 2). На абсолютной высоте 2400 м северные склоны конуса отделены от массива Главной вершины Старого Шивелуча ледниковой седловиной шириною до 600 м. Северо-западный сектор конуса образован экструзией Четвертая вершина. Это высшая точка конуса с абсолютной высотой 2763.2 м. Крутые западные склоны конуса сформированы экструзивными андезитовыми лавами. Восточные склоны сложены потоками лав различного состава и протяженности и имеют меньшую

крутизну. Центральную часть занимает активный кратер, вмещающий современный экструзивный купол. В ходе эксплозивных извержений у подножия купола сформировано поле отложений раскаленных лавин.

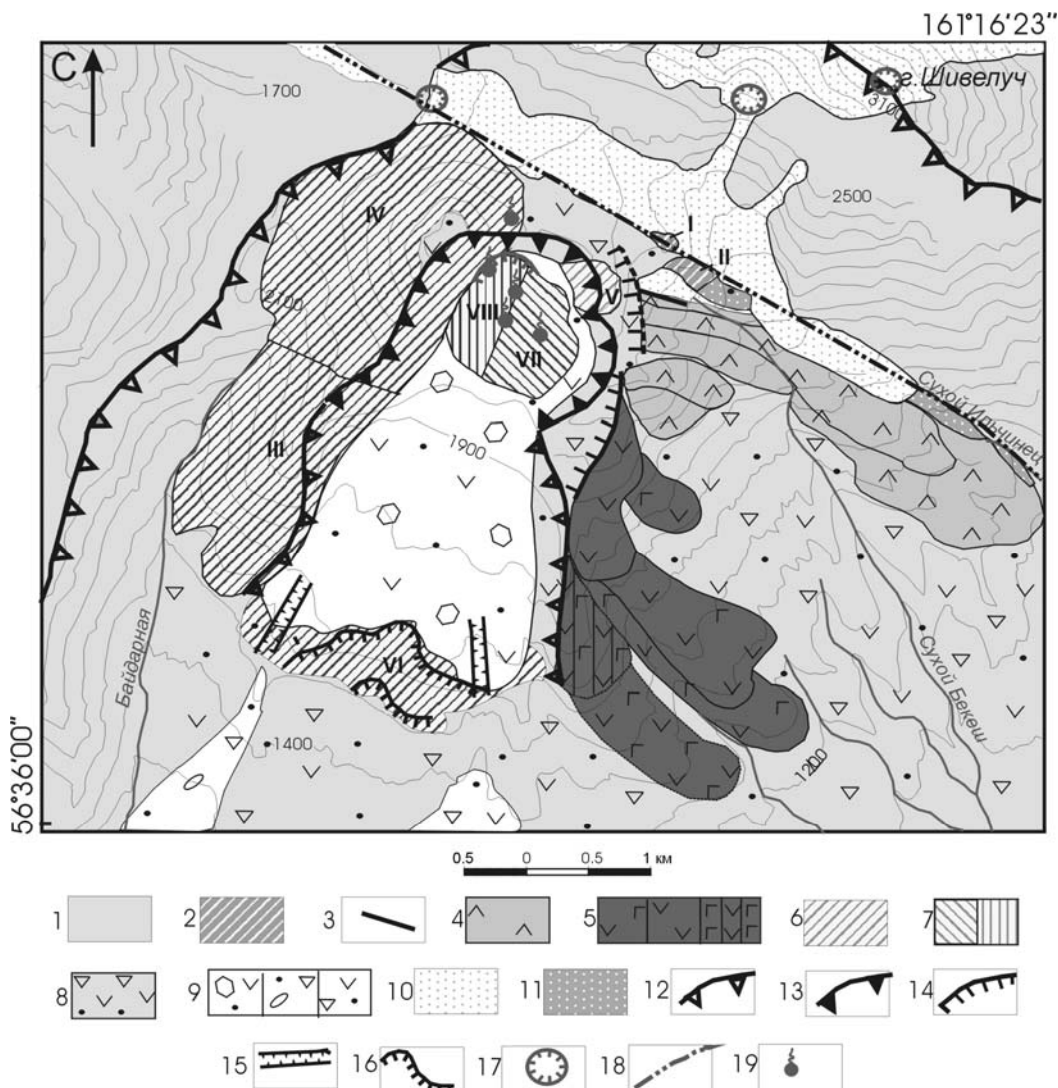


Рис. 2. Схема геологического строения Молодого конуса вулкана Шивелуч. Составлена с использованием данных полевых наблюдений, дешифрирования аэрофотоснимков и неопубликованных материалов И.В.Мелекесцева.

1-верхнелейстоценовые докальдерные лаво-пирокластические образования.

**Голоценовые лавовые образования. Ранний – средний голоцен?:**

2-экструзивные лавы оливин-пироксеновых амфиболсодержащих андезитов (I-тюдья Ледовая; II – экструзия Разрушенная); 3 – дайка оливин-пироксеновых амфиболсодержащих андезитов; 4 – лавы оливин-пироксеновых амфиболсодержащих андезитов; 5 – лавы оливин-пироксеновых андезибазальтов (а), андезитов (б), гетеротакситовые лавы (в). **Позднеголоценовые и современные экструзивные образования:** 6 – экструзивные лавы пироксен-роговообманковых андезитов (III-экструзии Горелого мыса, IV-Четвертая вершина, V-останец купола Суелич, VI-останцы внутривулканских экструзий); 7 - экструзивные лавы современного купола: VII-пироксен-роговообманковых и роговообманковых андезитов 1980-2004 гг.; VIII – андезидацитов 2005 г. **Пирокластические образования:** 8 - нерасчлененные пирокластические отложения голоценовых извержений: агломераты, вулканические пески, пемза андезитового и андезидацитового состава; 9 - пирокластические отложения, связанные с формированием современного купола: а – отложения раскаленных лавин; б – отложения пирокластических потоков 2005 г.; в – отложения пирокластического потока 2004 г.

10 – современные ледники; 11- донная морена и блоки мертвого льда; 12-уступ кальдеры; 13- современный кратер; 14- сохранившиеся уступы древних кратеров; 15-эрозионные рвы, сформировавшиеся при движении пирокластических потоков; 16-уступы, сформированные при извержении 12 ноября 1964 г.; 17-центры излияний лав докальдерной постройки Старого Шивелуча; 18-предполагаемый сброс; 19-наиболее активные фумаролы (положение на июль 2006 г.).

Горизонталы проведены через 100 м и разорваны в местах обрывов.

**Ранние лавовые образования.** Наиболее ранние посткальдерные экструзии, названные автором Ледовая и Разрушенная, расположены на северо-восточном склоне конуса (рис. 3). Экструзия Ледовая имеет уплощенную вершину и сглаженные склоны, вытянута в северо-западном направлении и обнажена над современным ледником на высоту ~200 м. Лавы, слагающие экструзию, характеризуются шаровой отдельностью. Размер шаров составляет 20-30 см. В центре шара серая массивная лава хорошо раскристаллизована, а его края имеют бурую окисленную оторочку, шириною 2-3 см. Морфология экструзии и закаленная текстура ее лав позволяют определить это образование как туюя, сформировавшуюся при подледном извержении.

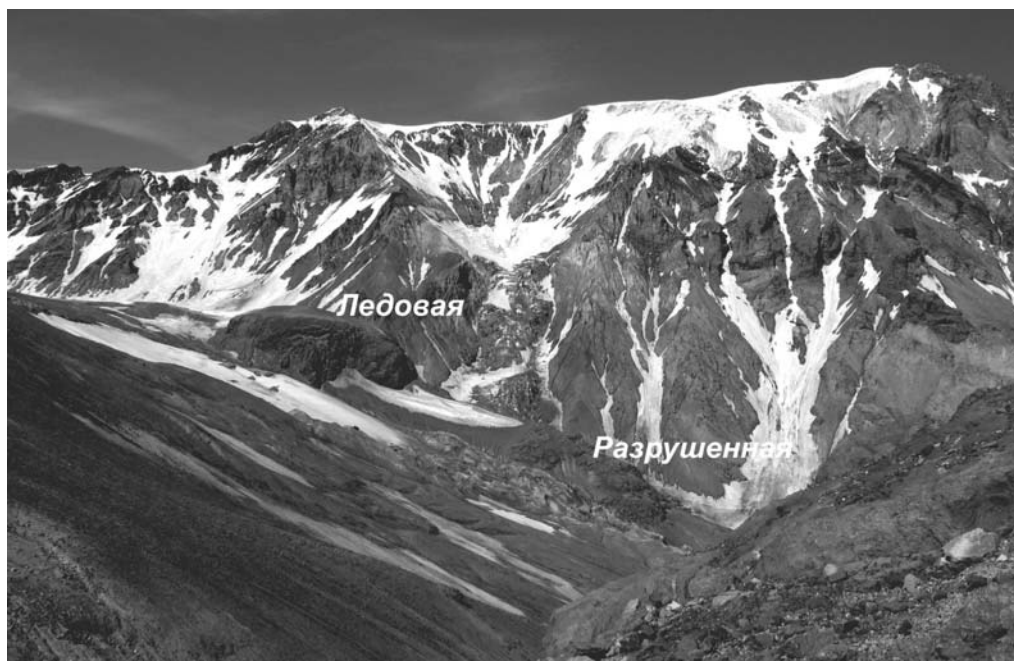


Рис. 3. Ранние экструзивные образования на северо-восточном склоне Молодого конуса.

Экструзия Разрушенная расположена непосредственно между ледником Ильчинец и его небольшим правым притоком. Узкий ледопад, соединяющий приток с основным ледником, интенсивно разрушает юго-восточный склон экструзии. Северный склон экструзии более пологий, в его нижней части наблюдается небольшой поток глыбовой лавы. В 100 м ниже по склону находится дайка северо-западного простирания, мощностью до 7 м, протяженностью 150 м.

На восточном склоне Молодого конуса в 300 м гипсометрически ниже кромки современного кратера на абсолютной высоте ~2000 м находятся истоки ранних лавовых потоков (рис. 4). Морфологически истоки потоков предстали серией узких и субпараллельных ступеней высотой до 25 м. На протяжении ~1-1,5 км падение лав составляет 20° и более. В средней части, между верховьями рек Сухой Бекеш и Сухой Ильчинец глыбовые лавы формируют пологонаклонную поверхность, которая местами интенсивно расчленяется временными водотоками, берущими начало с ледника. Здесь направление движения потоков не

совпадает с уклонами рельефа, который они перекрывают – потоки следуют вдоль современного ледника Ильчинец и вкрест пересекают барранкоссы, выработанные в докальдерных туфах.



Рис. 4. Позиция ранних лавовых потоков на склоне конуса.

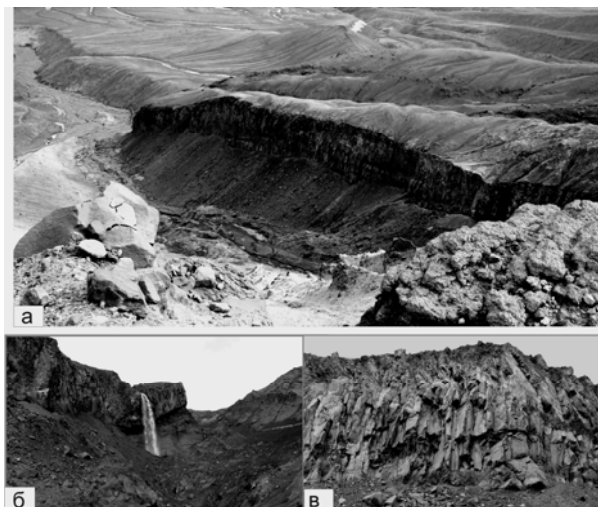


Рис. 5. а - обнажение наиболее раннего и протяженного лавового потока по правому борту реки Сухой Ильчинец; б – обнажение в районе водопада Шмидта: лавы перекрывают смещенный блок туфов начальной фазы деятельности вулкана; в – характер отдельности андезитовых лав.

Фронтальная часть наиболее раннего лавового потока, имеющего протяженность 4 км, расположена на высоте 1200 м (рис. 5а). На абсолютной высоте 1500 м лавы потока перекрыты льдами краевой части ледника Ильчинец. От данной точки и до водопада Шмидта на поверхности потока узкой полосой лежат мертвые льды ледника и небольшая краевая морена. Мертвые льды фиксируются и ниже водопада Шмидта – на протяжении 1 км в русле и по левому борту Сухого Ильчинца. В обнажении у водопада Шмидта лавы потока перекрывают блок агломератовых туфов начальной фазы деятельности Старого Шивелуча. Блок туфов смещен относительно первоначального положения на ~150-200 м - слоистость и состав туфов идентичны толще, лежащей выше по склону (рис. 5б). Строение лавового потока прекрасно вскрыто в правом борту реки Сухой Ильчинец и визуально сходно с серией лавовых потоков, слагающих Главную вершину. Поток зонален: в его кровле и подошве бурая лава имеет облик лавобрекчии, а центральная часть характеризуется массивной субвертикальной отдельностью, которая местами сменяется тонкоплитчатой отдельностью, ориентированной по течению (рис. 5в). Мощность потока достигает 40-50 м.

**Серия лавовых потоков юго-восточного сектора.** Вдоль юго-восточной стенки современного кратера наблюдается ряд потоков меньшей мощности и протяженности. Наиболее протяженные нижние потоки (1 и 2 на рис. 6а) буровато-серых андезибазальтовых лав имеют длину 3-3.2 км при мощности 20-25 м. Перекрываются более короткими потоками (3 и 4 на рис. 6а) протяженностью 1 и 2 км, мощностью в 25- 30 м. Наиболее интересным явля-

ется поток 3. Этот поток протяженностью в 1 км сложен лавами с гетеротакситовой текстурой (рис. 7а). Это клинья, полосы, линзы, заливы разнообразного размера – от десятков см до микроскопических обособлений серого роговообманкового андезита в буром оливин-клинопироксеновом андезибазальте. Потоки 5, 6 наиболее короткие и сложены бурыми андезитовыми лавами.

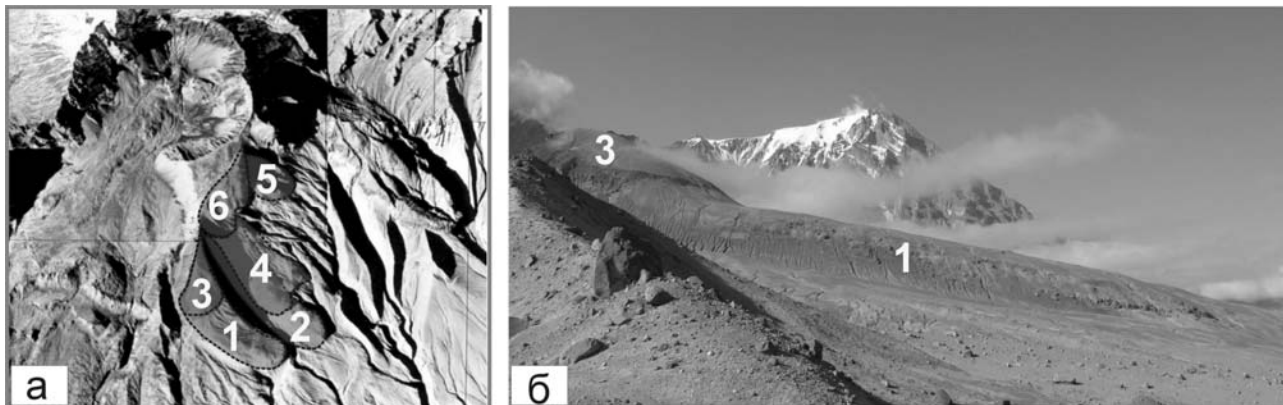


Рис. 6. а – лавовые потоки юго-восточного сектора конуса; б – положение потока гетеротакситовых лав (3) на склоне конуса.



Рис. 7. а – лавы с гетеротакситовой текстурой; б – характер контакта полос различного состава, поле зрения 7 мм.

Серия из шести лавовых потоков в юго-восточном секторе Молодого конуса не имеет четких геологических взаимоотношений с ранними лавами. Истоки этих потоков срезаны дугообразным уступом более раннего кратера, который расположен на расстоянии ~ 400 м субпараллельно кромке современного кратера (см. рис. 2). Уступ имеет высоту до 30 м и протяженность 1.2 км. По направлению падения потоков их истоки реконструируются в пределах современного кратера. В отличие от лавовых потоков северо-восточного сектора, поверхности юго-восточных потоков не расчленены эрозионной деятельностью и имеют более свежий облик. По морфологическим признакам (свежести облика и отсутствию эрозионных врезов и

растительности на поверхности) лавовые потоки юго-восточного сектора являются более поздними образованиями по сравнению с лавами северо-восточного сектора.

**Позднеголоценовые и современные лавовые образования.** Западную и центральную часть Молодого конуса слагают экструзивные лавы. Наиболее крупная экструзия - Четвертая вершина с запада выглядит правильным конусом с крутыми до 40-45° склонами, сглаженными мощным слоем пироклаستيки. Правильность склонов лишь в вершинной части нарушена отдельными лавовыми обелисками. Экструзия была сформирована после ~1030 г., а извержение в ~1430 г. разрушило ее юго-восточный сектор (Мелекесцев, 2003). Южнее Четвертой вершины расположены фрагменты двух сближенных экструзий, названные (Меняйлов, 1955) Горелым мысом. Подножие экструзий расположено на высоте 1450 м, относительная высота составляет 650-700 м. Их западные склоны крутые до субвертикальных. В истоке реки Байдарной наблюдается контакт экструзивных образований и вмещающих агломератовых туфов начальной фазы деятельности Старого Шивелуча. Западные экструзии, занимающие площадь ~10 км<sup>2</sup>, были образованы за счет многократных внедрений лавы, как это видно на примере формирования современного экструзивного купола (Горбач, 2006). Выделить отдельные фазы внедрения лав не представляется возможным в виду того, что первичная поверхность экструзий эродирована воздействием многочисленных последующих эксплозивных извержений.

Морфология современного кратера, сформированного извержением 1964 г., детально описана в (Горшков, Дубик, 1969; Двигало, 1984). Наибольший диаметр – 1750 м кратер имеет в широтном направлении. Высота стенок у Четвертой вершины составляет 580 м и уменьшается до 360 м в северной и до 170 м в восточной части кратера. В северо-восточных стенках кратера вскрыты останцы андезитов купола Суелич. Эти буровато-красные плотные лавы хорошо выделяются в стенках кратера среди менее плотных крупнообломочных пирокластических отложений. Юго-восточные стенки кратера имеют высоту 150-170 м и вскрывают потоки гетеротакситовых и андезибазальтовых лав.

Современный купол представляет собой сложную многофазную экструзию. Внедрения вязкой андезитовой лавы на начальных стадиях роста в 1980-1981 гг. сформировали типичный экструзивный купол со всеми характерными структурными и морфологическими особенностями. К концу 1995 г. купол имел четко выраженную корону, сложенную крупными блоками и обелисками, его агломератовая мантия начиналась примерно с половины его высоты. Эксплозивно-экструзивные извержения 2001-2005 гг. динамично изменяли морфологию купола. В 2001-2002 гг. экструзия лав происходила в различных частях кратера (Федотов и др., 2001). В 2004 г. выжимание блоков лавы в вершинной части купола сменилось излиянием потока глыбовой лавы на его юго-восточный склон. В 2005 г. был сформирован крупный новый экструзивный блок в западной части кратера. С начала текущего года лава

поступает на поверхность в восточном секторе купола  
[http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volc\\_activity.shtml](http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volc_activity.shtml).

**Краткая петрографическая характеристика и вариации состава лав Молодого Шивелуча.** Изучение стратифицированного характера разрезов и петрографический и петрохимический анализ вулканитов позволил выделить выделить три основных группы пород, развитых в пределах Молодого конуса вулкана Шивелуч.

Ранние лавовые потоки и экструзии конуса сложены однородными *оливин-пироксеновыми амфиболсодержащими андезитами* ( $\text{SiO}_2$  57-59 мас. %). Макроскопически это - серые, темно-серые, иногда буроватые, массивные породы с порфировой и серийно-порфировой структурой. Вкрапленники (20-35%) представлены плагиоклазом (15-20%), пироксеном (7-8%), оливином (до 7%) и роговой обманкой (2-3%). Плагиоклаз (лабрадор-битовнит) наблюдается в виде короткопризматических, таблитчатых выделений размером до 2-2.5 мм. Размер фенокристаллов промежуточной генерации 0.2-0.4 мм. Пироксен (моноклинный и ромбический) отмечается в виде короткопризматических и таблитчатых индивидов 0.2-1.0 мм и зернистых агрегатах нередко с опацитовой каймой по краям. Роговая обманка наблюдается в редких шестоватых клиновидных вкрапленниках размером до 1 мм, почти нацело замещенных опацит-пироксен-плагиоклазовым агрегатом. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза 0.02-0.1 мм, мелкозернистых агрегатов пироксена, редко оливина, погруженных в раскристаллизованное стекло. В последовательных порциях лавы вверх по разрезу увеличивается количество и сохранность вкрапленников роговой обманки, а количество фенокристаллов оливина уменьшается. Интересными петрографическими особенностями обладают лавы экструзии Ледовой. Закаленная бурая оторочка в отдельных шарах сложена пироксен-роговообманковым андезитом ( $\text{SiO}_2$  60-61 мас. %), а центральная хорошо раскристаллизованная часть содержит большое количество оливина и пироксенов в виде крупных вкрапленников и, соответственно, имеет более основной состав ( $\text{SiO}_2$  54-55 мас. %). Лавы внутренней части экструзии, не подвергавшиеся быстрой закалке, имеют промежуточный минералогический и химический состав ( $\text{SiO}_2$  57-59 мас. %).

Лавы средней части разреза неоднородны по составу. Нижние потоки сложены оливин-клинопироксеновыми андезибазальтами ( $\text{SiO}_2$  54-56 мас. %). От описанных выше андезитов их отличает большее количество вкрапленников и гломеропорфировых сростков клинопироксена и меньшее количество роговой обманки, часто полностью диссоциированной. Андезибазальты перекрываются потоком гетеротакситовых лав – крупные полосы, заливы и мельчайшие обособления серого роговообманкового андезита в буром оливин-клинопироксеновом андезибазальте. Различия в составе лав прекрасно видны как визуально, так и микроскопически. Лавы отличаются составом минеральных фаз и характером структуры основной массы (рис. 7б). В порфиновых выделениях андезибазальтовой лавы присутст-



вуют клинопироксен (8-9 %), оливин (до 5%) их сростки, плагиоклаз (~5%). Обособления и заливывы серого андезита содержат фенокристаллы плагиоклаза (25-30 %), часто резорбированные или с ситовидной структурой в краевых частях, и роговую обманку (7-10%), крупные кристаллы которой интенсивно опацифицированы, а более мелкие – полностью замещены рудным минералом. Контакты извилистые и заливообразные. Содержание кремнекислоты различается в разных участках на 6% и составляет 54-55 мас.% в буром андезибазальте и 60-62 мас. % в сером андезите. Такие текстура и состав со всей очевидностью свидетельствуют о том, что лавы были образованы в результате механического смешения различных по составу расплавов, поступавших на поверхность одновременно.

Позднеголоценовые и современные экструзивные лавы представлены пироксен-роговообманковыми и роговообманковыми андезитами и андезидацитами ( $\text{SiO}_2$  59-64 мас.%). Это серые, розовато-серые, бурые породы различной плотности – от сильнопористых пемзовидных лав (экструзии Горелого мыса, Четвертая вершина) до плотных массивных разностей (останцы купола Суелич). Структура лав порфировая или серийно-порфировая, структура основной массы гиалопилитовая, микролитовая. Текстура иногда полосчатая. Вкрапленники (от 20 до 50%) – плагиоклаз (12-30%), бурая роговая обманка (7-15%), пироксен (2-5%). Плагиоклаз (андезин-лабрадор) встречается в призматических выделениях размером 0.2-2.0 мм, часто сложнзонального строения. Бурая роговая обманка - призматические клиновидные фенокристаллы, размером до 2 мм, часто с опацифированной каймой по краям. Пироксены в основном присутствуют в микровкрапленниках размером 0.2-0.4 мм, в незначительном количестве наблюдаются короткопризматические фенокристаллы ортопироксена размером до 1 мм. В некоторых разностях изредка отмечается оливин в виде редких округлых зерен, часто окруженных каймой из мелкозернистых агрегатов ортопироксена. В андезидацитах встречаются единичные опацифицированные чешуйки биотита. Основная масса состоит из кислого стекла, микролитов плагиоклаза, незначительного количества роговой обманки и рудного минерала.

### **Обсуждение результатов.**

*О структурных взаимоотношениях голоценовых лав Молодого конуса и докальдерных образований.* Структурная приуроченность вулкана Шивелуч к зоне субширотных дислокаций сдвигового типа, продолжающих Алеутский желоб (Селиверстов, 1998), вероятно, оказывает влияние и на особенности формирования его постройки. В ранних работах все исследователи указывали на то, что положение вулкана Шивелуч контролируется разломами северо-восточного и северо-западного простирания. А.А. Меняйлов (1955) полагал, что северная часть вулканической постройки и ее южная, опущенная часть, ограничены сбросом субширотного простирания.

Согласно новым геологическим наблюдениям ранние образования Молодого конуса приурочены к единому структурному направлению: туюя Ледовая вытянута в СЗ направлении, дайка на СВ склоне конуса имеет простирание СЗ 330°, небольшая экструзия или некс на восточном склоне Старого Шивелуча и экструзия Семкорок замыкают этот линейно расположенный ряд. Подобная позиция как докальдерных, так и посткальдерных экструзивных образований, по-видимому, является структурно обусловленной. Это позволяет предположить значимую роль тектонических процессов в формировании и развитии вулкана и, в частности, в образовании его кальдеры.

Очевидно, что в пределах постройки вулкана, характеризующегося сильнейшей эксплозивной деятельностью, выделить вулcano-тектонические и истинно тектонические нарушения достаточно сложно. Примером этому может служить обнажение у водопада Шмидта - блок туфов начальной фазы деятельности смещен относительно первоначального положения на ~150-200 м. К сожалению, природу смещения не удастся установить однозначно - оно могло носить как сбросовый, так и обвально-оползневой характер, обусловленный локальными вулcano-тектоническими процессами. Возможно, дополнительные структурно-геологические исследования в северо-западном секторе вулкана помогут прояснить эти вопросы.

**О последовательности формирования и эволюции состава лав.** Согласно геологическим данным эруптивная деятельность начиналась в районе ледниковой седловины с внедрения экструзий и излияния оливин-пироксеновых амфиболсодержащих андезитов (экструзии Ледовая, Разрушенная и лавовые потоки, берущие начало в северо-восточном секторе конуса). Далее центр излияний смещался к юго-западу – истоки лавовых потоков юго-восточного сектора реконструируются в пределах современного кратера. Состав лав неоднороден – потоки юго-восточного сектора сложены как наиболее основными породами в пределах Молодого конуса, так и кислыми разностями, близкими к современным лавам, и лавами с гетеротакситовой текстурой. Экструзивные лавы Четвертой вершины, Горелого мыса и современного купола являются наиболее кислыми дифференциатами среди пород посткальдерной фазы деятельности вулкана (рис. 8а).

Выделенные группы пород характеризуются постоянством минеральных фаз - все разности содержат роговую обманку, количество которой варьирует от 2-3 об. % в наиболее основных лавах до 10-12 об. % в наиболее кислых разностях. Присутствие оливина также является постоянным для всех лав – от 5-7 об.% в андезибазальтах до единичных резорбированных зерен в кислых лавах. Содержание пироксенов переменное, в кислых лавах клинопироксен практически отсутствует, а количество ортопироксена составляет 2-3 % от объема породы. Все разности пород образуют единые петрохимические тренды и относятся к умеренно-калиевой известково-щелочной серии (рис. 8б).

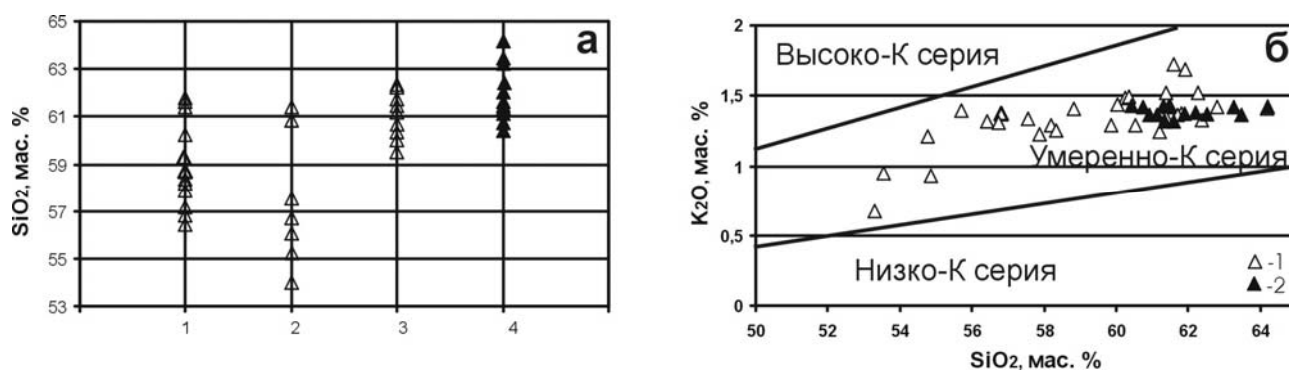


Рис. 8. а – временные вариации содержания SiO<sub>2</sub> в породах Молодого конуса: 1 – ранние лавовые потоки и экструзии; 2 – потоки юго-восточного сектора; 3 – позднеголоценовые экструзии; 4 – современный экструзивный купол. б – классификационная диаграмма для лав Молодого конуса по Gill, 1981. Залитыми треугольниками выделены породы современного экструзивного купола.

Петрографические и петрохимические особенности лав свидетельствуют, по видимому, о формировании серии пород Молодого Шивелуча в результате кристаллизационной дифференциации водонасыщенной магмы среднего или среднеосновного состава. Однако появление в разрезе гетеротакситовых лав не может быть объяснено процессами кристаллизационной дифференциации в магматической камере вулкана. Признаки смешения различных по составу расплавов, отчетливо проявленные в лавах средней части разреза, указывают на то, что такие расплавы сосуществовали (или сосуществуют) в питающей магматической системе вулкана одновременно. Следовательно, питающая магматическая система под вулканом имеет вертикальную зональность по составу и температуре и может быть представлена одним крупным расслоенным очагом или небольшими камерами на разных уровнях, выполненными расплавом разной степени дифференциации. Петрографо-минералогические особенности современных экструзивных лав также указывают на их формирование в результате взаимодействия различных по составу расплавов и на возможность поступления основного расплава в малоглубинный очаг кислой магмы (Горбач, 2006; Humphreys M., et al., 2006).

Изученные лавовые образования далеко не полностью характеризуют продукты посткальдерной фазы деятельности вулкана Шивелуч. Значительный объем материала, поступившего на поверхность в голоцене, представлен пирокластическими отложениями, которые занимают площадь около 250 км<sup>2</sup> на южном подножии вулкана и маркируют 60 крупных эксплозивных извержений (Ponomareva et al., 1998; Ponomareva et al., 2007). Корреляция вещественного состава изученных лав и надежно датированных пирокластических отложений (Ponomareva et al., 1998; Ponomareva et al., 2007), выделение комагматичных образований позволит дать более точные временные привязки стадий формирования конуса, а последующая петролого-геохимическая характеристика последовательных порций лав позволит реконструировать эволюцию питающей магматической системы вулкана.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 06-III-B-08-369 и 07-III-D-08-094.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Извержение вулкана Шивелуч в 1964 г. (Камчатка) - плинианское извержение, предварявшееся крупномасштабным обрушением постройки // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 116-126.
2. Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д. Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч, Камчатка // Петрология. 1997. Т. 5. № 2. С. 206-221.
3. Горбач Н.В. Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 9-16.
4. Горбач Н.В. Формирование экструзивного купола вулкана Шивелуч и состав его лав в 2004-2005 гг. // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма», Петропавловск–Камчатский, 25-30 марта 2006 г. С. 112-119.
5. Горшков Г.С. Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3-38.
6. Двигало В.Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104-109.
7. Кожемяка Н.Н. Четвертичные полигенные вулканы Камчатки: масштабы вулканизма, баланс вещества, динамика интенсивности и продуктивности в отдельных типах построек, вулканических зонах и по региону в целом // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 3-21.
8. Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Ермаков В.А. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т.1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
9. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII – XX вв.) Часть I.1650-1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3-19 .
10. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII – XX вв.) Часть II.1965-2000 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 3-20.
11. Меняйлов А.А. Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
12. Пийп Б. И. Новое эруптивное состояние вулкана Шивелуч с конца 1944 г. по май 1945 г. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях. Бюлл. Вулк. Станции на Камчатке, № 14. 1948.
13. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.

14. Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др. Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // Вулканонология и сейсмология. 2001. № 6. С. 1-13.
15. Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканонология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3-20.
16. Dirksen O., Humphreys M.C.S., Pletchov P., Melnik O., Demyanchuk Y., Sparks R.S.J., Mahony S. (2006) The 2001–2004 dome-forming eruption of Shiveluch Volcano, Kamchatka: observation, petrological investigation and numerical modelling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 155, P. 201-226.
17. Humphreys M.C. S., Blundy J.D., Sparks R.S.J. (2006) Magma Evolution and Open-System Processes at Shiveluch Volcano: Insights from Phenocryst Zoning. *Journal of Petrology*, 47, P. 2303-2334
18. Ponomareva, V.V., Pevzner, M.M., and I.V. Melekestsev (1998). Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia, *Bull. of Volcanol.*, 59, P. 490-505.
19. Ponomareva, V.V., Kyle P., Pevzner, M.M., et al. (2007). Holocene eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka Peninsula, Russia. AGU monograph. (In print).

УДК 550.344.43

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОГЛОЩАЮЩИХ И РАССЕИВАЮЩИХ СВОЙСТВ СРЕДЫ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

**М.В. Лемзиков**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
683006; e-mail: [lemzikov@kscnet.ru](mailto:lemzikov@kscnet.ru)*

Записи слабых вулкано-тектонических землетрясений вулкана Ключевской обработаны методом набора временных окон. Данный метод использует нормированные интегралы от объемной плотности сейсмической энергии по нескольким временным окнам на записи землетрясения, пропущенной через полосовой фильтр. Определение оценок поглощающих и рассеивающих свойств среды выполнялось путем подбора параметров, обеспечивающих наилучшее совпадение экспериментальных и теоретических зависимостей названных интегралов от гипоцентрального расстояния. Теоретические зависимости нормированных интегралов от гипоцентрального расстояния вычислялись с использованием аналитического решения уравнения переноса сейсмической энергии в условиях простой модели изотропного рассеяния скалярных сейсмических волн от импульсного точечного источника в однородной по рассеивающим и поглощающим свойствам среде. Получены оценки параметров внутреннего поглощения и рассеивания, которые характеризуют физическое состояние среды вулкана Ключевской. Сравнение средних оценок добротности, полученных в данной работе по