

УДК 551.21

ВУЛКАН СТАРЫЙ ШИВЕЛУЧ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭРУПТИВНЫХ ЦЕНТРОВ И ХАРАКТЕР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

© 2011 Н.В. Горбач

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: n_gorbach@mail.ru*

На основе результатов полевых исследований дана характеристика геологического строения позднеплейстоценового вулкана Старый Шивелуч. Деятельность вулкана имела два четко выраженных этапа – экструзивно-эксплозивная активность начальной фазы сменилась обильными излияниями лав из нескольких эруптивных центров. Позиция эруптивных центров реконструируется вдоль периметра разрушенного южного сектора вулкана. В постройке Старого Шивелуча выделены три основные группы пород: магнезиальные андезиты ($\text{SiO}_2 = 57.3-63.8$ мас.%, $\text{Mg\#} = 52.5-57.0$ мол.%), высокоглиноземистые андезибазальты ($\text{SiO}_2 = 53.5-55.7$ мас.%, $\text{Mg\#} = 52.1-56.1$ мол.%), высокомагнезиальные андезибазальты ($\text{SiO}_2 = 53.9-55.0$ мас.%, $\text{Mg\#} = 58.8-63.7$ мол.%). Определена относительная последовательность формирования и приблизительные объемные соотношения различных типов пород. На основе новых геологических наблюдений сделано предположение о возможных причинах разрушения южного сектора вулканической постройки.

Ключевые слова: Шивелуч, геологическое строение, магнезиальные андезиты, обрушение сектора вулкана.

ВВЕДЕНИЕ

Вулканический массив Шивелуч (рис. 1), который включает позднеплейстоценовый стратовулкан Старый Шивелуч и действующий в голоцене Молодой Шивелуч (Мелекесцев и др., 1991; Меняйлов, 1955), является одним из крупнейших вулканических центров на Камчатке. Геодинамическая позиция вулканического

массива в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, аномально высокая продуктивность, масштабы и частота извержений Молодого Шивелуча, преобладание магнезиальных андезитов среди изверженных продуктов (Вольнец и др., 1997) вызывают повышенный интерес исследователей к данному объекту. Современным извержениям Молодого Шивелуча посвящено большое количество



Рис. 1. Вулканический массив Шивелуч: *а* – основные структурные элементы вулканического массива, вид с юго-востока; *б* – географическое положение.

публикаций (Белоусов, Белоусова, 1995; Гирина и др., 2006; Горшков, Дубик, 1969; Двигало, 1984; Жаринов, Демянчук, 2008; Мелекесцев и др., 2004; Меняйлов, 1955; Пийп, 1948; Федотов и др., 2001; Хубуная и др., 1995; Dirksen et al., 2006 и др.). Среди геологических и петролого-геохимических данных о вулканическом массиве Шивелуч резко преобладает информация о голоценовом периоде его деятельности (Волынец и др., 1997; Горбач, Портнягин, 2011; Ponomareva et al., 2007; Portnyagin et al., 2007). Именно эти данные определяют наши представления о вулканическом массиве Шивелуч, несмотря на то, что в объемном отношении породы голоценового возраста имеют подчиненное значение по сравнению с продуктами ранних этапов вулканизма (Мелекесцев и др., 1991; Меняйлов, 1955). Ограниченность сведений о позднеплейстоценовом этапе деятельности Старого Шивелуча не позволяет уверенно определить позицию базальт-андезитобазальтовых излияний в истории его развития и генетические соотношения этих пород с преобладающими магнезиальными андезитами.

С целью уточнения объемных, временных и генетических соотношений пород различных геохимических типов на позднеплейстоценовом этапе развития вулканического массива Шивелуч в 2006–2009 гг. было проведено полевое исследование постройки Старого Шивелуча. На основе результатов этих работ и с использованием ранее опубликованных данных (Лопатин и др., 1979¹; Мелекесцев и др., 1991) составлена схема геологического строения вулканического массива (рис. 2). На схеме приведена петрографическая типизация пород, уточнены поля их распространения и показана позиция даек в структуре вулканического массива.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА ШИВЕЛУЧ

Вулканический массив Шивелуч расположен в северной части Центрально-Камчатской депрессии и занимает площадь более 1000 км². По данным (Мелекесцев и др., 1991) вулканическая деятельность Старого Шивелуча началась 60–70 тыс. лет назад. В северной части Старый Шивелуч представляет собой крутосклонный конус с абсолютной высотой 3283 м, склоны которого прорезаны глубокими ледниковыми долинами и на отдельных участках обрываются отвес-

ными стенами. На склонах Старого Шивелуча расположены побочные экструзивные образования различного возраста – позднеплейстоценовые экструзии г. Семкорок на юго-восточном подножии и голоценовые экструзии группы Каран на западных склонах. В юго-западном секторе Старого Шивелуча (Байдарный отрог) предполагалось наличие одноактных вулканических центров (Волынец и др., 1999). Южный сектор Старого Шивелуча разрушен в результате крупномасштабного обвала (Мелекесцев, 1991; Belousov et al., 1999). В северо-западном секторе обвального цирка расположена серия голоценовых экструзий и лавовых потоков, образующих постройку Молодого Шивелуча (рис. 2). В центральной части Молодого Шивелуча находится современный кратер, сформированный в результате катастрофического извержения 12 ноября 1964 г. и вмещающий растущий экструзивный купол. Южное подножие вулкана покрыто голоценовыми пирокластическими отложениями по меньшей мере 60 крупных взрывных извержений Молодого Шивелуча (Ponomareva et al., 2007), которые занимают площадь около 250 км².

Во всех предшествующих работах, посвященных геологическому строению вулканического массива (Ермаков, 1985; Лопатин и др., 1979¹; Мелекесцев и др., 1991; Меняйлов, 1955), отмечалось, что в основании постройки Старого Шивелуча находится мощная толща грубообломочных пирокластических отложений, перекрытая потоками лав андезитового и андезитобазальтового состава. На основе новых полевых данных предпринята попытка более детально рассмотреть строение и состав пород пирокластической толщи, отвечающей начальной фазе деятельности вулкана, и перекрывающего лавового комплекса.

НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТАРОГО ШИВЕЛУЧА (НФД)

Мощная толща грубообломочных пирокластических отложений (рис. 2, 3а, 3б), которая залегает в основании постройки Старого Шивелуча, представлена полого залегающими стратифицированными агломератовыми и псефитовыми туфами. Нижняя граница этих пирокластических отложений не обнажена. Верхняя граница (между туфами и лавовым комплексом Старого Шивелуча) отчетливо выделяется во всех секторах постройки (рис. 3) за исключением южного, перекрытого чехлом пирокластических отложений Молодого Шивелуча. В восточном секторе вулкана первые потоки лав перекрывают пирокластическую толщу на абсолютных высотах 1750–2000 м. В западном секторе лавы

¹ Лопатин В.Б., Литвинов А.Ф., Цикунов А.Г. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые площади листов О-57-XXV, XXXVI (Отчет о геологической съемке и поисках полезных ископаемых м-ба 1:200 000, проведенных Шивелучской партией в 1976–78 г.г.) Т. 1. 252 с.

ВУЛКАН СТАРЫЙ ШИВЕЛУЧ

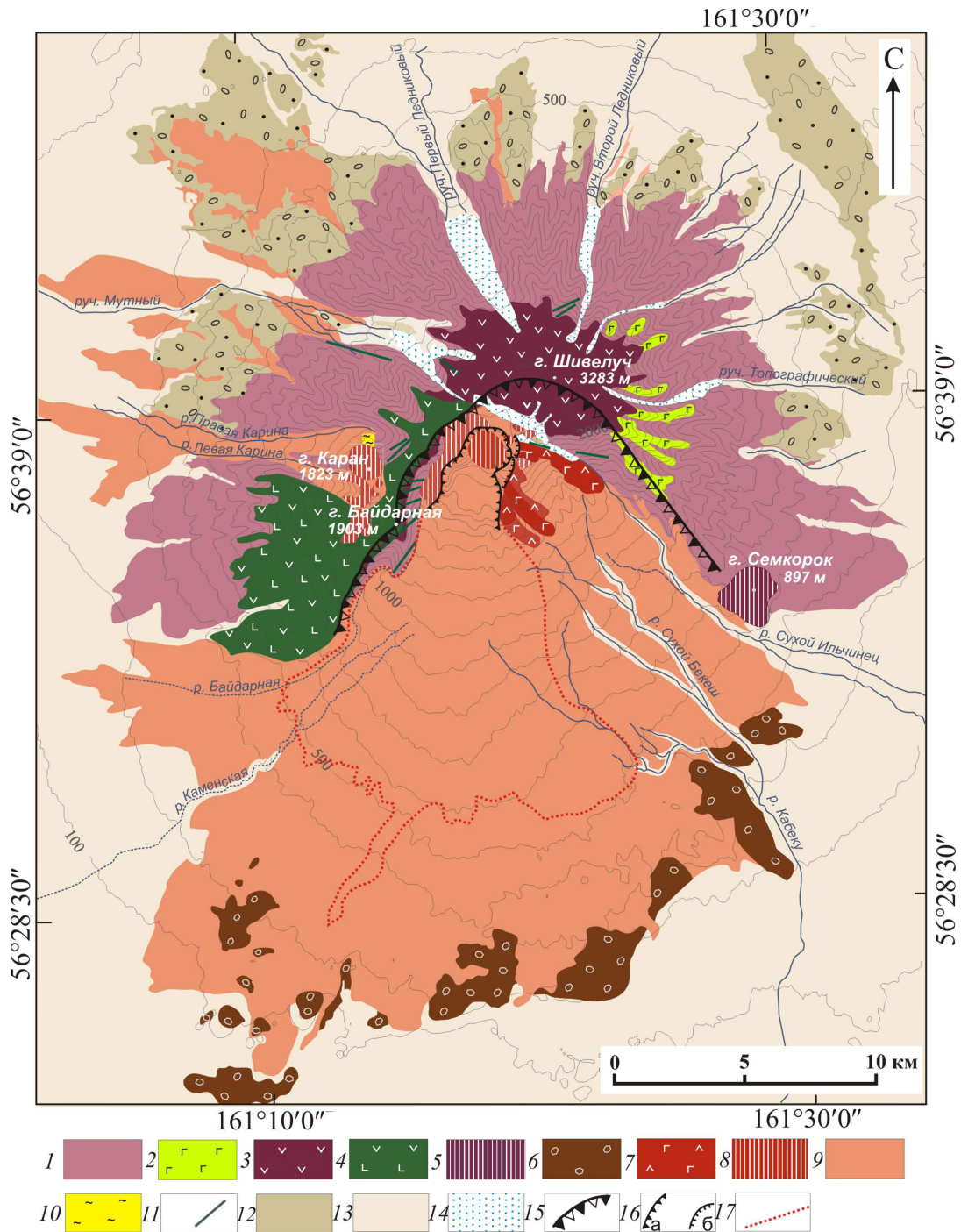


Рис. 2. Схема геологического строения вулканического массива Шивелуч. Составлена на основе полевых исследований с использованием материалов (Лопатин и др., 1979¹; Мелекесцев и др., 1991), а также неопубликованных данных И.В. Мелекесцева. Старый Шивелуч (1-6): 1 – агломератовые туфы Hbl-P1 и Hbl-Px андезитов, 2 – лавы OI-Cpx-P1 андезибазальтов; 3 – лавы Hbl-P1 и Hbl-Px-P1 андезитов, реже Px-P1 андезибазальтов; 4 – лавы Px-P1 андезибазальтов; 5 – экструзивные лавы Hbl-P1 андезитов; 6 – предполагаемые отложения обвала южного сектора вулкана. Молодой Шивелуч и экструзии группы Каран (7-9): 7 – потоки лав OI-Cpx-P1± Hbl андезитов и андезибазальтов, 8 – экструзивные лавы Hbl-P1 и Hbl-Px, реже OI-Hbl-P1 андезитов; 9 – проксимальные пирокластические отложения. 10 – блок осадочных пород фундамента; 11 – дайки; 12 – ледниковые отложения второй стадии позднеплейстоценового оледенения; 13 – аллювиально-пролювиальные отложения подножий, 14 – современные ледники, 15 – граница обвального кратера, 16 – современный кратер (а), – фрагменты ранних кратеров Молодого Шивелуча (б); 17 – граница распространения отложений катастрофического извержения 1964 г. Поля развития проксимальных голоценовых пирокластических отложений выделены согласно (Ropotageva et al., 2007). Поля развития аллювиально-пролювиальных отложений подножий, морен второй стадии позднеплейстоценового оледенения и предполагаемые отложения обвала южного сектора вулкана выделены по результатам дешифрирования аэрофотоснимков.



Рис. 3. Общий вид пирокластической толщи начальной фазы деятельности вулкана: *а* – в верховьях ледника Тюшева; *б* – в верховьях реки Сухой Ильчинец; *в* – потоки лав оливин-пироксен-плагиоклазовых андезибазальтов, залегающих внутри пирокластических отложений НФД (отмечены стрелкой). Пунктирная линия указывает на подошву лавового комплекса.

зафиксированы значительно ниже – на абсолютной высоте ~ 1000 м. Мощность пирокластических отложений НФД достигает 1800–2000 м в центральной части вулкана. В радиусе ~ 7.5 км от центра Старого Шивелуча средняя мощность агломератовых туфов оценивается в 900–1000 м, а в радиусе 10–12 км – 400–500 м. Общими чертами строения пирокластической толщи являются преимущественное развитие более тонких псефитовых разностей в верхах толщи и преобладание грубообломочных отложений в ее низах. Площадь распространения отложений НФД оценивается в 220 км².

Наиболее доступное обнажение пирокластических отложений НФД расположено по правому борту реки Байдарной на абсолютной высоте 900 м. В обнажении, видимой мощностью до 30 м вскрыты слаболитифицированные агломератовые туфы роговообманковых андезитов. Материал не сортирован, преобладающая размерность обломков – 20–40 см, встречаются единичные угловатые глыбы размером до 1 м. Аналогичные по составу отложения можно наблюдать и на северных склонах вулкана. По правому борту ручья Второй Ледниковый обнажены грубослоистые пирокластические отложения мощностью до 50 м. Нижнюю часть обнажения составляют слабосортированные агломератовые туфы роговообманковых и пироксен-роговообманковых андезитов. По количеству и размерности крупных обломков и наличию слабовыраженной сортировки «обратной гравитационной» в нижней части обнажения выделяется три слоя, мощностью в 3–4 м. Выше следуют переслаивающиеся горизонты мощностью ~ 0.5–0.7 м, сложенные более тонким материалом: вулканическим песком и лапилли пироксен-роговообманковых андезитов. В верхней части обнажения насчитывается 7 слоев агломератовых туфов, хорошо выделяющихся по размерности и цвету грубообломочного материала. Максимальный размер глыб ~ 2 м. Глыбы и крупные обломки угловатые, поверхность отдельных глыб имеет облик хлебной корки. Залегание слоев пологое с падением в первые градусы к ССВ. По аналогии с пирокластическими отложениями извержений Молодого Шивелуча описанные агломератовые туфы можно идентифицировать как отложения пеплово-глыбовых пирокластических потоков.

В обрыве Главной вершины (рис. 2, выс. отн. 3283,) отложения НФД вскрыты максимально и обнажены более чем на 1000 м (рис. 3б). В истоке реки Сухой Ильчинец в интервале абсолютных высот 1400–2000 м отложения представлены переслаиванием псефитовых кристалло- и литокластических туфов пироксен-роговообманковых и дупироксеновых амфиболсодержащих андезитов. В редких прослоях отмечены шлаки и бомбы пироксен-плагиопорфировых андезибазальтов. Мощность отдельных прослоев от первых десятков сантиметров до первых метров, туфы слаболитифицированы.

В верхах пирокластической толщи находится лавовая пачка из 7 потоков лав оливин-клинопироксен-плагиоклазовых андезибазальтов (рис. 3в). Потоки бронируют гребни юго-восточных ущелий Старого Шивелуча в секторе между долинами реки Сухой Ильчинец и ручья Топографический на высотах 1400–1600 м. Мощность отдельных потоков варьирует от

3 до 5-7 м, протяженность достигает 5 км. Выше лавовой пачки фрагментарно наблюдаются останцы потоков роговообманковых андезитов, а ближе к центру постройки – прослойки пирокластического материала. На северо-восточном склоне вулкана в результате внедрения андезитобазальтовых лав аналогичного состава сформированы плосковершинные экструзивные тела и дайки.

По минимальной оценке, отложения начальной фазы деятельности вулкана формируют около 60% от объема постройки Старого Шивелуча, причем подавляющая доля этого объема приходится на андезитовый грубообломочный пирокластический материал.

Лавовый комплекс Старого Шивелуча представлен мощной толщей лав андезитового и андезибазальтового состава и имеет различное строение в восточной и западной части постройки. Источниками излияний лав служили не менее четырех эруптивных центров, положение которых реконструируется вдоль периметра разрушенного сектора вулкана.

Лавовая серия Главной вершины. Особенности строения лавовой толщи в восточном секторе Старого Шивелуча являются моноклинальное выдержанное залегание и максимальная мощность лав. Первые мощные лавовые потоки, формирующие Главную вершину, имеют андезитовый состав. Они залегают субгоризонтально и перекрывают грубообломочные пирокластические отложения НФД на высотах 2000-1740 м. Обрушение южного фрагмента вершины вулкана

позволяет наблюдать внутреннее строение более 10 лавовых потоков (рис. 4а на 4-ой стр. обложки). Потоки имеют выдержанную мощность в 40-50 м (рис. 4б на 4-ой стр. обложки), иногда разделены лавобрекчиями и маломощными прослоями или линзами пирокластического материала. Пологозалегающие и более протяженные нижние потоки в направлении вершинной части сменяются более короткими и крутозалегающими потоками. Клиновидный вершинный поток имеет падение до 40° и сохраняет первичную глыбовую отдельность. В нижней части лавового разреза Главной вершины хорошо выделяются более темной окраской и меньшей мощностью два потока лав оливин-пироксен-плагиоклазовых андезибазальтов.

С ледниковой седловины, разделяющей гребень Главной вершины Старого Шивелуча и северные склоны Молодого Шивелуча, можно наблюдать строение привершинной части вулкана в центральном секторе. В центре вершинного гребня находится чашеобразный цирк глубиной в 500 м и диаметром до 900-1000 м. Периклинальное залегание потоков лав по периферии данного цирка и обилие гидротермально измененных пород указывают на положение Центрального эруптивного канала Старого Шивелуча (рис. 5а).

Непосредственно под Главной вершиной находится субвулканическое тело диаметром до ~ 200 м. Тело характеризуется правильной сферической формой и скорлуповатой отдельностью (рис. 5б). Во вскрытом обрыве Главной

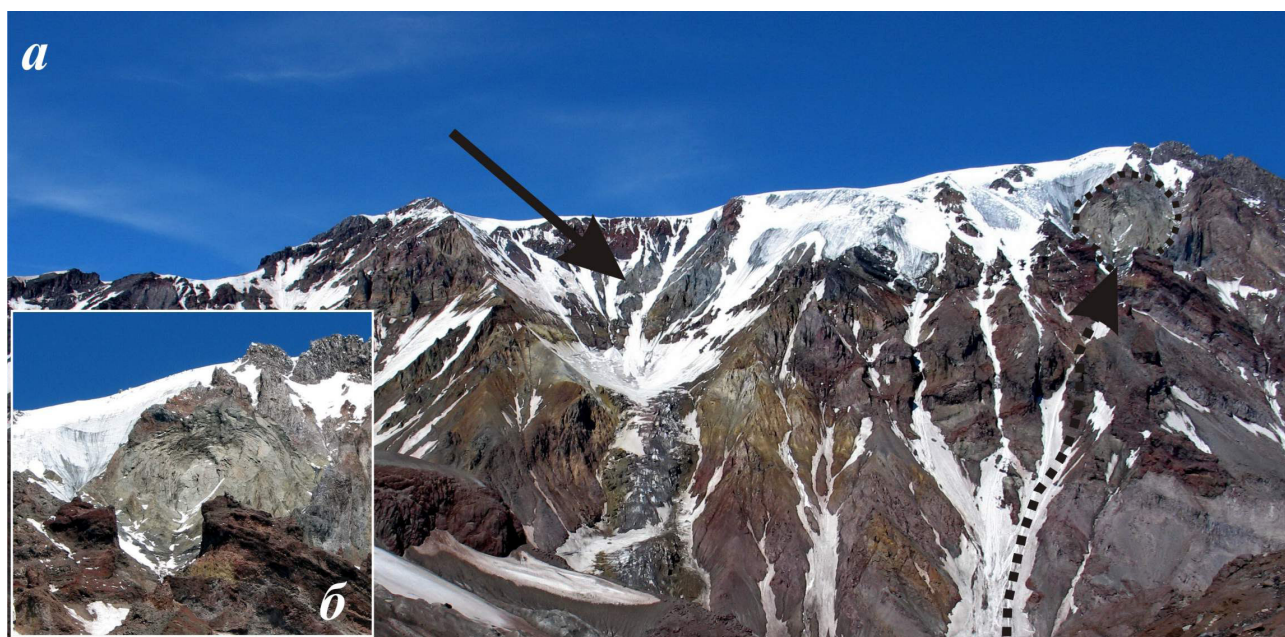


Рис. 5. Строение вершинного гребня Старого Шивелуча: *а* – позиция Центрального выводящего канала Старого Шивелуча (показано стрелкой) и привершинного субвулканического тела (точечный пунктир). Пунктирная линия со стрелкой указывает на деформации и разрывы лавовой толщи, возникшие в результате внедрения субвулканического тела; *б* – морфология привершинного субвулканического тела в более крупном масштабе.

вершины хорошо видно, что при внедрении субвулканического тела было нарушено первичное залегание пирокластической и лавовой толщи. Потоки лав и прослои пирокластического материала смещены и разорваны. Деформации лавовых потоков и слоев пирокластического материала прослеживаются по вертикали более чем на 1000 м (рис. 5а). Кровля субвулканического тела находится в ~ 100-150 м под Главной вершиной.

Лавы западного сектора Старого Шивелуча. Строение лавовой серии в западном секторе постройки Старого Шивелуча более сложное. По направлению падения лавовых потоков и их взаимоотношениям в сохранившихся фрагментах разрезов выделяется несколько эруптивных центров (рис. 6а).

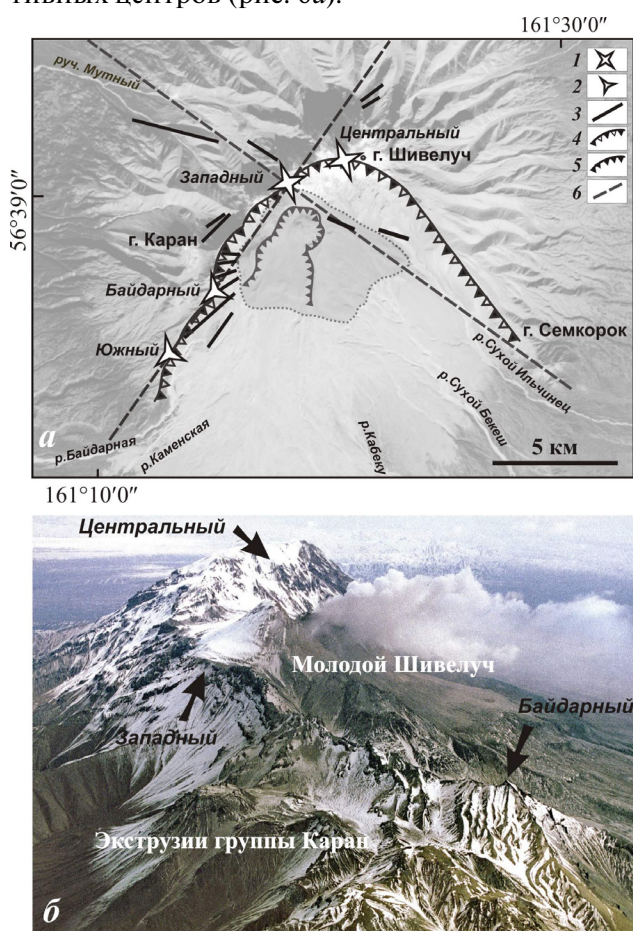


Рис. 6. Центры излияний лав Старого Шивелуча. Схема расположения центров излияний и даек в структуре вулканического массива (а): 1 – эруптивные центры, изливавшие андезитовые и андезибазальтовые лавы; 2 – эруптивные центры, с которыми связаны излияния исключительно андезибазальтовых лав; 3 – дайки; 4 – граница обвального кратера; 5 – современный кратер Молодого Шивелуча; 6 – предполагаемые ослабленные зоны). Поле, оконтуренное пунктиром, соответствует постройке Молодого Шивелуча. Взаимоотношения потоков лав, связанных с эруптивными центрами Центральным, Западным и Байдарным (б). Фото А.В. Сокоренко.

Как и в восточном секторе, первые потоки лав перекрывают отложения начальной фазы деятельности субгоризонтально. Фрагменты и останцы таких потоков залегают здесь значительно ниже – на абсолютных высотах 1000-1200 м на водораздельных гребнях рек Правая и Левая Карина и ручья Мутного. Наиболее мощные потоки андезитов обнажены в северо-западной части вулкана, в бортах долины Первого Ледника. Направления падения потоков указывают на то, что излияния андезитовых лав были связаны с Центральным каналом Старого Шивелуча.

По периклинальному залеганию лав в 3 км к западу от Центрального выводящего канала Старого Шивелуча реконструируется эруптивный центр Западный (рис. 6б). Потоки лав опускаются от данного центра в северо-западном, юго-западном и южном направлениях. В верховьях ручья Мутного и рек Правой илевой Карины верхняя часть лавового разреза, связанного с Западным эруптивным центром, значительно эродирована ледниками и частично разрушена в результате последующего внедрения экструзий Молодого Шивелуча. Нижний фрагмент разреза лавовой серии в пределах абсолютных отметок 2000-2400 м представлен переслаиванием преобладающих лав пироксен-плагиопорфировых андезибазальтов с более редкими потоками пироксен-роговообманковых андезитов и маломощными прослоями шлаков и лавобрекчий. К югу протяженные потоки Западного эруптивного центра перекрываются лавами г. Байдарной (рис. 6б, 7а). Центр излияний г. Байдарной фиксируется нечком, строение которого детально описано (Малеев, 1975). Лавовые потоки, берущие начало в районе г. Байдарной (рис. 7б), бронируют юго-западный склон вулкана, имеют протяженность до 5-6 км, иногда разделяются на рукава и опускаются до высоты 600-700 м. Состав лав аналогичен пироксен-плагиопорфировым андезибазальтам Западного эруптивного центра.

В обрыве Байдарного отрога вскрыты дайки, которые служили подводными каналами к отдельным центрам излияний. Дайки секут образования пирокластической толщи НФД и нижнюю часть лавового комплекса Старого Шивелуча и имеют северо-восточное простирание (рис. 6а, 7а). Насчитывается 8 крупных даек, некоторые из них имеют апофизы. Мощность даек изменяется от 2 м до 20 м, а протяженность по простиранию наиболее крупной дайки достигает 3 км.

В 2.5 км к юго-западу от г. Байдарной, в месте пересечения двух даек расположен небольшой эруптивный центр Южный (рис. 7в). Этот эруптивный центр представляет собой куполовидную возвышенность, в вершинной части

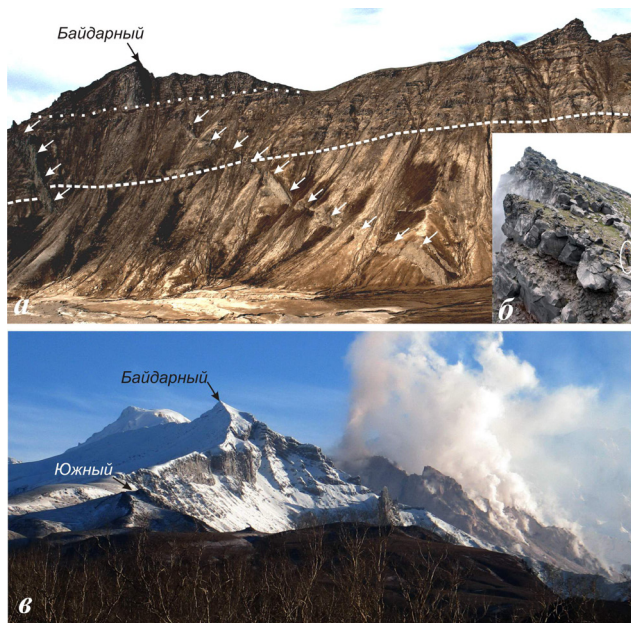


Рис. 7. Эруптивные центры юго-западного сектора Старого Шивелуча. Эруптивный центр Байдарный (а): точечный пунктир показывает границу, разделяющую лавы Байдарного и Западного эруптивных центров; штриховой пунктир фиксирует подошву лав Западного эруптивного центра и пирокластических отложений НФД; стрелками выделены дайки. Вершинные потоки г. Байдарной (б) и эруптивный центр Южный (в).

которой берут начало короткие лавовые потоки. Мощность отдельных потоков 2-3 м, общая видимая мощность излившихся лав – не более 20 м. Лавы Южного эруптивного центра перекрывают потоки лав, связанных с центром излияний г. Байдарной и предположительно являются наиболее молодыми образованиями западного сектора Старого Шивелуча.

КРАТКАЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД СТАРОГО ШИВЕЛУЧА

Определение содержаний главных элементов и элементов-примесей в образцах пород Старого Шивелуча было выполнено рентгенофлуоресцентным методом (спектрометр Phillips X'Unique PW1480) в Институте морских исследований им. Ляйбница (ИФМ-ГЕОМАР, г. Киль, ФРГ). В данной работе приведено короткое описание петрохимии пород.

Содержание SiO_2 в породах Старого Шивелуча варьирует от 53.5 до 63.8 мас.%. По содержанию K_2O андезиты и андезибазальты Старого Шивелуча относятся к умереннокалиевой серии и формируют единый тренд с породами голоценового периода деятельности вулкана (рис. 8а). Позднеплейстоценовые породы имеют низкое отношение FeO^*/MgO и принад-

лежат к известково-щелочной серии (рис. 8б). При данном содержании SiO_2 большая часть пород Старого Шивелуча характеризуется более низкой магнезиальностью в сравнении с лавами и пирокластикой Молодого Шивелуча (рис. 8в).

По химическому и петрографическому составу в постройке Старого Шивелуча выделяется три основные группы пород. Резко преобладающая по объему группа представлена пироксен-роговообманковыми и роговообманковыми магнезиальными андезитами. Эти породы слагают пирокластическую толщу НФД, лавовую серию Главной вершины, а также экструзии г. Семкорок и характеризуются следующими вариациями химического состава $\text{SiO}_2 = 57.3-63.8$, $\text{TiO}_2 = 0.47-0.83$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.5-17.6$, $\text{MgO} = 2.8-4.8$, $\text{K}_2\text{O} = 1.2-1.7$ (мас.%), $\text{Cr} = 45-90$, $\text{Ni} = 5-32$ (г/т), $\text{Mg\#} = 52.5-57.0$ мол.%. Вторая по распространенности группа пород представлена пироксен-плагиопорфировыми андезибазальтами, которые связаны с центрами излияний Западный, Байдарный и Южный. Пироксен-плагиопорфировые лавы западного сектора вулкана обнаруживают монотонность состава: $\text{SiO}_2 = 53.5-55.67$, $\text{TiO}_2 = 0.84-0.99$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.58-17.51$, $\text{MgO} = 4.44-5.89$, $\text{K}_2\text{O} = 0.87-1.18$ (мас.%), $\text{Cr} = 35-99$, $\text{Ni} = 2-26$ (г/т), $\text{Mg\#} = 52.1-56.1$ мол.%. По величине коэффициента глиноземистости $\text{al}' \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO}^* + \text{MgO}) = 1.2-1.47$ андезибазальтовые лавы западного сектора Старого Шивелуча относятся к высокоглиноземистым породам. Ограниченный объем и локальное распространение имеют высокомагнезиальные андезибазальты ($\text{Mg\#} = 58.8-63.7$ мол.%, $\text{al}' = 0.98-1.2$), изверженные в конце НФД. При одинаковом содержании SiO_2 андезибазальты НФД отличаются от пород лавового комплекса большими концентрациями $\text{MgO} = 6.12-7.52$ мас.%, $\text{Cr} = 175-315$, $\text{Ni} = 35-76$ г/т и $\text{K}_2\text{O} = 1.18-1.27$ мас.% и несколько пониженными содержаниями $\text{TiO}_2 = 0.76-0.86$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.1-16.49$ мас.%. Высокомагнезиальные андезибазальтовые лавы НФД по величине Mg\# , повышенным содержаниям Cr и Ni , относительно пониженным концентрациям Al_2O_3 и более высоким содержаниям калия близки к породам лавового комплекса Молодого Шивелуча (Вольнец и др., 1997; Горбач, Портнягин, 2011; Ponomareva et al., 2007; Portnyagin et al., 2007).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Характер деятельности вулкана в начальную фазу. Пирокластические отложения НФД по ряду признаков сходны с пирокластическими отложениями Молодого Шивелуча. В фациальном отношении разрез голоценовых проксимальных пирокластических отложений пред-

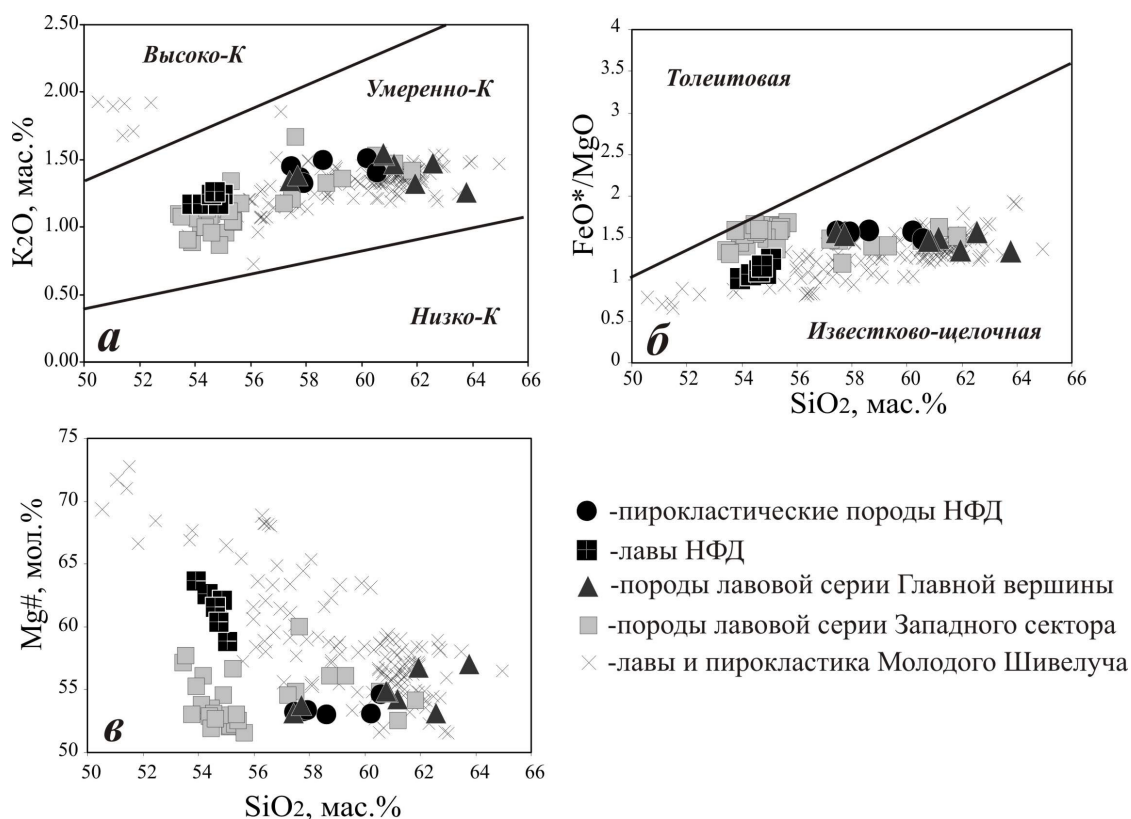


Рис. 8. Состав пород Старого Шивелуча на классификационных диаграммах SiO₂ – K₂O (а), SiO₂ – FeO*/MgO (б) и в координатах SiO₂ – Mg# (в). Данные по составу лав и пирокластических продуктов Молодого Шивелуча согласно (Вольнец и др., 1997; Горбач, Портнягин, 2011; Ponomareva et al., 2007).

ставлен отложениями пеплопадов, пемзовых и пеплово-глыбовых пирокластических потоков, пирокластических волн и обломочных лавин, а также лахаров (Ponomareva et al., 2007). Состав, крупность, характер обломков и наличие грубой стратификации в агломератовых туфах НФД близки к аналогичным характеристикам отложений современных пеплово-глыбовых пирокластических потоков, агломератовых мантий экструзивных куполов и грубой тефры (рис. 9). Важными чертами сходства современных и ранних пирокластических отложений являются значительные площади распространения и субгоризонтальное залегание. Примечательно, что площади распространения агломератовых туфов НФД и пирокластических отложений Молодого Шивелуча практически равны (рис. 2).

Формирование современных пирокластических отложений связано с мощной эксплозивной активностью Молодого Шивелуча, а также с ростом, разрушением и переотложением материала экструзивных куполов этого эруптивного центра. Сходство агломератовых туфов НФД раннего этапа формирования вулкана и голоценовых проксимальных пирокластических отложений позволяет сделать вывод о том, что извержения Старого Шивелуча в начальную фазу деятельности были сходны с современной активностью и имели экструзивно-эксплозивный

характер. Можно предполагать, что в ходе инициальной деятельности Старого Шивелуча происходили многократные внедрения экструзивных тел, которые сопровождалась мощной эксплозивной деятельностью. Падение элементов слоистости в стратифицированных фрагментах разрезов пирокластита НФД выдержано и направлено от Центрального выводящего канала Старого Шивелуча. Максимальные мощности отложений наблюдаются в районе Главной вершины в 2.5-3 км к северо-востоку от современного активного кратера. Наиболее вероятно, формирование пирокластической толщи НФД было связано с единым эруптивным центром, сходным с Молодым Шивелучем, но превосходящим его по площади.

Видимая мощность пирокластической толщи НФД в центральном секторе Старого Шивелуча значительно превышает мощность голоценовых проксимальных пирокластических отложений. Однако, резкое увеличение мощности ранних пирокластических отложений в центральном секторе вулкана также находит аналогию в современных извержениях. Скорость накопления грубообломочного материала в кратерной зоне чрезвычайно высока. Примером этому служит текущее извержение (декабрь 2006 г. – настоящее время). В ходе извержения грубообломочным материалом раскаленных лавин был

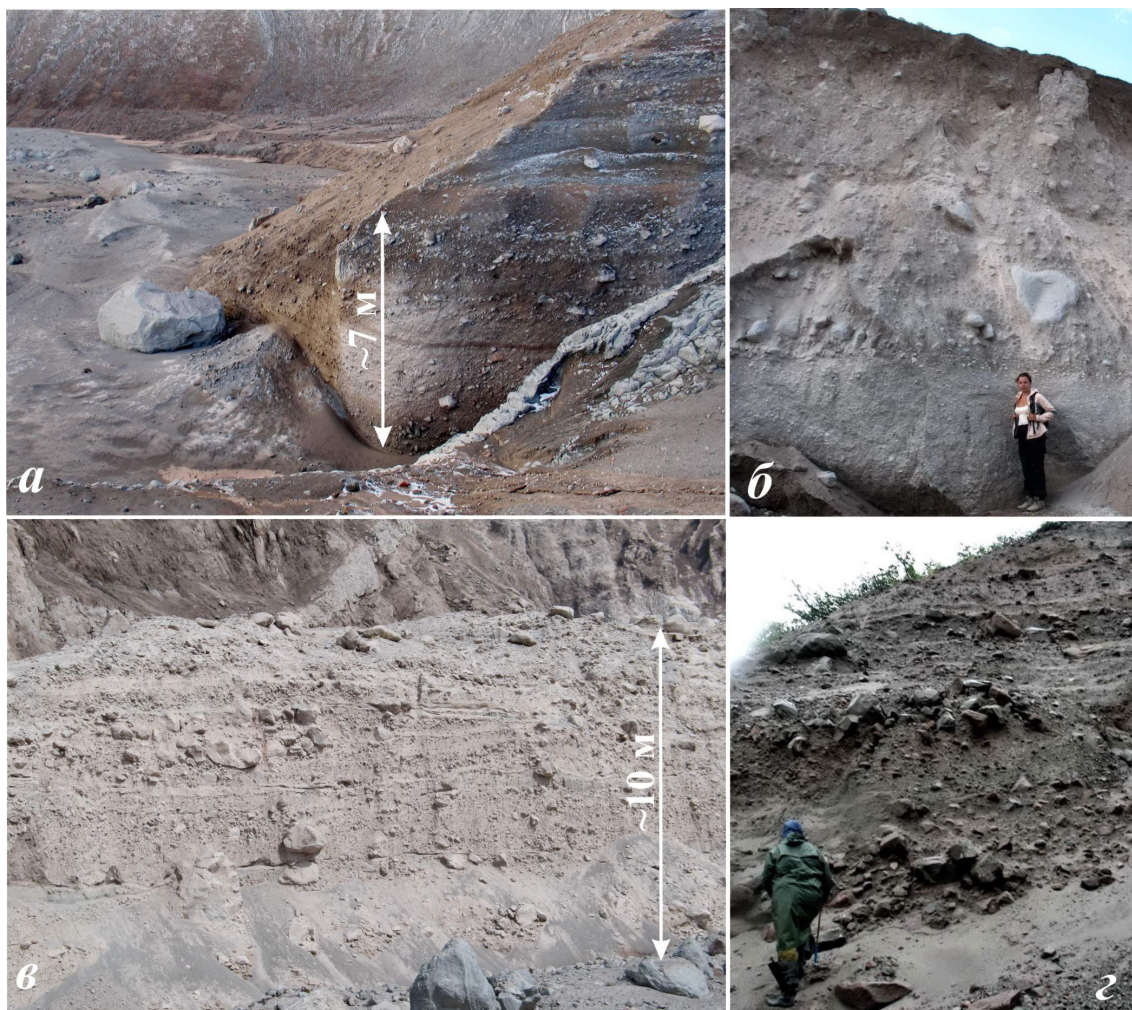


Рис. 9. Сравнение современных пирокластических отложений и агломератовых туфов НФД: *а* – грубостратифицированные пирокластические отложения НФД и отложения пирокластического потока извержения 22 сентября 2005 г., заполнившие русло реки Байдарной; *б* – отложения пирокластических потоков извержения 27 февраля 2005 г.; *в* – грубостратифицированные отложения агломератовой мантии современного экструзивного купола; *г* – пирокластические отложения НФД в долине ручья Второй Ледниковый.

полностью заполнен весь юго-восточный сектор кратера, борта которого до начала извержения превышали 150 м. Согласно полевым наблюдениям², заполнение произошло менее чем за год – с декабря 2006 г. по сентябрь 2007 г. Отложения агломератовой мантии экструзивного купола обнаруживают грубую стратификацию – переслаивание слоев с обломками различной крупности, которые отложены раскаленными лавинами различных масштабов и прослоев грубозернистых пеплов (рис. 9в). Таким образом, отложения агломератовых мантий экструзивных тел, имеющие грубостратифицированный облик, также могут принимать участие в строении пирокластической толщи НФД и значительно наращивать ее мощность в центральной части вулкана.

В качестве причины резкого увеличения мощности пирокластической толщи НФД в

центральном секторе Старого Шивелуча не исключается и возможность ее накопления на фундаменте с расчлененным и разновысотным рельефом, как было предположено (Ермаков, 1985).

Относительная последовательность излияния лав лавового комплекса Старого Шивелуча и миграция эруптивных центров. Взаимоотношения лав и направления падения потоков лавового комплекса Старого Шивелуча указывают на их излияния из различных эруптивных центров. Подавляющий объем лав был связан с эруптивными центрами Центральный и Западный. По переслаиванию лавовых потоков, связанных с этими эруптивными центрами, можно предположить их субсинхронное формирование – потоки пироксен-плагиопорфировых андезибазальтовых лав, имеющие отношение к эруптивному центру Западный, подстилаются и перекрываются андезитовыми лавами Центрального канала (рис. 10). Эруптивные центры Байдарный

² http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2007/Sheveluch_072007/Sheveluch_072007.html

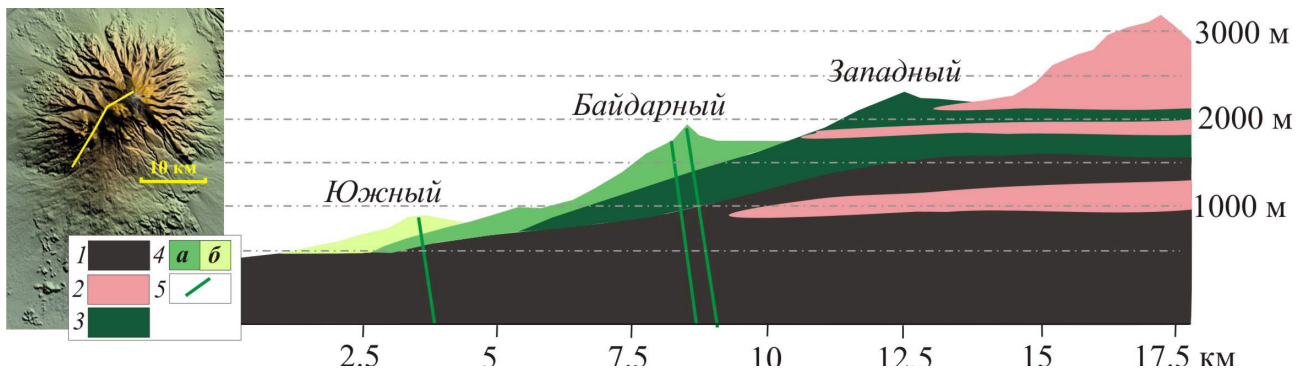


Рис. 10. Схематический разрез, показывающий взаимоотношения лав различных эруптивных центров в западном секторе Старого Шивелуча: 1 – пирокластические отложения НФД; 2 – андезитовые лавы, связанные с Центральным эруптивным центром; 3 – андезибазальтовые лавы Западного эруптивного центра; 4 – андезибазальтовые лавы эруптивных центров Байдарного (а) и Южного (б), соответственно; 5 – дайки.

и Южный, с которыми связаны исключительно андезибазальтовые лавы, формировались позднее и имели эксцентричную позицию.

Вне зависимости от принадлежности к отдельным эруптивным центрам пироксен-плагиопорфировые лавы западного сектора Старого Шивелуча обнаруживают выдержанный состав, отвечающий высокоглиноземистым андезибазальтам. Монотонность состава и взаимоотношения лав в секторе вулкана, ограниченном долинами ручья Мутного и реки Байдарной позволяют сделать вывод, что центры излияний высокоглиноземистых андезибазальтов последовательно мигрировали в юго-западном направлении (рис. 6а, 10). Миграция центров излияний, вероятно, происходила по ослабленной зоне северо-восточного простирания. Позднее, в голоцене, вдоль этой ослабленной зоны были внедрены экструзии группы Каран, образующие цепочку вдоль Байдарного отрога. Вероятно, к этой же ослабленной зоне может принадлежать и центр извержения голоценовых умереннокальциевых базальтов, отложения которого были описаны в работе (Чурикова и др., 2010).

Объемные соотношения андезитовых и андезибазальтовых пород в постройке Старого Шивелуча. В восточном и центральном секторе Старого Шивелуча в составе лавового комплекса резко преобладают андезитовые лавы. В западном секторе в сохранившихся фрагментах разрезов доминируют потоки андезибазальтов. Наблюдаемые объемные соотношения андезитов и андезибазальтов в пределах лавового комплекса Старого Шивелуча по грубой оценке близки 1:0.75. С учетом подавляющего преобладания андезитов в начальную фазу деятельности общее соотношение андезитовых и андезибазальтовых изверженных продуктов на позднеплейстоценовом этапе развития вулкана приблизительно составит 4:1.

Позиция даек в структуре вулканического массива. Известно, что внедрение радиальных

даек в пределах вулканических построек обусловлено избыточным давлением в магматических камерах (Nakamura, 1977). Группирование даек в определенных направлениях менее зависимо от локального гидростатического давления магмы и обусловлено влиянием региональных тектонических факторов, а их внедрение происходит перпендикулярно или параллельно осям максимальных тектонических напряжений (Acocella, Neri, 2009; Nakamura, 1977).

На рис. 2 и 6а показано распространение даек в пределах вулканического массива. В распределении даек доминируют два направления: северо-восточное и северо-западное. Северо-восточному простиранию следуют протяженные дайки, обнаженные вдоль Байдарного отрога южнее г. Байдарной. Севернее г. Байдарной дайки несколько меняют направление и приобретают хорошо выраженный радиальный характер. Дайки северо-западного простирания трансформируют седловину между Молодым и Старым Шивелучем и прослеживаются в СЗ секторе массива. Вероятно, внедрение даек преобладающих СВ и СЗ простираний приурочено к двум линейным ослабленным зонам, которые отклоняются от радиального направления и тем самым отражают эффект влияния региональных тектонических напряжений. Ослабленные зоны СВ и СЗ простирания образуют структурную «раму» обрушенного сектора вулкана (рис. 6а).

Интересной особенностью строения вулкана является ярко выраженная связь преобладающих направлений внедрения даек и их состава. Дайки, имеющие преобладающее СВ простирание и обнаженные в пределах Байдарного отрога, сложены высокоглиноземистыми пироксен-плагиопорфировыми андезибазальтами. Дайки СЗ простирания представлены магнезиальными оливинсодержащими породами. Отличия в составе даек, имеющих различные направления, могут рассматриваться в качестве дополнительного свидетельства важной роли структурно-



Рис. 11. Грубообломочные отложения по левому борту р. Кабеку, предположительно связанные с обрушением вершинной части Старого Шивелуча.

тектонического контроля их позиции. Можно предположить, что ослабленные зоны двух преобладающих и различных направлений, с которыми связаны дайки высокоглиноземистых и магнетитовых пород, имеют разную глубину заложения.

Проблема разрушения южного сектора Старого Шивелуча. На основе анализа геологического строения вулкана А.А. Меняйловым (1955) было сделано предположение о происхождении «вулcano-тектонической депрессии или кальдеры» в южном секторе в результате опускания центральной части массива вследствие истощения из очага значительных объемов магмы. Опускание происходило не путем мгновенного обрушения, а вероятно явилось результатом медленного сползания (сброса) центральной части вулкана (Меняйлов, 1955).

В более поздних работах основная роль в формировании кальдеры отведена крупномасштабному обвалу сектора вулкана (Мелекесцев и др., 1991; Belousov et al., 1999). Дугообразная морфология крупной отрицательной формы южного сектора, предполагаемое комбинированное происхождение в результате обвала и последующих эксплозивных извержений, делают

определение «кальдера» не вполне строгим. В работе (Пономарева и др., 2008) Шивелуч описан как стратовулкан с обвальным цирком и не отнесен к списку кальдерных вулканов.

Отложения, предположительно связанные с обрушением южного сектора постройки Старого Шивелуча, образуют характерный холмистый рельеф, прекрасно выраженный на южном подножии вулкана вплоть до р. Камчатка. Наиболее крупные холмы расположены на расстоянии 30-35 км от Главной вершины. Их максимальная относительная высота достигает 120 м, средняя составляет 50-75 м. В бортах среднего течения р. Кабеку, где обвальные отложения обнажены наиболее представительно, их видимая мощность достигает 30-40 м. Отложения представлены бесструктурной толщей грубообломочного материала (рис. 11). В обломках наряду с разноразмерными глыбами пироксен-роговобманковых андезитов встречаются крупные блоки пироксен-плагиопорфировых андезибазальтов, характерных для западного сектора Старого Шивелуча. Пирокластические отложения, залегающие на лавовой толще Старого Шивелуча или непосредственно на обвальных отложениях, которые могли быть связаны с эксплозивным извержением, последовавшим за обвалом, не обнаружены.

Прямые определения возраста обвальных отложений отсутствуют. По данным (Мелекесцев и др., 1991) обрушение южного сектора произошло до начала второй стадии верхнеплейстоценового оледенения (ранее, чем 24-23 тыс. лет). На основании относительной морфологической свежести лавовых потоков Главной вершины (Belousov et al., 1999) предполагает более поздний возраст этого события ~ 10 тыс. л.н. Однако, ледниковое происхождение седловины, разделяющей северные склоны Молодого Шивелуча и массив Главной вершины Старого Шивелуча, не вызывает сомнения в доголоценовом возрасте обрушения сектора вулкана.

В качестве причин крупномасштабных обрушений вулканических построек рассматриваются магматические инъекции, вызывающие деформации постройки вулкана и локальные землетрясения; сильные региональные землетрясения; локальные землетрясения, сопровождающие извержения близлежащих вулканов и др. (Melekestsev, 2006). Новые геологические наблюдения дают основание предполагать, что одной из причин обрушения южного сектора вулкана могло быть внедрение вершинного субвулканического тела. Внедрение сопровождалось сильными деформациями вулканической постройки, которые прослеживаются по вертикали во вскрытом обрыве Главной вершины более чем на 1000 м (рис. 5).

Как показано ранее, дайки СВ и СЗ простираются формируют структурную «раму» разрушенного сектора. Реконструированные эруптивные центры также расположены по его периметру. Эти особенности строения вулканического массива отчетливо указывают на роль структурно-тектонических факторов в ослаблении его южного сектора. Представляется следующая последовательность разрушения сектора вулкана:

– ослабление и/или опускание южного сектора, приспособленное к системе северо-восточной и северо-западной ослабленных зон, вызванное как обильными излияниями лав и внедрением даек, так и региональными тектоническими факторами;

– крупномасштабное обрушение ослабленного сектора постройки, предположительно спровоцированное внедрением субвулканического тела в районе Главной вершины;

– расширение и модификация обвального цирка последующими обвалами (Poponaga et al., 2006) и эксплозивными извержениями Молодого Шивелуча.

ВЫВОДЫ

1. Деятельность вулкана Старый Шивелуч в позднем плейстоцене имела два четко выраженных этапа – интенсивная экструзивно-эксплозивная активность начальной фазы сменилась обильными излияниями лав из нескольких эруптивных центров.

2. Грубообломочные пирокластические отложения начальной фазы деятельности вулкана формируют не менее 60% от объема постройки Старого Шивелуча. Сходство литологии, условий залегания и распространения ранних пирокластических отложений Старого Шивелуча с пирокластическими отложениями Молодого Шивелуча позволяют предположить сходный экструзивно-эксплозивный характер активности вулкана в начальную фазу деятельности и на современном этапе.

3. В пределах лавового комплекса Старого Шивелуча реконструируется несколько эруптивных центров. Подавляющий объем лав был связан с эруптивными центрами Центральный и Западный, которые расположены в центральной части массива и формировались субсинхронно. Центры излияния лав Байдарный и Южный расположены эксцентрично и изливали исключительно андезибазальтовые лавы.

4. В постройке Старого Шивелуча выделены три основные группы пород – магнезиальные андезиты (НФД и лавовый комплекс), высокомагнезиальные андезибазальты (НФД), высокоглиноземистые андезибазальты (лавовый

комплекс). Объемные соотношения андезитовых и андезибазальтовых пород в постройке Старого Шивелуча приблизительно оцениваются как 4:1.

5. Взаимоотношения лав, связанных с различными центрами излияний в западном секторе Старого Шивелуча, указывают на последовательную миграцию эруптивных центров в юго-западном направлении. В расположении эруптивных центров и распределении даек в структуре вулканического массива отчетливо прослеживается структурно-тектонический контроль.

6. Разрушение южного сектора вулкана было предопределено структурными и региональными тектоническими факторами. Одной из причин обрушения южного сектора могло быть внедрение вершинного субвулканического тела.

Автор выражает огромную признательность Р.Н. Сагитовой (ИК и Р ДВО РАН), И.И. Тембрелу, А.В. Сокоренко (ИВиС ДВО РАН), М.Е. Зеленскому (ИЭМ РАН) за помощь в осуществлении полевых работ, В.В. Пономаревой, М.В. Портнягину и И.В. Мелекесцеву за поддержку, обсуждение полученных результатов и полезные критические замечания.

Полевые исследования были проведены при поддержке грантов ДВО РАН 07-III-Д-08-094, 07-III-Д-08-095 и 09-III-А-08-422. Аналитические исследования выполнялись в рамках российско-германского проекта КАЛЬМАР (подпроект «Пространственная и временная эволюция вулканизма и магматизма в области Алеутско-Камчатского сочленения») финансируемого министерством Науки и Образования ФРГ.

Список литературы

- 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.
- Волынец О.Н., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Ягодзински Дж. М.* Харчинский и Заречный вулканы – уникальные центры позднплейстоценовых магнезиальных базальтов на Камчатке: вещественный состав вулканических пород // *Вулканология и сейсмология*. 1999. № 1. С. 31-45.
- Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.* Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч, Камчатка // *Петрология*. 1997. Т. 5. № 2. С. 206-221.
- Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др.* Новая пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщ-

- шение) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.
- Горбач Н.В., Портнягин М.В.* Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана Молодой Шивелуч // Петрология. 2011. Т. 19. № 2. С. 140-172.
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3-38.
- Двигало В.Н.* Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980-1981 гг. по фотограмметрическим данным // Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104-109.
- Ермаков В.А.* Геологическое строение и история развития вулкана Шивелуч // Вулканизм и связанные с ним процессы. Тезисы докладов VI Всесоюзного вулканологического совещания. Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 42-44.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В.* Рост экстрезивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 1980-2007 гг. по геодезическим данным и видеосъемке // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 3-14.
- Малеев Е.Ф.* Критерии диагностики фаций и генетических типов вулканитов. М.: Наука, 1975. 255 с.
- Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
- 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.
- Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
- 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. вулканол. станции на Камчатке. 1948. № 14. С. 38-51.
- Пономарева В.В., Чурикова Т.Г., Мелекесцев И.В. и др.* Позднеплейстоцен - голоценовый вулканизм Камчатки // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том II. Новейший вулканизм северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата / Отв. ред.: В.И. Коваленко, В.В. Ярмолюк, О.А. Богатиков. М.: Изд-во ИГЕМ – ИФЗ. 2008. С. 19-40
- Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др.* Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 1-13.
- Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др.* Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3-20.
- Чурикова Т.Г., Гордейчик Б.Н., Белоусов А.Б., Бабанский А.Д.* Находка центра извержения базальтов на вулкане Шивелуч // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Камчатской вулканологической станции. Петропавловск-Камчатский, 2010. 4 с. (http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/slsecret/75-KVS/Material_conferenc/art25.pdf).
- Acocella V., Neri M.* Dike propagation in volcanic edifices: Overview and possible developments // Tectonophysics. 2009. V. 471. P. 67-77.
- Belousov A., Belousova M., Voight B.* Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology. 1999. V. 61. P. 324-342.
- Dirksen O., Humphreys M.C.S., Pletchov P. et al.* The 2001–2004 dome-forming eruption of Shiveluch Volcano, Kamchatka: observation, petrological investigation and numerical modelling // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. V. 155. P. 201-226.
- Melekestsev I.V.* Large modern collapses of the active volcanoes of Kamchatka: causes and mechanism of Formation // Landslides from Massive Rock Slope Failure. S.G. Evans et al. (Eds.). Springer. NATO Science Series. 2006. V. 49. Pt. 6. P. 431-444.
- Nakamura K.* Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation: principle and proposal // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1977. V. 2. P. 1-6.
- Ponomareva V.V., Melekestsev I.V., Dirksen O.V.* Sector collapses and large landslides on Late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. V. 158. P. 117-138
- Ponomareva V.V., Kyle P., Pevzner M.M. et al.* Holocene Eruptive History of Shiveluch Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia // Volcanism and Subduction: The Kamchatka region / Eichelberger J., Gordeev E., Izbekov P., Lees J. (Eds). AGU Geophysical Monograph. 2007. V. 172. P. 263-282.
- Portnyagin M.V., Bindeman I.N., Hoernle K. et al.* Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression: magma genesis at the edge of the Pacific Plate // Volcanism and Subduction: The Kamchatka region / Eichelberger J., Gordeev E., Izbekov P., Lees J. (Eds). AGU Geophysical Monograph. 2007. V. 172. P. 203-244.

ГОРБАЧ

**OLD SHIVELUCH VOLCANO: GEOLOGICAL STRUCTURE, ERUPTIVE CENTERS
RECONSTRUCTION AND THE FEATURES OF THE LATE PLEISTOCENE
VOLCANIC ACTIVITY**

N.V. Gorbach

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

Results from detailed field work made it possible to describe the geologic structure of Late Pleistocene Old Shiveluch Volcano. Old Shiveluch activity consisted of two phase: extrusive-explosive activity of the initial phase was followed by numerous lava effusions from several eruptive centers. Location of the eruptive centers was reconstructed along the rim of the destroyed southern part of the volcano. Three main types of rocks were distinguished in the Old Shiveluch edifice: magnesian andesites ($\text{SiO}_2=57.3-63.8$ wt.%, $\text{Mg\#}=52.5-57.0$ mol. %), high-Mg basaltic andesites ($\text{SiO}_2=53.9-55.0$ wt.%, $\text{Mg\#}=58.8-63.7$ mol.%) and high-Al basaltic andesites ($\text{SiO}_2=53.5-55.7$ wt.%, $\text{Mg\#}=52.1-56.1$ mol.%). Relative sequence and the approximate volume ratios of the different types of rocks were revealed. New geologic data allowed suggesting what caused a sector collapse of Old Shiveluch edifice.

Keywords: Shiveluch, geological structure, magnesian andesites, volcanic sector collapse.