

## ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ И СОВРЕМЕННОЙ ФАЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ (КАМЧАТКА)

Н.В. Горбач

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: gorbach@ksnet.ru

Вулкан Шивелуч фиксирует северное окончание вулканической активности на Камчатке и расположен в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Вулкан является вторым по продуктивности в пределах Курило-Камчатской островной дуги [Мелекесцев, 1991], а по количеству вынесенных на поверхность андезитов не имеет аналогов среди четвертичных вулканов полуострова. По мнению многих исследователей, высокая продуктивность вулкана является отражением специфики глубинных процессов в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Продукты современных извержений вулкана представлены магниезиальными андезитами [Волынец, 1997], которые имеют высокие концентрации Sr, Ba, низкие концентрации тяжелых редкоземельных элементов при высоких отношениях La/Yb и низких FeO/MgO. Подобные геохимические параметры могут свидетельствовать о плавлении субдуцируемой океанической коры в районе Камчатско-Алеутского сочленения [Волынец и др., 2000; Yagodzinsky et al., 2001].

Уникальная геодинамическая позиция вулкана Шивелуч, геохимическая специфика его пород и аномально высокая продуктивность делает этот объект исключительно интересным для проведения реконструкции магматической эволюции и определения генетической природы спектра пород вулкана. Продукты голоценового периода активности вулкана детально изучены [Ponomareva et al., 2007] и геохимически охарактеризованы [Волынец 1997, 2000; Portnyagin et al., 2007]. Данные по позднеплейстоценовому этапу формирования вулкана достаточно ограничены [Меняйлов, 1955; Мелекесцев и др., 1991]. В сообщении впервые представлена геолого-геохимическая характеристика пород наименее изученной начальной фазы деятельности вулкана и показано сравнение с продуктами современных извержений.



**Рис. 1.** Вулкан Шивелуч и его главные структурные элементы. Красная пунктирная линия показывает границу пирокластической толщи начальной фазы деятельности вулкана и лавового комплекса Старого Шивелуча. Красные стрелки маркируют позицию лавовой пачки О1-Срх-Р1 андезибазальтов.

В строении вулкана выделяются два главных структурных элемента – верхнеплейстоценовая постройка Старого Шивелуча и активный в голоцене Молодой Шивелуч [Мелекесцев и др., 1991]. Начальной фазе деятельности (НФД) вулкана отвечают грубообломочные пирокластические отложения, которые формируют не менее 60% объема постройки Старого Шивелуча. В различных секторах вулкана преобладают агломератовые туфы роговообманковых и пироксен-роговообманковых андезитов. Отложения грубо-стратифицированы, иногда слабо сортированы и представлены крупнообломочным материалом (угловатые обломки 20-40 см и до 1 м), погруженным в рыхлый или слаболитифицированный матрикс песчано-гравийной размерности. По аналогии с продуктами современных извержений эти отложения можно идентифицировать как отложения пеплово-глыбовых пирокластических потоков. Важными чертами сходства современных и ранних пирокластических отложений являются значительные площади распространения и субгоризонтальное залегание.

В верхней части разреза пирокластической толщи НФД находится маломощная серия потоков андезибазальтовых лав. Выше лавовой пачки фрагментарно наблюдаются останцы потоков роговообманковых андезитов, а ближе к центру постройки – прослойки стратифицированного псаммитового пирокластического материала, представленного вулканическим песком и лапилли пироксен-роговообманковых андезитов с редкими прослоями шлаков и бомб андезибазальтов.

В таблице приведены петрографические и некоторые петрохимические характеристики пород начального и голоценового периода деятельности вулкана. Андезибазальтовые лавы различных временных этапов показывают петрографическое и петрохимическое сходство (Табл. 1). Близкий состав обнаруживают также и фенокристаллы оливина из этих пород. Ядра вкрапленников оливина андезибазальтов НФД варьируют в пределах Fo 77.7-92.5 и имеют бимодальный характер распределения состава. В молодых андезибазальтах ядра фенокристаллов имеют состав Fo 77.1-89.5. Отличительной особенностью этих оливинов являются высокие содержания Ni, которые достигают 0.47 мас.% в ядрах фенокристаллов.

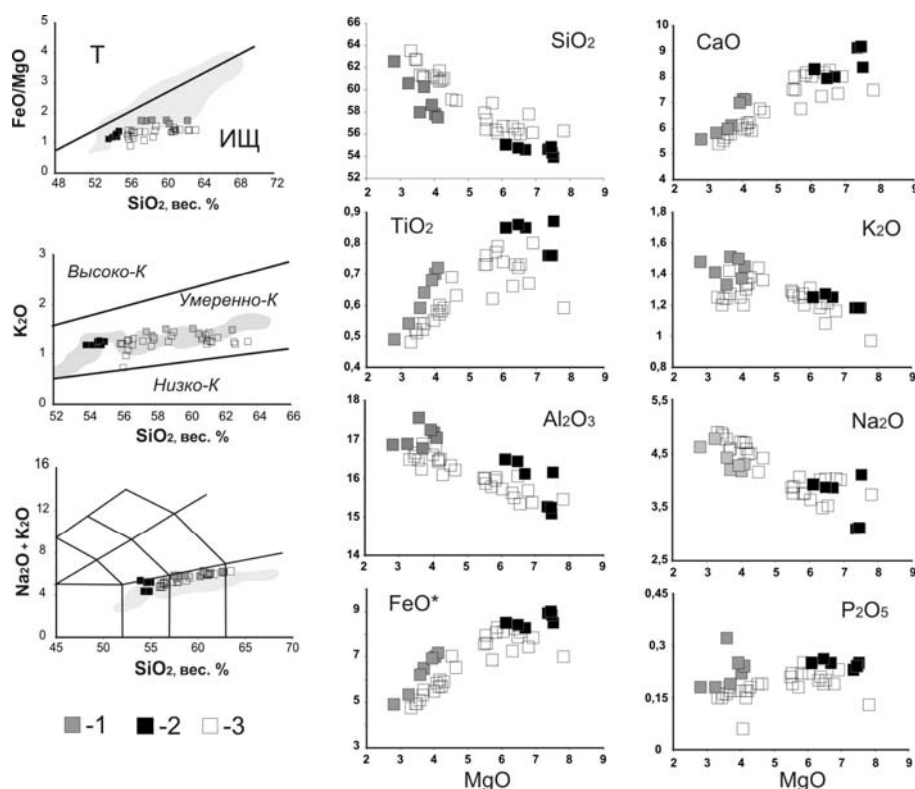
**Таблица 1.**

Группа пород	SiO <sub>2</sub> , мас. %	Mg#	Cr, ppm	Кол-во вкр., %	Pl	Фенокристаллы, %			
						Ol	Crx	Orx	Hbl
<b>Начальная фаза деятельности Старого Шивелуча</b>									
Андезиты Px-Hbl, Hbl	57.48-62.56	53.1- 54.6	72-46	25-50	25-30	0± ед	2-7	2-5	2-10
Андезибазальты Ol-Px-Pl	54.3-55.03	58.8- 63.7	175-315	25-35	8-15	4-7	5-10	2-3	0± ед
<b>Молодой Шивелуч</b>									
Андезиты Px- Hbl, Hbl, Ol-Hbl	56.96-63.45	56.0- 64.4	108 -307	20-50	12-25	0-до 5	1-3	2-4	7-25
Андезибазальты Ol-Px-Pl±Hbl	55.99-56.72	59.6- 63.6	212-284	25-30	10-15	3-5	5-7	2-4	0-3

Преобладающими продуктами начальных и современных извержений вулкана являются известково-щелочные умеренно-калиевые магнезиальные андезиты с низким отношением FeO\*/MgO (Рис. 2). На TAS- диаграмме фигуративные точки состава лав и пирокластиков НФД и МШ группируются вдоль линии, разделяющей поля субщелочных пород с породами нормальной щелочности. Распределение содержаний петрогенных оксидов имеет фракционную природу и фиксирует смену кристаллизующихся минеральных парагенезисов Ol+Sp+Crx+Pl в андезибазальтовых лавах на Pl+Hbl+Px+Mt в андезитах (Рис. 2). При понижении концентрации MgO в андезибазальтовом интервале составов происходит накопление SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и K<sub>2</sub>O. Содержания TiO<sub>2</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> остаются постоянными. Переход к области андезитовых составов фиксируется резким снижением концентраций TiO<sub>2</sub>, FeO, CaO, интенсивным накоплением SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O.

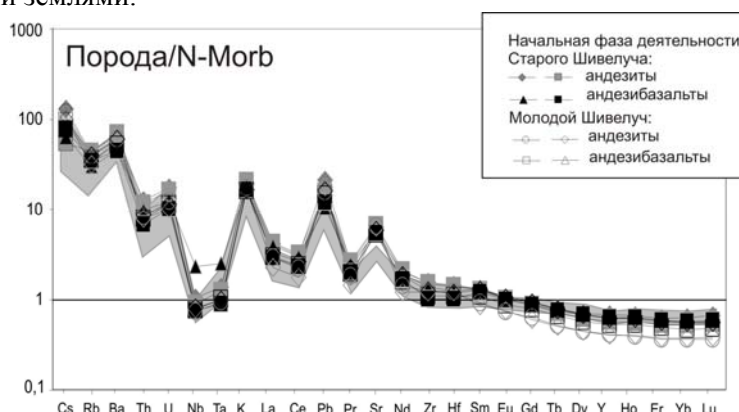
Андезиты НФД и голоценового периода развития вулкана обнаруживают значимые петрохимические различия. При близком содержании MgO, концентрации всех петрогенных оксидов за исключением Na<sub>2</sub>O в породах НФД систематически выше, чем в продуктах Молодого Шивелуча (Рис. 2). При идентичном интервале вариаций содержания SiO<sub>2</sub> породы Молодого Шивелуча отличаются от андезитов НФД большей величиной Mg#, высокими концентрациями Cr (Табл. 1) и Ni, что, наиболее вероятно, свидетельствует о гибридном происхождении этих пород. Петрографо-минералогические особенности андезитов Молодого Шивелуча также указывают на важность процессов смешения различных по составу расплавов в их формировании [например, Humphreys et al., 2006; Dirksen et al., 2006; Gorbach, 2006]. Лавы современных извержений содержат резко различные по составу, текстуре и характеру зональности генерации вкрапленников плагиоклаза и вкрапленники ортопироксена с обратной зональностью. В наиболее дифференцированных разностях андезитов часто отмечаются неравновесные с валовым составом породы вкрапленники магнезиального оливина. В составе лавового комплекса Молодого Шивелуча обнаружены также потоки гетеротакситовых лав,

представляющих собой продукты неполного смешения роговообманкового андезита и оливин-клинопироксенового андезибазальта.



**Рис. 2.** Классификационные и вариационные диаграммы для пород вулкана Шивелуч (1,2 – андезиты и андезибазальты начальной фазы деятельности, соответственно; 3- породы лавового комплекса Молодого Шивелуча). Серое поле – базальт –андезито-дацитовая серия пород вулканов Ключевской-Безымянный согласно [Альмеев,2005].

На спайдер-диаграмме породы вулкана образуют компактные однотипные тренды (Рис. 3) и демонстрируют типичное для островодужных вулканитов обогащение крупноионными литофильными, легкими редкоземельными элементами и обеднение высокозарядными и тяжелыми редкими землями.



**Рис. 3.** Графики распределения микроэлементов, нормированных на N-Morb в породах различных временных этапов формирования вулкана Шивелуч. Серое поле – базальт –андезито-дацитовая серия пород вулканов Ключевской-Безымянный по [Альмеев, 2005].

Андезибазальтовые лавы НФД Старого Шивелуча и Молодого Шивелуча имеют идентичный характер распределения микроэлементов. Андезиты различных временных этапов демонстрируют различную степень дифференциации РЗЭ – молодые породы значительно обеднены ТРЗЭ по отношению к породам НФД. В сравнении с породами базальт-андезито-дацитовой серии вулканов Ключевской и Безымянный, породы Шивелуча обогащены как

флюид-мобильными элементами (Cs, Rb, Ba, K, Pb, Sr, U) так и элементами, подвижными в расплаве (Th, легкие РЗЭ) и обеднены умеренно-несовместимыми элементами (ТРЗЭ, Y).

Краткие выводы.

1. Сходство литологии, условий залегания и распространения грубообломочных отложений начальной фазы деятельности с пирокластическими отложениями Молодого Шивелуча позволяют предположить сходный экструзивно-эксплозивный характер активности вулкана в начальную и позднюю фазу.

2. Спектры микроэлементов в породах разных возрастных этапов образуют одинаковые тренды, что указывает на постоянство источника для серии пород вулкана и отражает сходные условия кристаллизации. Более дифференцированный характер распределения РЗЭ в андезитах Молодого Шивелуча обусловлен увеличением роли роговой обманки при их кристаллизации.

3. Характер вариаций химического состава инициальных и современных андезитов наряду с многочисленными минералогическими и петрографическими данными свидетельствует о важной роли смешения различных по составу расплавов в голоценовый период развития вулкана.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 07-III-Д-08-095, 09-III-A-08-422 и Российско-Германского проекта КАЛЬМАР.

### Список литературы

**Альмеев Р.Р.** Геохимия магматизма вулкана Безымянный: признаки мантийного источника и условия фракционирования исходной магмы // Автореферат диссерт. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук, Москва. 2005. 24 с.

**Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.** Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч // Петрология, 1997. Т.5. N2. С. 206-221.

**Волынец О.Н., Бабанский А.Д., Гольцман Ю.В.** Изотопные и геохимические вариации в лавах вулканов Северной группы (Камчатка) в связи с особенностями процесса субдукции. // Геохимия, 2000. № 10. С. 1067-1084.

**Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Ермаков В.А. и др.** Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.

**Меняйлов А.А.** Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.

**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. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006. 155. P. 201-226.

**Gorbach N.V.** New lava of Shiveluch volcano: en evidence of magma mingling? // 5rd Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kurile-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5), Japan. July 9-14, 2006. P. 133-137.

**Humphreys M.C. S., Blundy J.D., Sparks R.S.J.** Magma Evolution and Open-System Processes at Shiveluch Volcano: Insights from Phenocryst Zoning. *Journal of Petrology*, 2006. 47, P. 2303-2334.

**Ponomareva V.V., Kyle P., Pevzner M.M. et al.** Holocene Eruptive History of Shiveluch Volcano, Kamchatka Peninsula, Russia. In: *Volcanism and Subduction: The Kamchatka region*. Ed. J. Eichelberger, E. Gordeev, P. Izbekov, J. Lees. AGU Geophysical Monograph Series, 2007. V 172. P. 263-282.

**Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K., Folkmar H.** Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression: magma genesis at the edge of the Pacific Plate. *Volcanism and Subduction: The Kamchatka region*. Ed. J. Eichelberger, E. Gordeev, P. Izbekov, J. Lees. AGU Geophysical Monograph Series, 2007. V. 173. P. 203-244.

**Yogodzinski G.M., Lees J. M., Churikova T.G. et al.** Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges // *Nature*, 2001. V. 409. P. 500-504.