

ПЕТРОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ПОРОД ВУЛКАНА КАМЕНЬ (КАМЧАТКА)

Т.Г. Чурикова, Б.Н. Гордейчик, Б.В. Иванов, А.П. Максимов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
e-mail: tchurikova@mail.ru; gordei@mail.ru; ivanovbv@kscnet.ru; maximov@kscnet.ru

Введение. Среди вопросов магмообразования Камчатской зоны субдукции одним из наиболее острых является вопрос о геохимическом разнообразии пород Ключевской группы вулканов, занимающей особое место среди вулканов Камчатки. Изучению продуктов извержений этого района посвящено большое число публикаций последних лет [в т.ч. Хренов и др., 1989; Kersting & Arculus, 1995; Pineau et al., 1999; Озеров, 2000; Dorendorf et al., 2000; Миронов и др., 2001; Churikova et al., 2001; Portnyagin et al., 2007; Turner et al., 2007]. Однако петрологические исследования вулкана Камень, расположенного в центре этого грандиозного узла, между вулканами Ключевской, Безымянный и Плоские Сопки, проводились лишь в 70-х годах прошлого века [Ермаков, 1969, 1977], кроме того, имеется ряд работ, посвященных обвалу восточного склона постройки [Мелекесцев, 1980; Мелекесцев, Брайцева, 1984; Romareva et al., 2006]. Тем не менее, изучение вулкана Камень, предшественника двух наиболее активно действующих в настоящее время вулканов – Ключевского и Безымянного, сформировавшихся на северном и южном склонах Камня, представляется крайне важным, поскольку детальные исследования его пород могут дать ответы на ряд вопросов, связанных как с развитием самого вулкана, так и всей Ключевской группы. Пространственно-временная близость вулканов и наличие единой зоны аномального затухания сейсмических волн под ними [Токарев, Зобин, 1970] могут указывать на их генетическое родство. Однако лавы соседних действующих вулканов принципиально различаются: Ключевской вулкан извергает высоко-Mg и высоко-Al (Плоские Сопки – средне-K и высоко-K) оливин-пироксен-плагиоклазовые базальты и андезит-базальты, в то время как вулкан Безымянный извергает роговообманковые андезиты и дациты.

С целью выяснения пространственно-временных взаимоотношений пород вулкана Камень мы опробовали лавы преимущественно коренного залегания, которые доступны на сохранившихся гривах и отрогах постройки вулкана. В настоящей работе представлены данные по геологии, петрографии, минералогии и петрохимии этих пород.

Геологическая история развития вулкана состоит из трёх последовательных периодов: формирование постройки стратовулкана, развитие дайкового комплекса и образование многочисленных шлаковых и шлако-лавовых конусов.

Постройка стратовулкана имеет гомодромное развитие: наиболее ранние порции лав являются существенно оливиновыми, выше по разрезу широко развиты OI-Cpx-Pl породы, в которых вверх по разрезу количество темноцветных минералов уменьшается. Верхние части стратовулкана характеризуются безоливиновыми породами, встречаются также отдельные потоки с роговой обманкой во вкрапленниках. Макроскопически породы представлены массивными лавами с разной пористостью и различным обогащением фенокристаллами. Структуры пород меняются от субафировых и серийно-порфировых до крупно- и мегапорфировых. При этом мегаплагиофировых пород, аналогичных лавам плато под Ключевской группой вулканов, и встречающихся на некоторых вулканах ЦКД, обнаружено не было. Основными минералами-вкрапленниками пород стратовулкана являются OI, Px, Pl, редко – Nb.

Дайки радиальных и кольцевых структур имеют мощность 1-5 м и протяженность до 1,5-2 км. Кроме пород, аналогичных постройке стратовулкана, на восточном склоне встречаются крупнокристаллические оливиновые базальты, с содержанием оливина до 20-25%, в то время как на юго-западной стороне присутствуют дайки Nb-андезитов.

Лавы конусов представлены OI-Cpx-Pl породами и макроскопически аналогичны породам стратовулкана. В ряде случаев конуса представлены исключительно шлаковым материалом, в других случаях лавовые потоки от них могут достигать 3-5 км.

Мантийные ксенолиты представлены гарцбургитами и зелеными клинопироксенитами с характерными размерами 1-5 см.

По петрографическим и минералогическим особенностям все породы вулкана Камень можно разделить на 7 типов, образующих четыре группы. Это оливин-содержащие (OI-

2Px и Ol-Cpx), безоливиновые (2Px-Pl, Cpx-Pl и существенно Pl), субафировые и роговообманково-содержащие разности. Оливин-содержащие породы встречаются во всех вулканических комплексах. Безоливиновые породы встречаются только в постройке стратовулкана. Лавы моногенных конусов представлены оливин-содержащими и субафировыми разностями, а породы дайкового комплекса – оливин-содержащими и роговообманково-содержащими вулканитами. В постройке стратовулкана наблюдаются все указанные типы пород.

Составы оливинов вулкана Камень варьируют от Fo₆₀ до Fo₈₃, имея одномодальное распределение с максимумом в Fo₇₉ (рис. 1-А). Содержания микроэлементов в оливинах значительно варьируют: содержания NiO меняются от 0,009% до 0,124%, содержания Cr₂O₃ – от 0,007% до 0,06% и содержания CaO – от 0,1% до 0,378%. При этом отношения NiO/Cr₂O₃ и NiO/CaO являются довольно низкими и в среднем составляют 3,5 и 0,38, соответственно. Благодаря низким значениям магнезиального номера (Mg#) оливина и низким содержаниям Ni в нем, оливины вулкана Камень не попадают в мантийную стрелку, предложенную [Ozawa, 1984].

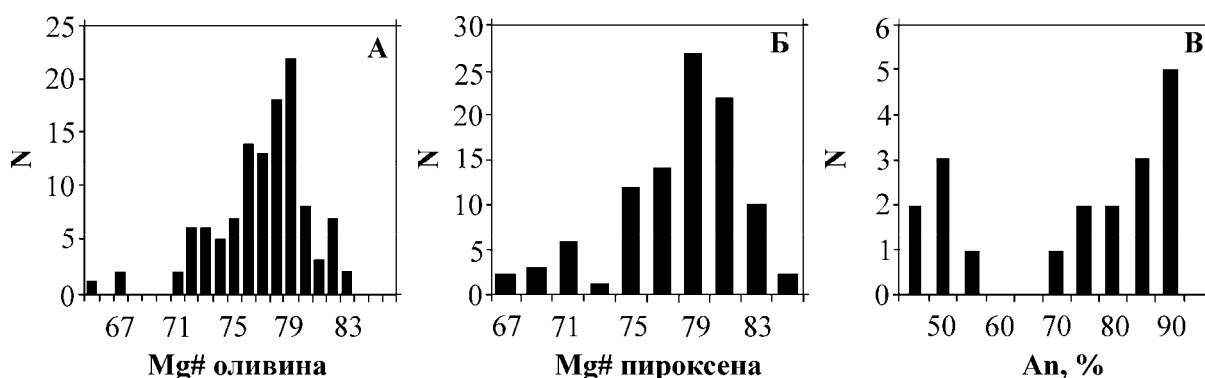


Рис. 1. Составы минералов в породах вулкана Камень. N – количество измерений.

Клинопироксены вулкана Камень соответствуют по составу авгиту с магнезиальным номером Mg#, варьирующим в том же диапазоне, что и магнезиальный номер оливина, и также имеющим одномодальное распределение с максимумом в Mg#79 (рис. 1-Б). Содержания микроэлементов в клинопироксенах варьируют в следующих диапазонах: содержания Cr₂O₃ меняются от 0,01% до 0,76%, MnO – от 0,09% до 0,60%, Na₂O – от 0,02% до 0,50% и TiO₂ – от 0,25% до 1,07%. При этом содержания Cr₂O₃ закономерно падают, а содержания TiO₂ растут с понижением Mg# клинопироксена, значения же MnO и Na₂O практически не меняются.

Плагиоклазы обнаруживают двумодальное распределение с максимумами при An₅₀ и An₈₆ (рис. 1-В). Надо отметить низкую магнезиальность и высокую железистость плагиоклазов, в которых наблюдается положительная корреляция между содержаниями MgO и TiO₂.

Рудный минерал представлен высоко-Al шпинелью, магнетитом и титаномagnetитом. Al₂O₃ коррелирует положительно с MgO, а TiO₂ с FeO в рудной фазе.

Близкое распределение Mg# в оливине и клинопироксене свидетельствует о том, что эти минералы находятся в равновесии. Низкие значения Mg# оливина и клинопироксена и низкие концентрации в них Ni и Cr свидетельствуют о значительном фракционировании расплава. Такой вывод подтверждается и отсутствием высоко-Cr шпинели в оливинах.

Распределение макроэлементов в породах вулкана Камень показало, что все породы принадлежат к умеренно-К субщелочным базальт-андезито-базальтовым сериям (рис. 2-А). Тем не менее, на диаграмме Харкера (рис. 2) наблюдаются отчётливые закономерные различия между вулканическими комплексами.

Породы постройки стратовулкана являются высокоглиноземистыми низкомагнезиальными (MgO<6%) разностями базальт-андезито-базальтового ряда и формируют устойчивые тренды на большинстве диаграмм с повышением K₂O и понижением Al₂O₃, TiO₂, CaO, FeO и MgO при возрастании SiO₂. При этом содержания Na₂O и P₂O₅ практически не меняются (Рис. 2-Е и 2-3). Диапазон SiO₂ в породах постройки стратовулкана максимальный в сравнении с другими комплексами. Наиболее кислые породы с кремнеземом 53%ч56% наблюдаются именно в лавах стратовулкана, с чем, вероятно, связано широкое

развитие безоливиновых разностей.

Образцы даек на диаграммах Харкера расположены в базальтовом окончании тренда пород стратовулкана и, вероятно, являются наименее фракционированными членами того же мантийного источника, что и постройка стратовулкана.

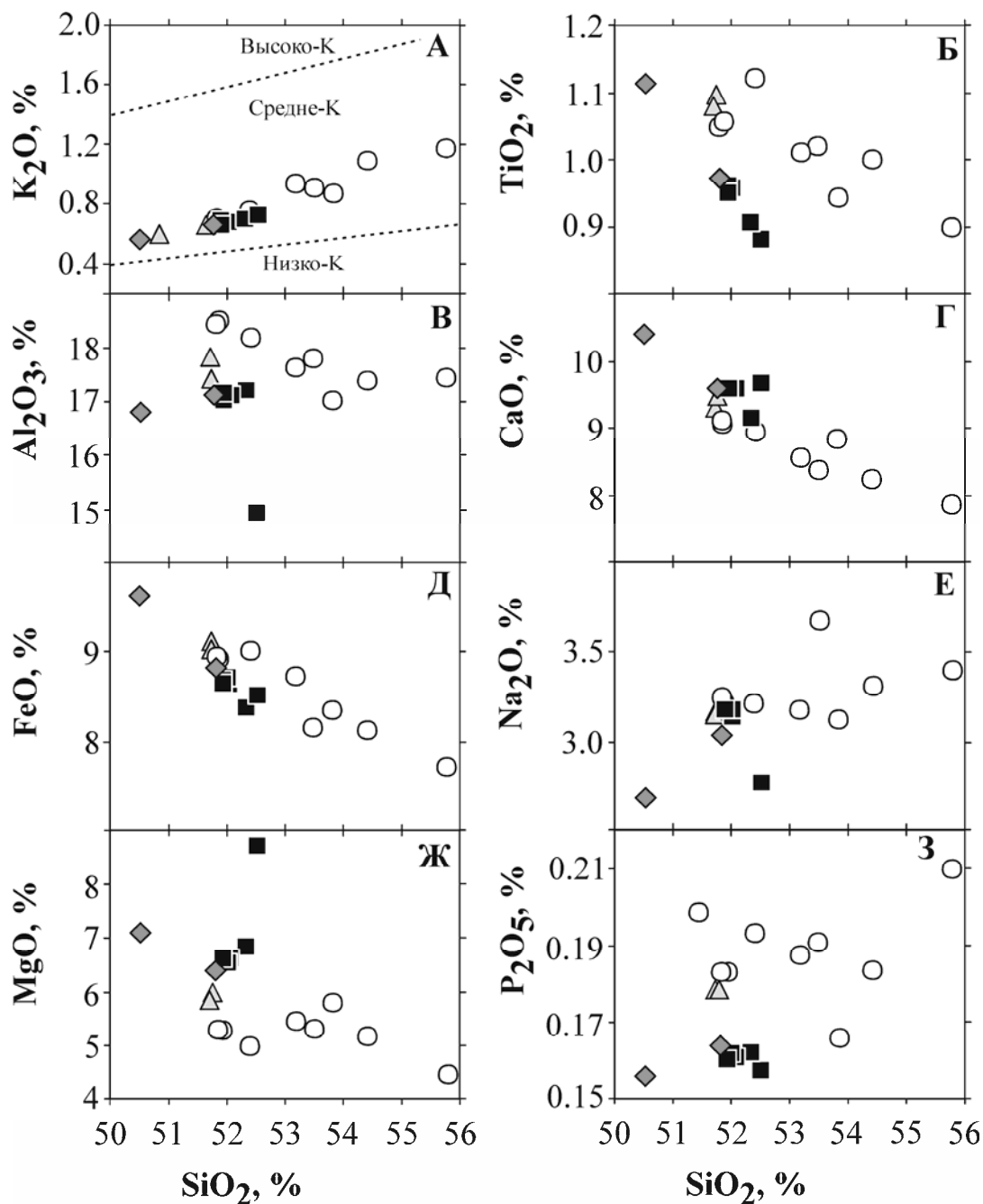


Рис. 2. Диаграмма Харкера для пород вулкана Камень. Кружки – породы стратовулкана, треугольники – базальты дайкового комплекса, квадраты – лавы моногенных конусов, ромбы – ранее исследованные образцы [Churikova et al., 2001].

Лавы моногенных конусов представлены высокомагнезиальными базальтами ($MgO > 6\%$, SiO_2 - 50.5-52.5%) и систематически отличаются от двух описанных комплексов. В сравнении с породами стратовулкана и дайкового комплекса лавы моногенных конусов обогащены MgO и CaO , но обеднены FeO , TiO_2 , Al_2O_3 и P_2O_5 при близком содержании SiO_2 . Также этот комплекс пород и менее щелочной, что ярче проявлено в распределении Na_2O (рис. 2-Е) и менее – K_2O (рис. 2-А). Породы моногенных конусов не формируют четко выраженных трендов, а образуют группы точек.

Породы вулкана Плоские Сопки систематически обогащены по K_2O и P_2O_5 и обеднены по Al_2O_3 и MnO в сравнении с породами вулкана Камень при данном содержании SiO_2 , и, вероятно, не могут формироваться из единого мантийного источника посредством фракционной кристаллизации. В то же время породы стратовулканов Камень и Безымянный формируют узкий единый тренд на всех диаграммах, в котором лавы Безымянного составляют обогащенную по SiO_2 часть тренда. Высоко-Al породы Ключевского вулкана близки к тренду стратовулкана Камень, в то время, как высоко-Mg разности обнаруживают определенное сходство с лавами конусов Камня.

Список литературы

Ермаков В.А. Отложения направленного взрыва вулкана Камень // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 82-93.

Ермаков В.А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра, 1977. 223 с.

Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А. Гигантские обвалы на вулканах // Вулканология и сейсмология, 1984. № 4. С. 14-23.

Миронов Н.Л., Портнягин М.В., Плечов П.Ю., Хубуная С.А. Заключительные этапы эволюции магм Ключевского вулкана (Камчатка) по данным изучения расплавных включений в минералах высокоглиноземистых базальтов // Петрология, 2001. Т. 9. № 1. С. 51-69.

Озеров А.Ю. Эволюция базитовых расплавов в питающей системе Ключевского вулкана // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. – Петропавловск-Камчатский, 2000. С. 58-60.

Токарев П.И., Зобин В.М. Особенности распространения сейсмических волн близких землетрясений в земной коре и верхней мантии в районе Ключевской группы вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологических станций, 1970. № 4. С. 17-23.

Хренов А.П., Антипин В.С., Чувашова Л.А., Смирнова Е.Б. Петрохимические особенности базальтов Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология, 1989. № 3. С. 3-15.

Churikova T., Dorendorf F., Wörner G. Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // Journal of Petrology, 2001. Vol. 42. N 8. P. 1567-1593.

Dorendorf F., Wiechert U., Wörner G. Hydrated sub-arc mantle: a source for Kluchevskoy volcano/Kamchatka // Earth and Planetary Science Letters, 2000. V. 175. P. 69-86.

Kersting A.B., Arculus R.J. Pb systematics of Kliuchevskoi volcano, Kamchatka, and North Pacific sediments: Implications for magma genesis and sediment recycling in the Kamchatka arc // Earth and Planetary Science Letters, 1995. V. 136. P. 133-148.

Pineau F., Semet M.P., Grassineau N., Okrugin V.M., Javoy M. The genesis of the stable isotope (O, H) record in arc magmas: the Kamchatka's case // Chemical Geology, 1999. V. 135. P. 93-124.

Ponomareva V.V., Melekestsev I.V., Dirksen O.V. Sector collapses and large landslides on Late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2006. V. 158. P. 117-138.

Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K., Hauff F. Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression: Magma generation at the edge of the Pacific Plate // Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region. Geophysical Monograph Series. Washington, D.C.: 2007. V. 172. P. 199-239.

Turner S., Sims K.W.W., Reagan M., Cook C. A ^{210}Pb - ^{226}Ra - ^{230}Th - ^{238}U study of Klyuchevskoy and Bezymianny volcanoes, Kamchatka // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007. V. 71. P. 4771-4785.

Ozawa K. Olivin-spinel geospeedometry: analysis of diffusion-controlled Mg-Fe $^{2+}$ exchange // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984. V. 48. P. 2597-2611.