

VARIABLE FLUIDS AND MANTLE SOURCES DOCUMENTED IN THE GEOCHEMISTRY OF KAMEN VOLCANO AND THE KLUCHEVSKAYA VOLCANIC GROUP

T. G. Churikova^{1,3}, B.N. Gordeychik², G. Wörner³, B. V. Ivanov¹

¹*Institute of Volcanology and Seismology, FED, RAS, Petropavlovsk-Kamchatskii, Russia*

²*Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Russia*

³*GZG Abteilung Geochemie, Universität Göttingen, Germany*

Kamen volcano is located in centre of the Kluchevskaya Group of Volcanoes (KGV) surrounded by active Klyuchevskoy, Bezymianny and Ploskie Sopky (Ushkovsky and Krestovskiy) volcanoes. This group of Quaternary volcanoes is dominantly of basaltic to andesitic composition and overlies an older plateau of mostly basalt–basaltic andesite lavas.

Kamen and Bezymianny volcanoes form single geochemical trends on all petrochemical diagrams suggesting a common source. Lavas of the Ploskie Sopky, Kluchevskoy and Kamen/Bezymianny form distinct trends and also differ in mineral composition and thus probably originated from different primary magmas [Churikova et al., 2010]. All rocks of the Kamen volcano as well as lavas of the neighboring volcanoes (see Figure) have typical island-arc signatures with significant but different enrichment in LILE and LREE and low HFSE.

The concentrations of HFSE and HREE in water-rich fluid are negligible [Brenan et al., 1995], and their concentrations in the rocks are determined by mantle sources. Approximating curves, drawn through HFSE and HREE for plateau basalts, Kamen and Kluchevskoy stratovolcanoes show that trace element contents are systematically decreasing in this sequence with younger ages (see Figure).

The plateau lavas with eruptive centres below Ushkovsky volcano formed at about 270 ka [Calkins, 2004]. At that time the mantle wedge was close in composition to NMORB mantle and was not as depleted by previous magmatic events as for more recent lavas. The ratios of middle to heavy REE in plateau basalts and in NMORB mantle are close to unity. The High-K series rocks from Ploskie Sopky volcano were also derived from such magmas. With time the upper mantle under KGV became more and more depleted as result of voluminous eruptions of plateau basalts.

Kamen volcano, which ended its activity in the Late Pleistocene [Melekestsev, Braitseva, 1984] has depleted HREE compared to NMORB and formed from a more depleted upper mantle. Nb, Ta and HREE in most magnesian basalts from Kamen volcano are lower than in NMORB, the ratios $HREE_{Kamen}/HREE_{NMORB}$ are about 0,7 (see Figure). It is important that most mafic rocks from Bezymianny volcano with $MgO > 5\%$ have the same degree of depletion and in fact are similar to Kamen volcano lavas in other trace element characteristics as well, which testify to the same primary magmas for both volcanoes.

Holocene and historical lavas of the Klyuchevskoy and Krestovskiy volcanoes were formed from an even more depleted mantle source, which is shown by lowest Nb, Ta and HREE. $HREE_{Kluch}/HREE_{NMORB}$ varies from 0,52 to 0,55. The rocks of the monogenetic cones from the western slope of Kamen volcano have the same characteristics. Thus, the same upper mantle source, which is tapped by magmas with the same degree of melting (10-12% [Churikova et al., 2001]) is systematically depleted with time.

It was shown by melt inclusion studies in olivines across the Kamchatka arc [Churikova et al., 2007], that the fluid composition gradually changes with increasing slab depth. The fluid that dominates at the arc front carries the highest amounts of B, Cl and chalcophile elements as well as LILE F, S and LREE. The fluids released below the Central Kamchatka Depression is more enriched in S and U and show highest S/K₂O and U/Th ratios. Additionally this fluid is enriched in ⁸⁷Sr and ¹⁸O. A third, distinct back arc fluid is observed at the Sredinny Ridge and is enriched in F, Li Be, LILE and LREE.

Lavas from KGV volcanoes have largely different fluid signatures, owing to their location all three fluids are involved in its magma genesis. (1) the B-rich for arc fluid, which was transported it maximum distance to this depth with the still relatively cold subducted slab, (2) The

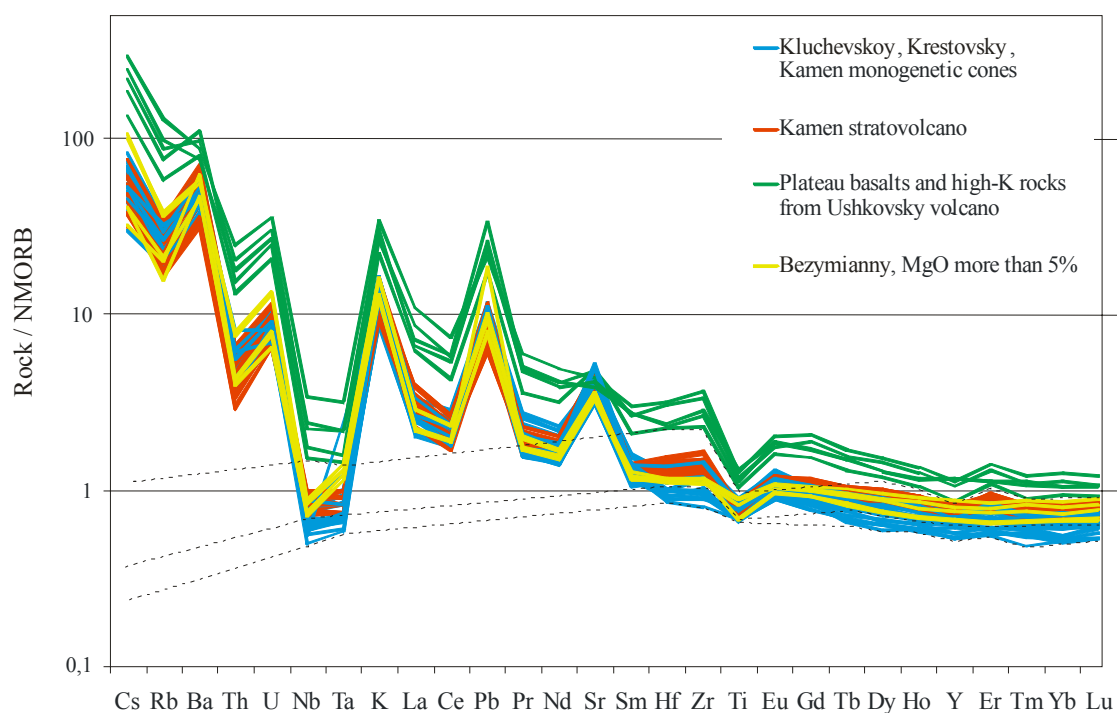
"central" fluid dominates below the KGV and (3) the influence of the back arc fluid just starts to be seen. The Cl/S ratio in Kamen melts is 2-3 times higher than in melts of Klyuchevskoy volcano. Kluchevskoy melts show good correlations of F/Yb with B/Yb, but not with Li/Yb, suggesting the influence of frontal and central fluids. Samples from Kamen volcano are enriched in all three ratios resulting in positive correlation between them and suggesting the influence of all three fluids. While Kluchevskoy volcano rocks are systematically enriched in U/Nb, Cs/Yb and Ce/Nb ratios, Kamen volcano lavas show enrichment in Li/Yb. These data imply that Kluchevskoy and Kamen volcanoes, which are situated nearby each other, show quite different fluid patterns.

Thus, trace and volatile elements distribution in rocks and melt inclusions KGV show that the fluid composition can be different even at neighboring volcanoes. The KGV appears to be a place where several fluids occur together, suggesting a large heterogeneity in the fluids that modified mantle.

Thus, the observed geochemical diversity of KGV rocks is the result of both gradual depletion with time of the mantle NMORB-type source due to the intense previous magmatic events in this area and by the addition of distinct fluids to this mantle source.

This research was supported by RFBR grant # 08-05-00600.

Brenan J.M. et al. // Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, V 59, p. 3331-3350; Calkins J.A. // JKASP IV, 2004, p. 53-54; Churikova T. et al. // Contr. Miner. Petr., 2007, V 154, N 2, p. 217-239; Churikova T. et al. // EGU2010-12866-2; Churikova T. et al. // J. Petr., 2001, V 42, N 8, p. 1567-1593; Melekestsev I.V, Braitseva O.A. // Volc. Seism., 1984, V 4, p. 14-23; Sun S., McDonough W.F. // Spec. Publ. Vol. Geol. Soc. Lond., 1989, N 42, p. 313-345.



NMORB-normalized trace element patterns for KGV rocks. Dashed lines show the approximated patterns without the subduction component for three different in age volcanic suites. Only samples with MgO>5% are shown for Bezymianny volcano. N-MORB values are from Sun and McDonough (1989).

РАЗЛИЧНЫЕ ФЛЮИДНЫЕ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПО ГЕОХИМИИ ПОРОД ВУЛКАНА КАМЕНЬ И ВУЛКАНОВ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ

Т.Г. Чурикова^{1,3}, Б.Н. Гордейчик², Г. Вёрнер³, Б.В. Иванов¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

²Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия

³Центр геологических наук Гёттингенского университета, Гёттинген, Германия

Представлены геохимические исследования пород вулкана Камень, находящегося в центре Ключевской группы вулканов (КГВ), в окружении активных вулканов Ключевского, Безымянного и Плоских Сопок (Ушковский и Крестовский). Вся КГВ, в свою очередь, расположена на подстилающем базальтовом плато.

Вулканы Камень и Безымянный формируют единые тренды на всех петрохимических диаграммах, что указывает на их генетическое родство. Лавы вулканов Камень, Ключевской и Плоские Сопки формируют разнонаправленные тренды и различаются по составам породообразующих минералов, т.е. не обнаруживают прямой генетической связи [Churikova et al., 2010].

Все породы вулкана Камень, как и лавы соседних вулканов (см. рис.) имеют типичные островодужные признаки со значительным, но различным обогащением по LILE и LREE и низкими HFSE. В водном флюиде концентрации HFSE и HREE малы [Brenan et al., 1995], и их концентрации в породах определяются мантийным источником. Аппроксимирующие линии, проведенные через HFSE и HREE для пород платобазальтов, вулканов Камень и Ключевской, показывают, что содержания микроэлементов в этой последовательности закономерно понижаются с уменьшением возраста пород (см. рис.).

Породы платобазальтов, центр излияния которых находился под вулканом Ушковский, образовались около 270 тыс. л.н. [Calkins, 2004]. В то время мантийный клин, обедненный выплавками вещества, представлял собой верхнюю мантию типа NMORB, поскольку отношения средних к тяжелым REE в породах плато и в NMORB близки к единице. Высококальциевая серия пород вулкана Плоские Сопки наследовала этот очаг мантийного источника. Вследствие объемных выплавок платобазальтов вещество верхней мантии под КГВ обеднялось.

Вулкан Камень, закончивший свою активность в позднем плейстоцене [Мелекесцев, Брайцева, 1984], сформировался на уже частично обедненном субстрате и имеет обедненную ветвь HREE. Отношения Nb, Ta и HREE в наиболее примитивных базальтах вулкана Камень к содержаниям этих элементов в NMORB составляет 0,7 (см. рис.). Важно отметить, что наиболее основные породы вулкана Безымянный с содержанием $MgO > 5\%$ имеют аналогичную степень обеднения и фактически идентичны лавам вулкана Камень, что свидетельствует о едином очаге этих вулканов.

Породы голоценовых и исторических извержений вулканов Ключевской и Плоский Ближний были сформированы из еще более обедненного вещества мантии, о чем свидетельствуют наиболее низкие отношения Nb, Ta и HREE к содержаниям этих элементов в NMORB, опускающиеся до 0,52-0,55. К этой же категории относятся и породы моногенных конусов, расположенные на западном склоне вулкана Камень.

Таким образом, можно проследить, как единый мантийный источник, представляющий собой вещество верхней мантии с одинаковой степенью плавления (10-12% [Churikova et al., 2001]), систематически обедняясь с течением времени, создает магматические очаги с различной степенью обогащения.

При изучении расплавных включений в оливинах вкрест простирания Камчатской дуги [Churikova et al., 2007] было показано, что состав субдукционного флюида последовательно меняется с увеличением глубины погружения океанической плиты. На фронте дуги доминирует фронтальный флюид, в наивысшей степени обогащенный по В, Сl и халькофильным элементам, а также по LILE, F, S и LREE. Породы КГВ были доминированы центральным флюидом, обогащенным по S и U, с наивысшими S/K₂O и U/Th отношениями.

В дополнение этот флюид был необычно обогащен изотопами ^{87}Sr и ^{18}O . В Срединном хребте наблюдается задуговой флюид, сильно обогащенный как F, Li и Be, так и LILE и LREE. Положение КГВ таково, что в пределах этой группы вулканов в той или иной степени все три флюида участвуют в формировании пород – заканчивает свою работу фронтальный флюид, доминирует центральный флюид, и начинает влиять задуговой флюид. Так, Cl/S отношение в расплавах вулкана Камня в 2-3 раза выше, чем в расплавах Ключевского вулкана. В расплавах Ключевского вулкана наблюдается корреляция F/Yb и V/Yb отношений, но отсутствует корреляция с Li/Yb, что свидетельствует о влиянии фронтального и центрального флюидов. В расплавах же вулкана Камень наблюдается корреляция между всеми тремя отношениями, предполагая влияние всех трех флюидов. В то время, как породы Ключевского вулкана систематически обогащены по U/Nb, Cs/Yb и Ce/Nb отношениям, породы вулкана Камень обнаруживают более высокие Li/Yb значения. Все эти данные свидетельствуют о различном составе флюидной добавки в расплавы вулканов Камень и Ключевской.

Распределение редких и летучих элементов в породах и расплавных включениях КГВ показывает, что состав флюидной компоненты может быть различен даже на соседних вулканах. КГВ является местом, где несколько флюидов пересекаются и накладываются, образуя гетерогенность метасоматизированной флюидом мантии.

Таким образом, наблюдаемое геохимическое разнообразие пород в пределах КГВ обусловлено как постепенным обеднением мантийного источника типа NMORB ввиду больших мантийных выделок в этом регионе, так и добавкой к мантийному источнику различных по составу флюидов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-05-00600.

Мелекесцев И.В., Брайцева О.А. // Вулк. Сейсм., 1984, № 4. с. 14-23; *Brenan et al.* // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1995, V 59, p. 3331-3350; *Calkins J.A.* // *JKASP IV*, 2004, p. 53-54; *Churikova T. et al.* // *Contr. Miner. Petr.*, 2007, V 154, N 2, p. 217–239; *Churikova T. et al.* // *EGU2010-12866-2*; *Churikova T. et al.* // *J. Petr.*, 2001, V 42, N 8, p. 1567-1593; *Sun S., McDonough W.F.* // *Spec. Publ. Vol. Geol. Soc. Lond.*, 1989, N 42, p. 313-345.