

Вулканизм в зоне активных разломов: геохимия вулканических пород и магматических расплавов (Срединный хребет Камчатки)

Волынец А.О.¹, Некрылов Н.А.¹, Овсянников Г.Н.^{1,2}, Толстых М.Л.³, Горбач Н.В.¹, Певзнер М.М.⁴, Бабанский А.Д.⁵, Плечова А.А.³

Volcanism in the active fault zone: geochemistry of volcanic rocks and magmatic melts (Sredinny Range of Kamchatka)

Volynets A.O., Nekrylov N.A., Ovsyannikov G.N., Tolstykh M.L., Gorbach N.V., Pevzner M.M., Babansky A.D., Plechova A.A.

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: a.volynets@gmail.com*

² *Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

³ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва*

⁴ *Геологический институт РАН, г. Москва*

⁵ *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва*

Изучен вещественный состав вулканических пород зоны активных разломов в Срединном хребте Камчатки. Выделено пять типов пород. Обнаружены уникальные для субдукционных обстановок пикробазальты, аномально обогащенные LREE; эти особенности подтверждены изучением состава расплавных включений в высоко-Mg ОI пикробазальтов.

Крупная зона разрывных нарушений сечет центральную часть Срединного хребта (СХ) Камчатки в СВ направлении на протяжении более 60 км [3]. Многочисленные разломы формируют широкую полосу (до 10-15 км) между вулканами Анаун и Чашаконджа (рис. 1). Согласно [4], разломы, расположенные в этом районе, являются активными и соответствуют обстановке поперечного растяжения. По данным [6], заложение этой зоны могло произойти в позднем плиоцене, в четвертичное время зафиксированы неоднократные этапы ее активизации.

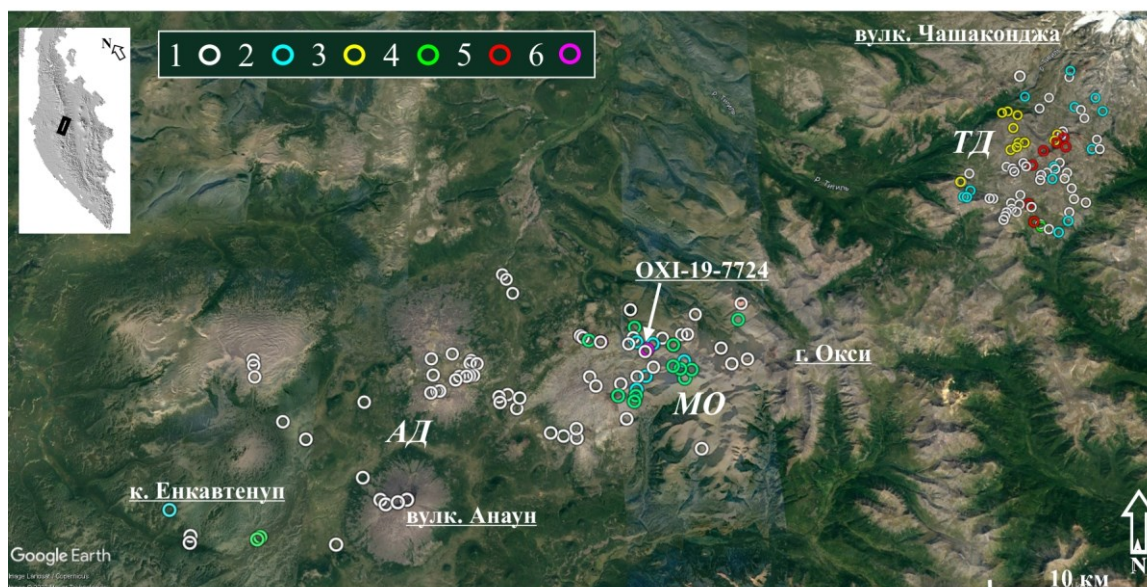


Рис. 1. Схема полевого опробования вулканических пород на Тигильском долу (ТД), в массиве г. Окси (МО) и на Анаунском долу (АД). На врезке показано положение района исследований на карте Камчатки. Цвет символов: 1 – умеренно-К породы; 2 – высоко-Mg базальты; 3 – высоко-Ti базальты; 4 – высоко-К породы; 5 – пикробазальты; 6 – базальты, обогащенные легкими и средними REE.

Со многими разрывными нарушениями ассоциированы цепочки вулканов и шлако-лавовых конусов. Это свидетельствует о том, что процесс разломообразования

сопровождался заложением магмоподводящих трещин. Наиболее ярко такие вулканические цепочки проявлены на юго-западном подножии вулкана Чашаконджа (Тигильский дол (ТД)), в массиве горы Окси (МО) и в окрестностях вулкана Анаун (Анаунский дол (АД)).

Нами было проведено опробование позднеплиоцен-четвертичных вулканитов в пределах разломной зоны (рис. 1). Макроэлементный состав пород ТД и МО представлен в [2], АД – в [1]. Настоящая публикация посвящена обсуждению микроэлементного состава пород и магматических расплавов во всех трех районах зоны. Все изученные породы относятся к умеренно- и высоко-К известково-щелочной серии и представлены рядом от пикробазальтов до андезитов с преобладанием вулканитов базальтового и андезибазальтового состава. Большая часть изученных пород по содержанию главных петрогенных оксидов отвечает ранее изученным породам СХ [1, 2, 11]. По содержанию макро- и микроэлементов все изученные породы можно разделить на несколько групп (рис. 2).

(1) Самый распространенный тип пород – это умеренно-К породы от базальтов до андезитов, типичные для «восточной» ветви СХ [1]. Для базальтов этой группы характерны невысокие концентрации MgO , TiO_2 , K_2O , островодужный тип распределения микроэлементов с Nb-Ta аномалией (глубина ее достаточно сильно варьирует в разных образцах, однако максимальные концентрации Nb и Ta в них не превышают 6 и 0.35 г/т, соответственно), достаточно высоки отношения LILE/HFSE. Такие породы широко представлены на протяжении всей зоны (рис. 2а).

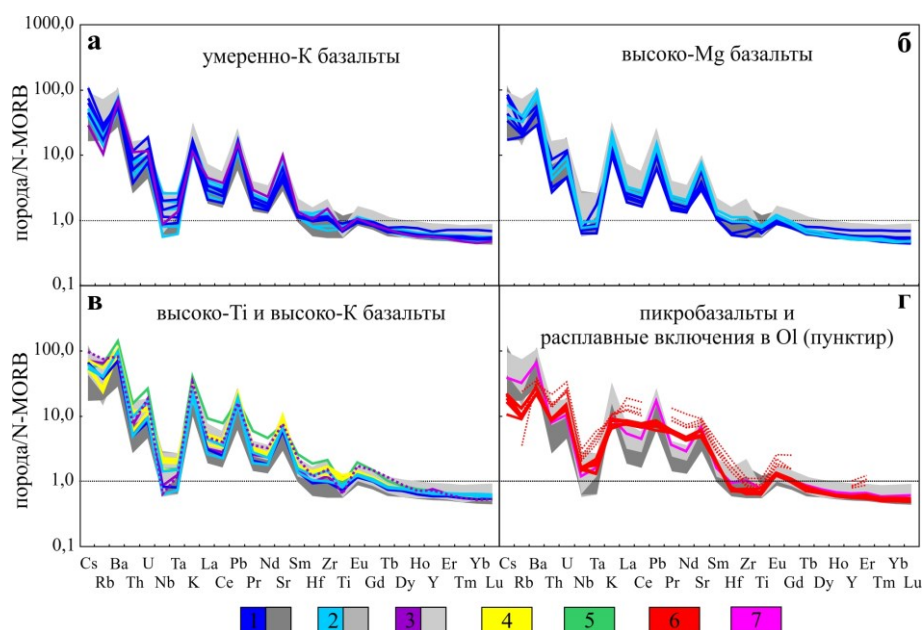


Рис. 2. Графики распределения несовместимых микроэлементов в породах и в расплавных включениях в оливине пикробазальтов. Содержания микроэлементов нормированы на N-MORB [10]. Условные обозначения: 1 – Тигильский дол, 2 – массив г. Окси, 3 – Анаунский дол, 4 – высоко-Ti базальты, 5 – образец OXI-19-7724; 6 – пикробазальты (пунктир – расплавные включения в ОI); 7 – образец пикробазальта с «переходным» составом. Пунктиром на рис. 2в показана высоко-Mg высоко-К лава к. Енкавтенуп. Пояснения см. в тексте.

(2) Высоко-Mg базальты (SiO_2 47.2-51.2 масс. %) и один образец Mg-андезибазальта (SiO_2 53.9 масс. %) характеризуются содержаниями $MgO > 8$ масс. % и $Mg\# > 60$. Для них типично умеренное содержание K_2O и TiO_2 , островодужный тип распределения микроэлементов с глубокой Nb-Ta аномалией и различной степенью обеднения Ti, Zr, Hf (рис. 2б). Породы этого типа распространены на ТД и в меньшей степени в МО. На АД был найден только один соответствующий лавовый поток (конус Енкавтенуп), для которого, однако, характерно высокое содержание K_2O . График

распределения микроэлементов в этой породе также отличается от всех остальных высоко-Mg базальтов, характеризуясь более высокими концентрациями LILE, Hf, Zr, легких и средних REE, в связи с чем его состав мы рассматриваем в одном ряду с высоко-K породами (ниже).

(3) Высоко-K породы установлены во всех участках зоны. На ТД в эту группу попадают преимущественно высоко-Ti базальты (см. ниже); в МО и АД – главным образом породы основания массивов. Для всех высоко-K лав характерен островодужный тип распределения микроэлементов (рис. 2в). Концентрации большинства LILE, REE, Hf, Zr в них выше, чем в высоко-Mg базальтах. Из общей массы выделяется образец OXI-19-7724, который отличается от остальных пород значительно повышенными содержаниями легких и средних REE и высоким La/Yb отношением.

(4) Высоко-K высоко-Ti базальты ТД отличаются от прочих высоко-K вулканитов рассматриваемой зоны содержаниями TiO_2 : 1.2-1.53 масс. %. Эти породы равномерно обогащены всеми несовместимыми элементами относительно высоко-Mg базальтов (рис. 2в). Среди ранее изученных нами пород СХ высоко-Ti базальты распространены в его северной и западной частях, однако для них характерно существенно большее обогащение HFSE, чем для базальтов ТД [10]. В МО и на АД породы этой группы не установлены.

(5) Пикробазальты (SiO_2 43.9-46.5, MgO 11.7-15.2 масс. %) – самые примечательные породы не только данной разломной зоны, но и в целом Камчатки. Уникальные характеристики пикробазальтов ТД проявляются в экстремально высоких для островодужных вулканитов Камчатки концентрациях LREE (приведены средние содержания): 20 г/т La, 54 г/т Ce, 8 г/т Pr, 34 г/т Nd – превышающие таковые в высоко-Mg базальтах ТД в 3-4 раза. Отношения Ce/Pb, K/La, Ba/Th, Sr/Nd в пикробазальтах близки к мантийным, в отличие от всех остальных пород СХ, где они имеют величины, типичные для островодужных пород. При этом концентрации HFSE и HREE в них остаются низкими, близкими к N-MORB и ниже. Графики распределения микроэлементов в пикробазальтах имеют экзотический облик (рис. 2г), отличаясь от лав как островодужных, так и океанических обстановок: они имеют характерные максимумы по Ba и U, и минимумы по Nb-Ta и Hf-Zr-Ti, в то время как центральная часть спектра характеризуется отсутствием выраженных максимумов по K, Sr, Pb. Один из образцов пикробазальтов имеет «переходные» характеристики: при обогащении LREE в нем сохраняются классические островодужные признаки, в т.ч. максимумы по K, Pb, Sr (рис. 2г). Составы расплавных включений в оливине (Fo 88-90) из пикробазальтовых лав демонстрируют те же особенности, при более высоких концентрациях всех проанализированных микроэлементов (рис. 2г). Содержания летучих компонентов в расплавах пикробазальтов соответствуют ранее полученным данным по вулканитам СХ с F/Cl отношением ~ 3 ; рассчитанные содержания H_2O – в среднем 2 масс. % (при $\Delta H_2O/\Delta SiO_2$ 1) [5]. Таким образом, пикробазальтовые расплавы были образованы в островодужной обстановке, однако их источник претерпел дополнительное обогащение по LREE. Одно из возможных объяснений этого процесса может заключаться в неравновесном плавлении в мантии акцессорного минерала, имеющего высокие концентрации LREE [7]. Разложение такого минерала при плавлении источника значительно повлияет на рассеянные элементы, тогда как на состав петрогенных оксидов этот процесс не окажет практически никакого влияния. Таким минералом в данном случае может выступать алланит (например: [8, 9]).

Выводы. Изучен химический состав пород, извергавшихся в зоне активных разломов, протягивающейся от Анаунского дола до юго-западного подножия вулкана Чашаконджа. По содержанию главных петрогенных и микроэлементов породы разделены на пять типов. Показано, что наибольшее многообразие пород характерно для Тигильского дола. Обнаружены уникальные для субдукционных обстановок

пикробазальты, аномально обогащенные LREE. Микроэлементный состав расплавных включений в высоко-Mg OI пикробазальтов подтверждает эти особенности. Проявления пикробазальтового вулканизма на Тигильском долу могут быть связаны с заложением глубоких магмоподводящих трещин, ассоциированных с высокомагнитудными землетрясениями.

Работа выполнена в соответствии с Госзаданиями по темам ИВиС ДВО РАН № 0282-2019-0004, ГЕОХИ РАН, а также при финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-05-00112 (полевые работы), 18-05-00224 (геохимические исследования), 20-05-00085 (анализ данных). Авторы благодарят за помощь при проведении полевых работ Т. Каримова, А. Курбатова, А. Буркову, А. Мясникова, А. Кириленко, Л. Балибалову.

Список литературы

1. *Волынец А.О., Певзнер М.М., Толстых М.Л. и др.* Вулканизм южной части Срединного Хребта Камчатки в неоген-четвертичное время // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 12. С. 1979-1996. <https://doi.org/10.15372/GiG20181204>
2. *Волынец А.О., Горбач Н.В., Толстых М.Л. и др.* Уникальная зона пикробазальтового и высоко-Mg базальтового моногенного вулканизма в Срединном хребте Камчатки // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIV Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29-30 марта 2021 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2021. С. 18-21.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Лист О-57-XXXIV (Козыревск). СПб: ВСЕГЕИ, 2013.
4. *Зеленин Е.А., Гарипова С.Т.* Активная разломная тектоника Срединного хребта, п-ов Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 1. Вып. 53. С. 104-112.
5. *Некрялов Н.А., Волынец А.О., Овсянников Г.Н. и др.* Первые результаты изучения составов оливина и расплавных включений в пикробазальтовых лавах массива г. Большой Тигиль (Срединный хребет, Камчатка) // Материалы XII Международной школы по наукам о Земле имени профессора Л.Л. Перчука (ISES-2022). – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2022. С. 66.
6. *Певзнер М.М., Толстых М.Л., Волынец А.О. и др.* Миграция позднеплиоцен-четвертичной вулканической и сейсмической активности (Срединный хребет, Камчатка) // Материалы VIII Российской конференции по изотопной геохронологии (Санкт-Петербург, 7-10 июня 2022 г). – СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2022. С. 110-111.
7. *Campbell I.H., Gorton M.P.* Accessory phases and the generation of LREE-enriched basalts – a test for disequilibrium melting // Contributions to mineralogy and petrology. 1980. V. 72. P. 157-163.
8. *Hermann J.* Allantite: thorium and light rare earth element carrier in subducted crust // Chemical Geology. 2002. V. 192. P. 289-306.
9. *Poli S.* Melting carbonated epidote eclogites: carbonatites from subducting slabs // Progress in Earth and Planetary Science. 2016. V. 3. Art. 27. <https://doi.org/10.1186/s40645-016-0105-6>
10. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Saunders, A.D., Norry, M.J. (eds), Magmatism in the ocean basins. Geological Society of London Special Publications. 1989. P. 313-345.
11. *Volynets A., Churikova T., Wörner G. et al.* Mafic Late Miocene-Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implications for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2010. № 159. P. 659-687. <https://doi.org/10.1007/s00410-009-0447-9>