

СОСТАВ ОЛИВИН-ШПИНЕЛЕВЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ  
И РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПОРОДАХ МОНОГЕННЫХ  
ЦЕНТРОВ ИЧИНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО УЗЛА: РАСЧЕТ  
ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

*Волынец А.О., Чурикова Т.Г., Пономарев Г.П.,  
Пузанков М.Ю., Философова Т.М.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Изучены составы оливин-шпинелевых парагенезисов и расплавных включений в оливинах пород двух моногенных центров Ичинского вулканического узла: в базальте и андезито-базальте голоценового лавового потока Южный Черпук, и в высоко-титанистом базальте г. Скалистая позднелейстоценового возраста. Состав расплавных включений и минеральных парагенезисов Южного Черпука и г.Скалистая не может быть описан в рамках процессов фракционной кристаллизации; наблюдаемые различия состава, вероятно, связаны с различной степенью добавки обогащенного компонента ОІВ-типа в мантийном источнике магм. По составам оливин-шпинелевых парагенезисов, валовому составу пород и по составам расплавных включений в оливинах базальта Южного Черпука рассчитаны Р-Т условия сосуществования парагенезиса с расплавом для безводных («сухих») условий:  $1220-1240 \pm 36^\circ\text{C}$  и  $6.5-10.3 \pm 2$  кБар.

*Ключевые слова: оливин, шпинель, расплавные включения, Камчатка, тыловая часть зоны субдукции.*

Ичинский вулкан и окружающая его зона моногенных конусов расположены в Срединном хребте Камчатки. Изучены составы оливин-шпинелевых парагенезисов и расплавных включений в оливинах трех пород из двух моногенных центров Ичинского вулканического узла: в базальте и андезито-базальте лавового потока Южный Черпук, образовавшегося  $6500^{14}\text{C}$  лет В.Р [2], и в высоко-титанистом базальте г. Скалистая позднелейстоценового возраста [1]. Состав оливина в трех изученных образцах колеблется от Fo71 до Fo87; наиболее магнизальные оливины найдены в базальте г. Скалистая. Состав оливин-шпинелевых парагенезисов указывает на то, что эта ассоциация кристаллизовалась из расплавов, уже прошедших определенную эволюцию: как показано на рисунке 1А, фигуративные точки оливин-шпинелевых пар всех трех образцов на диаграмме

Cr#-Fo расположены вне поля составов оливин-шпинелевых мантийных парагенезисов (OSMA по [5]). Наблюдаемые различия в хромистости шпинелей ( $Cr\# = 0,2-0.69$ ) связаны с существенными вариациями в содержании  $Al_2O_3$  (от  $\sim 11$  до  $\sim 41$  вес. %, за исключением двух безхромистых шпинелей из базальта г. Скалистая, с концентрацией глинозема около 50 вес.%, см. рис. 1Б) при относительно постоянном содержании  $Cr_2O_3$ . Несмотря на то, что абсолютные концентрации хрома в шпинелях всех изученных образцов изменяются от  $\sim 15$  до  $\sim 30$  вес.%, корреляций с содержаниями  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  и  $Mg\#$  в шпинели не наблюдается.

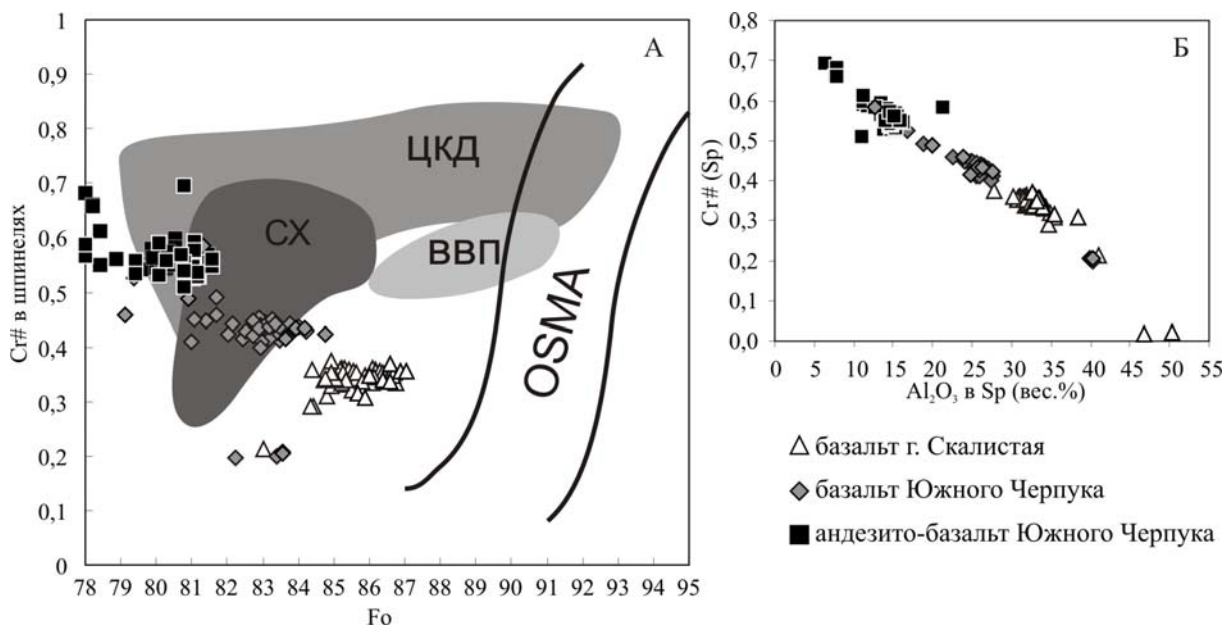


Рис. 1. Состав оливин-шпинелевых парагенезисов (А) и зависимость хромистости шпинелей ( $Cr\#$ ) от содержания алюминия (Б). OSMA - olivine-spinel mantle array (по [5]). Поля составов оливин-шпинелевых парагенезисов Восточного вулканического пояса (ВВП), Центральной Камчатской Депрессии (ЦКД) и Срединного хребта (СХ) на рис. 1А - по неопубликованным данным Чуриковой Т.Г. и Вернера Г.

Шпинели, захваченные оливинами базальта г. Скалистая, являются наименее хромистыми не только среди изученных трех образцов, но и в сравнении со шпинелями других регионов Камчатки (рис. 1А). Концентрация алюминия в шпинели коррелирует с  $Mg\#$  шпинели. Самая глиноземистая хромшпинель обнаружена в образце базальта г.Скалистой (около 41,02%); там же обнаружены две безхромистые высокоглиноземистые

шпинели ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 50\%$ ). Титан имеет близкие концентрации в шпинелях базальта г. Скалистой и образца базальта Южного Черпука (0,17-1,9 вес. %), но значительно повышается в шпинелях из образца андезито-базальта Южного Черпука (2,4-6,45 вес.%). Это может быть связано с тем, что андезито-базальт Южного Черпука является наиболее фракционированной разновидностью из трех изученных нами пород, и содержание железа в его оливинах и шпинелях выше [7].

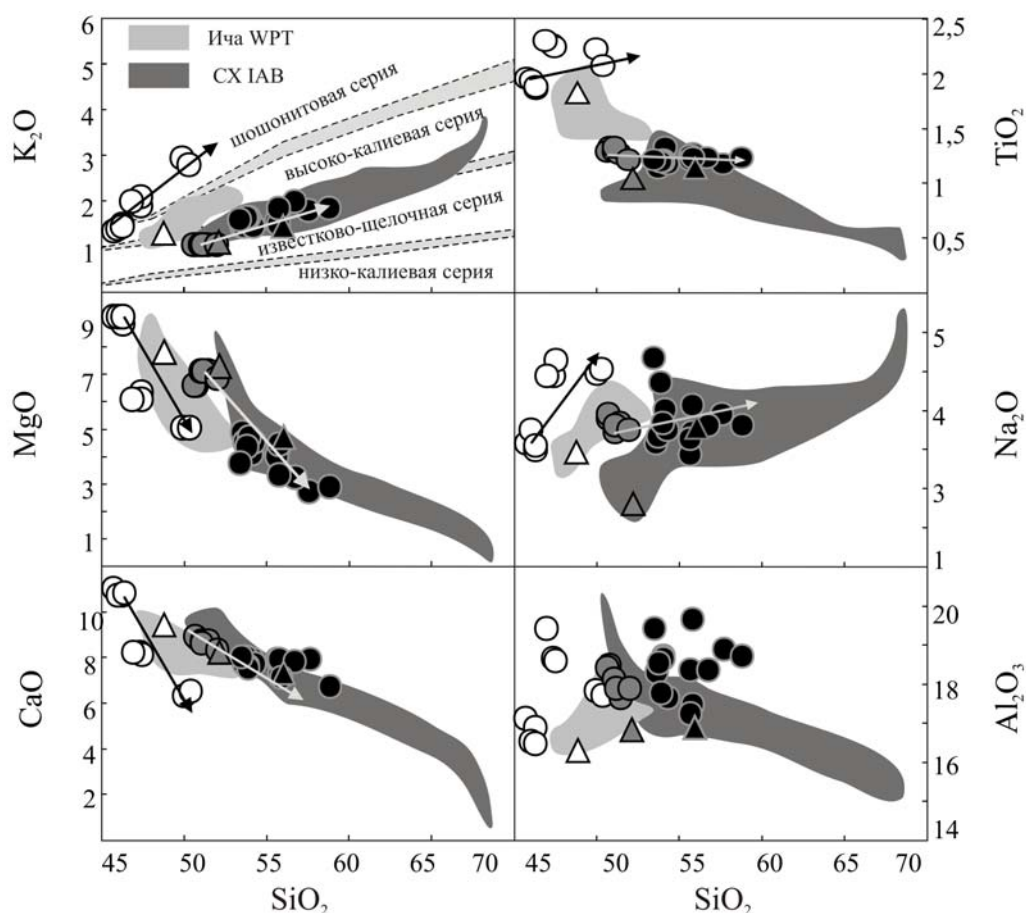


Рис. 2. Диаграммы Харкера для расплавных включений (кружки) и исходных пород (треугольники). Ограниченные пунктиром дискриминационные области на диаграмме  $\text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  по [8]. Полями показаны составы пород внутриплитного типа Ичинской зоны моногенного вулканизма (Ича WPT) и пород островодужного типа Срединного хребта (СХ IAB) по [6]. Условные обозначения: значки белого цвета - базальт г.Скалистая; серого - базальт начальной порции извержения Ю.Черпука; черного - андезито-базальт конечной порции извержения Ю.Черпука. Стрелками показано направление трендов фракционирования. Концентрации оксидов даны в весовых %.

В указанных трех образцах также изучены первичные расплавные включения в оливине. Расплавные включения имеют футлярообразную,

овальную, эллипсовидную форму; размер анализировавшихся включений преимущественно 30-100 мкм. На диаграммах Харкера (рис. 2) фигуративные точки расплавов базальта и андезито-базальта Южного Черпука образуют компактные поля, близкие по составу исходным образцам. Изменения в их составе могут быть описаны в рамках одного тренда фракционной кристаллизации, отвечающего тренду фракционирования ранее изученных пород Ичинского вулкана [6]. Эти расплавы принадлежат к известково-щелочной умеренно-калиевой серии. Расплавные включения базальта г. Скалистая напротив, образуют независимые тренды фракционирования, имея более щелочной, магниальный, обогащенный титаном состав. На классификационной диаграмме  $K_2O-SiO_2$  часть этих включений располагается на границе высоко-калиевой и шошонитовой серий, часть принадлежит к шошонитовой серии.

Графики распределения микроэлементов в изученных расплавных включениях и исходных породах показаны на рисунке 3. Распределение микроэлементов в расплавных включениях и породах имеет схожий характер. В расплавных включениях наблюдается более широкий спектр концентраций микроэлементов, чем в исходных породах, однако отношения микроэлементов в расплавных включениях и породе остаются постоянными; таким образом, состав изученных включений характеризует состав исходных расплавов пород г. Скалистая и Южного Черпука. При этом, по содержаниям микроэлементов и отношениям элементов с близкими коэффициентами распределения в системе минерал-расплав базальты и расплавные включения г. Скалистая резко отличаются от пород и расплавных включений Южного Черпука: первые значительно обогащены высокозарядными элементами, а отношения  $Va/Nb$ ,  $U/Nb$  в них, напротив, существенно ниже. Такие различия не могут быть получены путем фракционирования единого источника и скорее всего, связаны с различным количеством обогащенного компонента OIB-типа в мантийном источнике [6, 10].

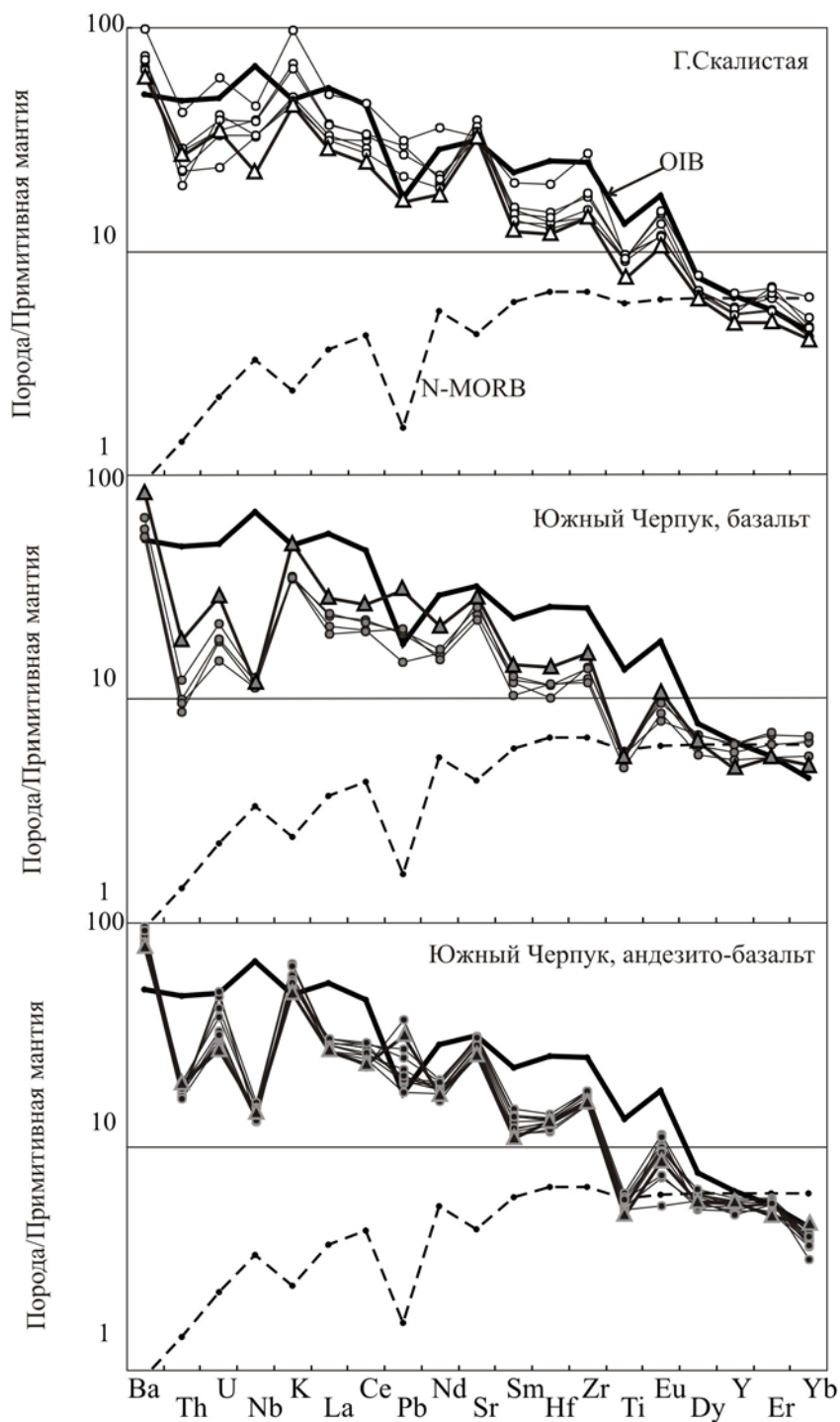


Рис. 3. Графики распределения микроэлементов в расплавных включениях (тонкие линии с кружками) и исходных породах (тонкие линии с треугольниками). Концентрации микроэлементов нормированы на состав примитивной мантии по [9]. Концентрации в N-MORB и OIB по [9] нанесены для сравнения.

Для расчета условий кристаллизации оказались пригодными лишь несколько пар оливин-шпинель из базальта Южного Черпука. Это связано с процессами переуравновешивания оливин-шпинелевой пары в солидусных для них условиях, приводящей к избыточному обогащению шпинели

железом и вытекающим отсюда отклонением от равновесного состава (так, все оливин-шпинелевые пары г. Скалистая оказались переуравновешены и оценить условия их кристаллизации не удалось). По составу равновесных оливин-шпинелевых парагенезисов, валовому составу исходного образца базальта начальной стадии извержения Южного Черпука и составу расплавных включений в оливинах были рассчитаны условия равновесия этого парагенезиса с расплавом, соответствующим валовому составу породы для «сухих» условий (по термометрам и барометрам для безводных условий Пономарева и Пузанкова [3]), которые составили  $1220-1240 \pm 36^\circ\text{C}$ . Давление, рассчитанное по парагенезисам, представляется несколько заниженным ( $\sim 5 \pm 2$  кБар) (например, по сравнению с данными Родина и др., [4]) Более реалистичными выглядят оценки по составу квазиравновесной шпинели:  $6.5-10.3 \pm 2$  кБар, что соответствует глубине равновесной кристаллизации минеральной пары порядка 30 км. Большой диапазон значений давлений, определенных с использованием составов шпинелей, связан как с переуравновешиванием шпинелей, так и с тем, что расчеты производились для «сухих» условий.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 09-III-B-08-465 и РФФИ 08-05-00600.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волюнец О.Н., Патока М.Г., Мелекесцев И.В. и др. (1991) Вулкан Ичинский. В кн.: Действующие вулканы Камчатки. Т.1. М.: Наука. 1991. С. 282-295.
2. Певзнер М.М. (2004) Первые геологические данные о хронологии голоценовой эруптивной активности вулкана Ичинского (Срединный хребет, Камчатка) // Доклады Академии наук, том 395, № 4, с. 507-510.
3. Пономарев Г.П., Пузанков М.Ю. (2009) Условия образования и существования вкрапленников породообразующих минералов в плиоцен-четвертичных основных вулканитах Курило-Камчатской островной дуги // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», т.1, с. 192-197.
4. Родин В.С., Волюнец А.О., Чурикова Т.Г. (2007) Минералогия плейстоцен-голоценовых пород Озерновского района Срединного хребта Камчатки в связи с его геодинамикой. // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Москва, 7-9 ноября 2007 г. - М.: ГЕОС, 2007. С. 346-348.
5. Arai S. (1992) Chemistry of Chromian Spinel in Volcanic Rocks as a Potential Guide to Magma Chemistry // Mineralogical Magazine, 56, p. 173-184.
6. Churikova T., Dorendorf F., Wörner G. (2001) Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // Journal of Petrology. Vol. 42. № 8. P. 1567-1593.
7. Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contributions to mineralogy and petrology, vol.86, No.1., p.54-76.
8. Rickwood P.C. (1989) Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements // Lithos, 22, p.247-263.
9. Sun S.S., McDonough W.F. (1989) 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 Special Publications, 1989. London: Geological Society of London. P. 313-345.
10. Volynets A., Churikova T., Woerner G., Gordeychik B., Layer P. (2009) 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, DOI: 10.1007/s00410-009-0447-9

COMPOSITION OF OLIVINE-SPINEL PARAGENESIS IN MONOGENETIC CENTERS  
FROM ICHINSKY VOLCANIC MASSIF: MODELLING OF CRYSTALLIZATION TEM-  
PERATURE AND PRESSURE

*Volynets A.O., Churikova T.G., Ponomarev G.P., Puzankov M.U., Filosofova T.M.*

Compositions of olivine-spinel paragenesis and glass inclusions in olivines from basalt and basaltic andesite of Holocene South Cherpuk and high-Ti basalt of Late Pleistocene Skalish-taya mountain (Ichinsky volcanic massif) are studied. Composition of solid and melt inclu-sions in olivine can't be described by fractional crystallization; the observed differences are probably caused by different amount of enriched OIB-type component in the mantle sources of magmas. Pressure and temperature of Ol-Sp-liquid equilibrium for anhydrous conditions are calculated for South Cherpuk basalt:  $1240 \pm 36^{\circ}\text{C}$  and  $6.5\text{-}10.3 \pm 2$  KBar.

*Keywords: olivine, spinel, glass inclusions, Kamchatka, back-arc, subduction*