

**Первые данные по составу минералов и условиям кристаллизации магм Кронцового вулкана (Восточный вулканический пояс Камчатки)**

**Тобелко Д.П.<sup>1</sup>, Горбач Н.В.<sup>2</sup>, Портнягин М.В.<sup>3</sup>, Щербаков В.Д.<sup>4</sup>, Rogozin A.N.<sup>2</sup>**

**First data on the composition of minerals and crystallization conditions of Kronotsky volcano magmas (Eastern volcanic belt of Kamchatka)**

**Tobelko D.P., Gorbach N.V., Portnyagin M.V., Scherbakov V.D., Rogozin A.N.**

<sup>1</sup> *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва; e-mail: dariatobelko@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

<sup>3</sup> *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany*

<sup>4</sup> *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

Приведены первые данные по составу оливина и включений шпинели в нем из пород Кронцового вулкана. По предварительным оценкам, исходные магмы Кронцового вулкана, равновесные с оливином  $Fo_{85}$ , могли кристаллизоваться при температуре  $1108 \pm 17$  °C ( $1\sigma$ ), фугитивности кислорода  $QFM + 2.2 \pm 0.1$  ( $1\sigma$ ), и содержали  $\sim 2.9$  масс. %  $H_2O$ .

**Введение**

Кронцовый вулкан ( $54^{\circ}45'11''$  с.ш.  $160^{\circ}31'58''$  в.д., высота 3528 м н.у.м) – один из крупнейших стратовулканов Камчатки, расположенный во фронтальной зоне Восточного вулканического пояса (рис. 1). Породы вулкана, по данным работы [1], представлены низко-К высоко-Fe толеитовыми базальтами, реже – андезибазальтами ( $SiO_2 = 47.8-53.4$  масс. %;  $K_2O = 0.24-0.58$  масс. %;  $FeO^*/MgO = 1.2-2.89$ ). Базальты и андезибазальты петрографически однообразны и сложены оливин-плагиоклазовой ассоциацией вкрапленников. Образцы лав и шлаков отличаются между собой только текстурными особенностями (пористые и плотные) и переменным соотношением минеральных фаз (оливин – от  $\sim 3-5$  до 12-15 об. %, плагиоклаз – от  $\sim 10$  до 25 об. %). Небольшое количество вкрапленников пироксенов (до 3 об. %) отмечается только в хорошо раскристаллизованных разностях пород.

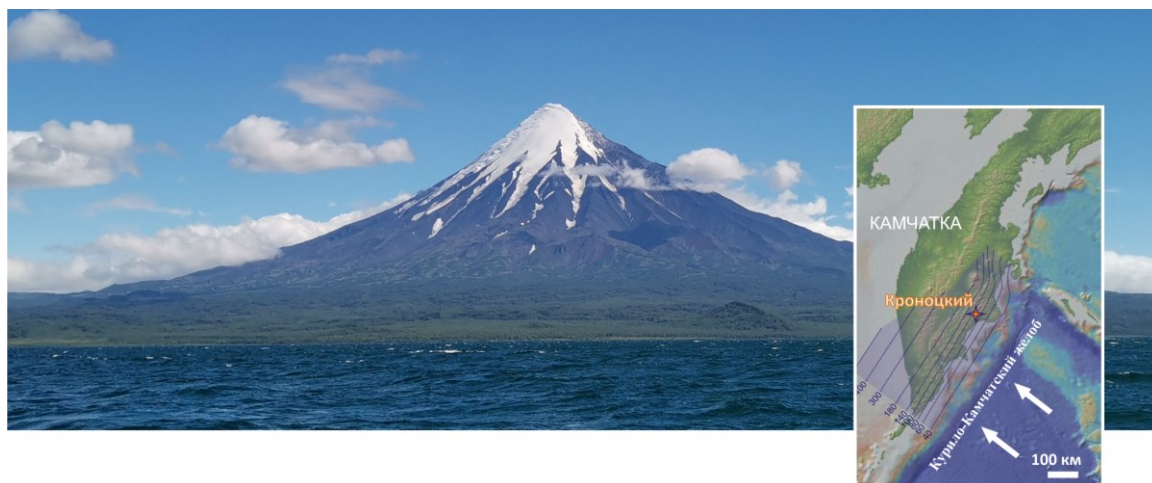


Рис. 1. Вид на вулкан Кронцовый с запада. На врезке показана позиция вулкана во фронтальной зоне Восточного вулканического пояса Камчатки.

В этой работе мы представляем первые данные по составу оливина и включений шпинели в нем из пяти образцов базальтов Кронцового вулкана. Выборка включает три образца лав из различных гипсометрических уровней постройки ( $\sim 900$ , 1600 и 2300 м н.у.м), образец шлаков из фрагмента лавово-пирокластического разреза и образец тефры, отобранный на удалении от вулкана, в разрезе позднеплейстоценовых пирокластических отложений на берегу Кронцового озера. Определения состава

оливина и шпинели были выполнены при помощи электронного зонда JEOL JXA8900 (Геологический факультет МГУ).

### Результаты и обсуждение

Зерна оливина имеют интервал составов от Fo<sub>70</sub> до Fo<sub>88.5</sub> и следующие вариации содержания оксидов (в масс. %): SiO<sub>2</sub> = 37.7-40.6, MnO = 0.18-0.43, CaO = 0.13-0.29, NiO = 0.02-0.31, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.014-0.046, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0-0.05. С понижением магнезиальности оливина содержания SiO<sub>2</sub>, NiO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> снижаются, содержания MnO увеличиваются. Составы оливина в лавах и шлаках Кроноцкого вулкана в целом типичны для Восточного вулканического пояса Камчатки (рис. 2).

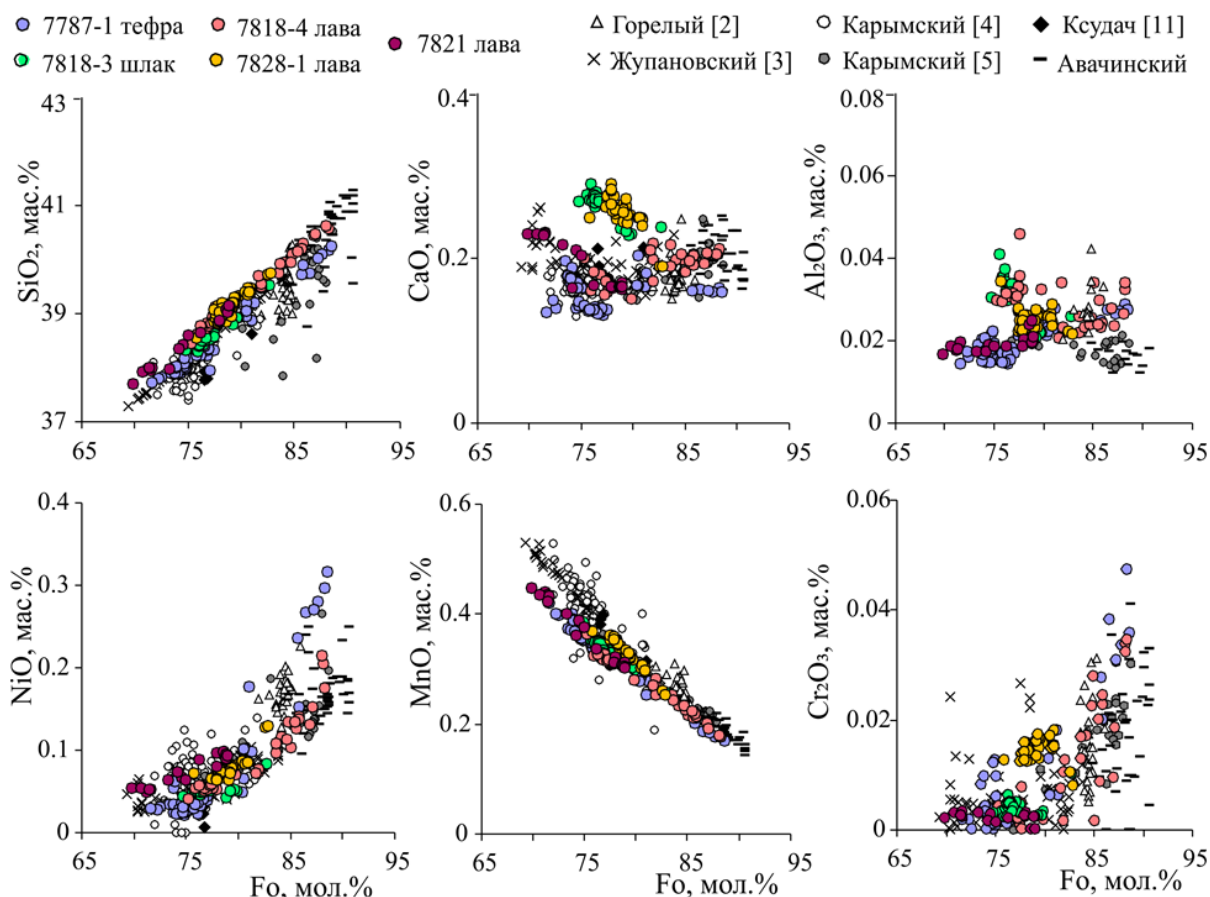


Рис. 2. Состав оливина из базальтов Кроноцкого вулкана. Для сравнения показаны данные по составу оливина из базальтов других вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки [2-5, 11].

Включения шпинели были проанализированы во вкрапленниках оливина из образцов 7787-1 и 7818-4. На рис. 3 показаны все полученные составы шпинели, однако для наших целей термо- и оксидометрии из рассмотрения были исключены шпинели с FeO > 50 масс. % [10]. Хромистые шпинели из оливинов Кроноцкого вулкана близки по составу шпинели в оливине вулкана Горелый [10].

Летучесть кислорода при кристаллизации магм Кроноцкого вулкана, оцененная с помощью оливин-шпинелевого оксидометра [7] составляет  $\Delta QFM = +1.6 (\pm 0.5, 1\sigma)$  для образца тефры 7787-1 и  $\Delta QFM = +2.2 (\pm 0.1, 1\sigma)$  для образца лавы 7818-4.

Для оценки температур кристаллизации магм Кроноцкого вулкана был использован оливин-шпинелевый Al геотермометр, основанный на температурной зависимости распределения Al между оливином и Cr-шпинелью [8]. Предварительная оценка температур кристаллизации магм Кроноцкого (использован образец лавы 7818-4) вулкана составляет  $1108 \pm 17 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $1\sigma$ ).

«Сухие» (псевдоликвидусные) температуры кристаллизации [9] были рассчитаны по составу породы (при моделировании в программе Petrolog состав породы соответствует оливину Fo<sub>85</sub>). Расчетные псевдоликвидусные температуры кристаллизации составили 1195 °С. Разница между реальными и «сухими» температурами кристаллизации ( $\Delta T$ ) составила ~86 °С, что соответствует ~2.9 масс. % H<sub>2</sub>O по модели [6] ( $H_2O = (\Delta T/39.69)^{1.37}$ ).

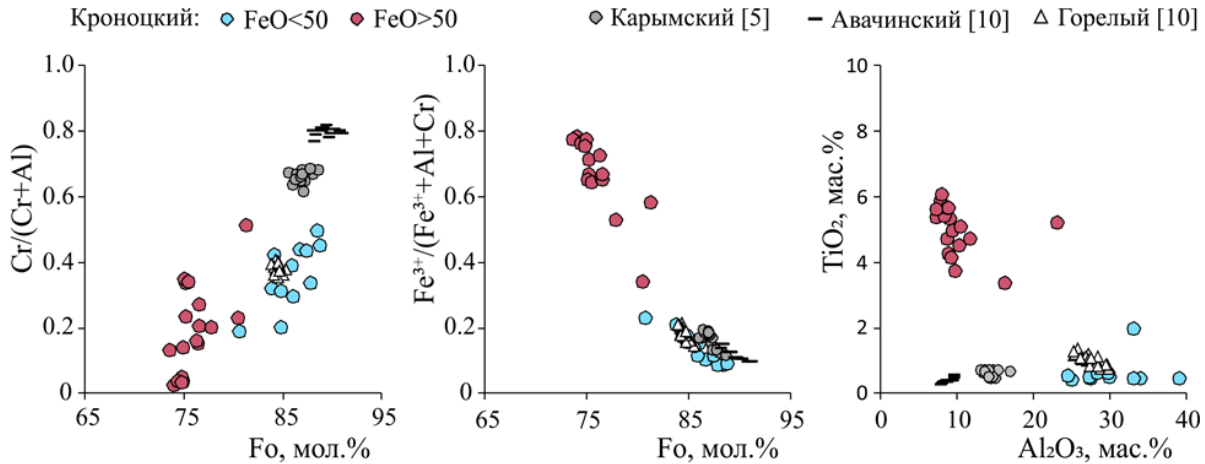


Рис. 3. Состав хромистой шпинели в оливине из пород Кроноцкого вулкана. Для сравнения нанесены составы этих минералов из пород вулканов Карымский [5], Авачинский и Горелый [10].

Для проверки возможного вклада пироксенитового источника в образование магм Кроноцкого вулкана мы использовали критерий из работы [12], основанный на анализе содержания микроэлементов в высокомагнезиальном оливине в вулканических породах различных геодинамических обстановок. Как показано на рис. 4, отношения Ni/(Mg/Fe) и Mn/Fe в оливине соответствуют типичным характеристикам магм из перидотитового источника. О перидотитовом источнике первичных магм также свидетельствуют данные по составу оливина из пород вулканов Авачинский, Жупановский [3], Горелый [2], Карымский [5]), что, вероятно, является типичным для большей части вулканического фронта Камчатки.

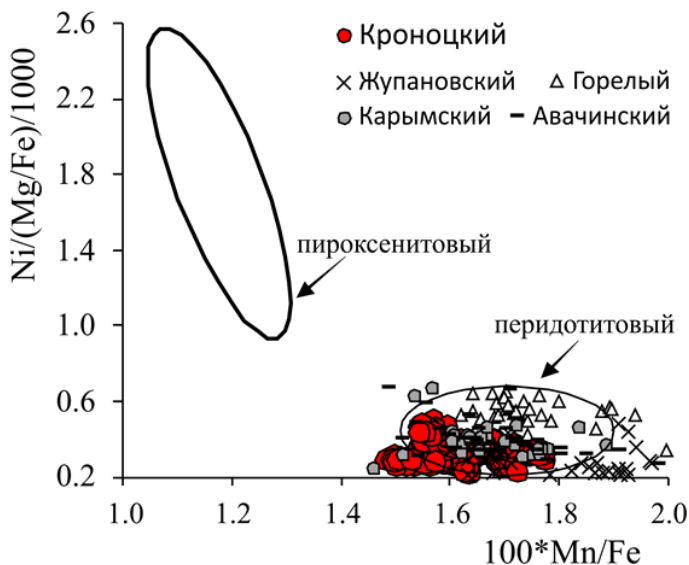


Рис. 4. Состав вкрапленников оливина из 4 образцов пород вулкана Кроноцкий (без образца тефры 7787-1). Полями показаны составы оливина из магм, имеющих перидотитовый и пироксенитовый источники [11]. Для сравнения показаны данные для вулканов Восточного вулканического пояса (Авачинский (данные авторов), Карымский [5], Горелый [2], Жупановский [3]).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00053 <https://rscf.ru/project/23-27-00053/>, полевые исследования 2022 г. были поддержаны грантом № 22-17-00074 <https://rscf.ru/en/project/22-17-00074/>.

### Список литературы

1. Горбач Н.В., Rogozin A.N., Пономарева В.В. Вулкан Кроноцкий (Восточная Камчатка): особенности строения и первые представительные данные по геохимии пород // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXV ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2022. С. 30-33.
2. Назарова Д.П., Портнягин М.В., Крашенинников С.П. и др. Исходное содержание H<sub>2</sub>O и условия образования родоначальных магм вулкана Горелый (Южная Камчатка) по данным микроэлементной термобарометрии // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 3. С. 311-314.
3. Плечова А.А., Портнягин М.В., Базанова Л.И. Происхождение и эволюция исходных магм фронтальных вулканов Камчатки по данным изучения магматических включений в оливине вулкана Жупановский // Геохимия. 2011. № 8. С. 787-812.
4. Портнягин М.В., Наумов В.Б., Миронов Н.Л. и др. Состав и эволюция расплавов извержения 1996 года в Карымском озере (Восточная Камчатка) по данным изучения включений в минералах // Геохимия. 2011. № 11. С. 1153-1178.
5. Тобелко Д.П., Портнягин М.В., Крашенинников С.П. и др. Состав и условия образования примитивных магм Карымского вулканического центра (Камчатка) по данным изучения расплавных включений и микроэлементной термобарометрии // Петрология. 2019. Т. 27. № 3. С. 258-281. <https://doi.org/10.31857/S0869-5903273258-281>
6. Almeev R.R., Holtz F., Koeperke J. et al. The effect of H<sub>2</sub>O on olivine crystallization in MORB: Experimental calibration at 200 MPa // American Mineralogist. 2007. V. 92. P. 670-674.
7. Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1991. V. 107. P. 27-40.
8. Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N. Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces // Chemical Geology. 2014. V. 368. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.01.004>
9. Ford C.E., Russel D.G., Graven J.A., Fisk M.R. Olivine liquid equilibria: temperature, pressure and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe<sup>2+</sup>, Ca and Mn // Journal of Petrology. 1983. V. 24. P. 256-265.
10. Nekrylov N., Portnyagin M.V., Kamenetsky V.S. et al. Chromium spinel in Late Quaternary volcanic rocks from Kamchatka: Implications for spatial compositional variability of subarc mantle and its oxidation state // Lithos. 2018. V. 322. P. 212-224.
11. Portnyagin M.V., Hoernle K., Plechov P.Y. et al. Constraints on mantle melting and composition and nature of slab components in volcanic arcs from volatiles (H<sub>2</sub>O, S, Cl, F) and trace elements in melt inclusions from the Kamchatka Arc // Earth and Planetary Science Letters. 2007. V. 255 (1-2). P. 53-69.
12. Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V. et al. The Amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // Science. 2007. V. 316. P. 412-417.