

УДК 548.4+550.4

## Включения в хромшпинелидах из ультрабазитов – источник прямой информации о параметрах глубинных магматических систем в зонах современной и древней субдукции

В.А. Симонов<sup>1</sup>, Н.Л. Добрецов<sup>2</sup>, А.В. Котляров<sup>1</sup><sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия. kotlyarov@igm.nsc.ru<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

**Ключевые слова:** включения, хромшпинелиды, ультрабазиты, магматизм, субдукция.

Все подвижные компоненты (флюиды и расплавы), принимающие участие в процессах формирования пород в зонах субдукции, неизбежно оставляют свои следы в виде микровключений в минералах. В связи с этим весьма перспективным для выяснения параметров глубинных магматических систем могут стать исследования включений минералообразующих сред.

Особый интерес представляют включения в шпинелях, так как данный минерал является превосходным «контейнером» из-за своей химической и физической стойкости (Kamenetsky et al., 2001; Shimizu et al., 2001; Симонов и др., 2016; Ionov et al., 2011). В частности в шпинели из перidotитовых ксенолитов Авачинского вулкана присутствуют нормальные первичные расплавные включения (Рис. 1а) (Timina et al., 2010; Тимина и др., 2012). Этот очень важный факт свидетельствует о кристаллизации минералов данных перidotитов непосредственно из расплава.

Подобные включения в шпинелях из перidotитовых ксенолитов Авачинского вулкана описаны и в другой работе (Ionov et al., 2011). Как видно на Рис. 1б, авторам публикации удалось гомогенизировать высокотемпературные расплавные включения при нагреве около 1200°C. Таким образом, шпинели из этих ксенолитов явно кристаллизовались при участии гомогенных расплавов и следовательно формирование перidotитов происходило в условиях нормальных силикатных магматических систем без избытка флюида.

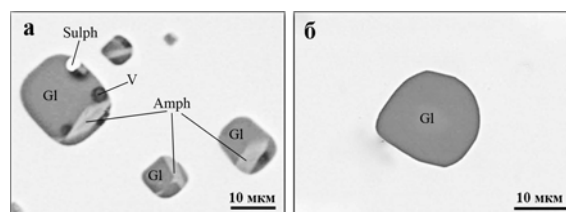


Рис. 1 – Расплавные включения в шпинели из перidotитовых ксенолитов Авачинского вулкана. а – расплавные включения (Тимина и др., 2012). б – гомогенизированное расплавное включение при 1200°C (Ionov et al., 2011). Gl – силикатное стекло. Amph – амфибол. V – пузырьки. Sulph – сульфид.

Как показали наши исследования, подобные расплавные включения присутствуют также в хромшпинелидах из гипербазитов, представляющих структуры древних зон субдукции. В частности в хромшпинелидах из дунитов офиолитов Западного Саяна, формировавшихся в палеогеодинамических условиях примитивной островной дуги (Добрецов и др., 1977), найдены первичные расплавные включения, содержащие после высокотемпературных экспериментов стекло, флюидный пузырек и микрокристаллики амфибола (Рис. 2а). То есть фазовый состав практически такой же, как и у расплавных включений в хромшпинели из перidotитовых ксенолитов Авачинского вулкана (Рис. 1а) (Тимина и др., 2012). На основе данных по составу находящихся во включениях амфиболов с помощью минералогических барометров и термометров (Ridolfi, Renzulli, 2012) были выяснены параметры магматических систем, принимавших участие в формировании в древних супрасубдукционных зонах дунитов из офиолитов Западного Саяна: 910°C и 7,1 кбар.

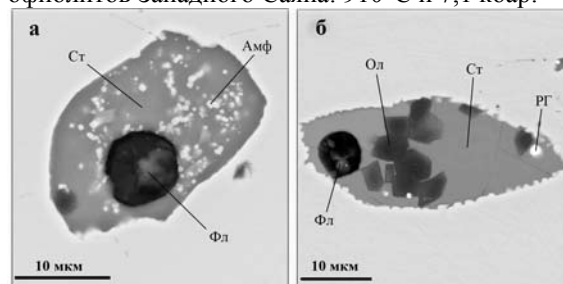


Рис. 2 – Первичные расплавные включения в хромшпинелидах из древних гипербазитов. а, б – прогретые и закаленные расплавные включения в хромшпинелидах из дунитов: а – офиолиты Западного Саяна (Ст – силикатное стекло, Амф – амфибол, Фл – пузырек); б – Нижнетагильский платиноносный массив, Средний Урал (Фл – пузырек, Ол – оливин, Ст – силикатное стекло; РГ – сульфидсодержащая глобула (Симонов и др., 2016).

Первичные расплавные включения присутствуют и в хромшпинелидах из гипербазитов платиноносных массивов Урала, формирование которых также связывается с

развитием древней зоны субдукции (Иванов, Шмелев, 1996). Проведенные нами исследования показали, что расплавные включения в аксессуарных хромшпинелидах из дунитов Нижнетагильского массива (Рис. 2б) содержат, как и включения в хромшпинели из перидотитовых ксенолитов Авачинского вулкана (Рис. 1а), стекло, флюидный пузырек, силикатные ограненные микрокристаллики и рудные округлые фазы с сульфидами. Только в случае Нижнетагильского массива среди микрокристаллитов преобладает оливин, а не амфибол (Симонов и др., 2016).

Таким образом, сравнительный анализ с данными по расплавным включениям в хромшпинелях из гипербазитов, формировавшихся в палеозонах субдукции, позволяет вполне обоснованно говорить о кристаллизации перидотитов Авачинского вулкана в ходе магматических процессов в промежуточном очаге (Добрецов и др., 2017).

Наличие амфибола в расплавных включениях в шпинелях (Ionov et al., 2011) и среди минералов самих перидотитовых ксенолитов (Ishimaru et al., 2007; Тимина и др., 2012) дало возможность получить дополнительную информацию о физико-химических параметрах расплавов, принимавших участие в формировании перидотитов Авачинского вулкана. На основе данных по составу амфиболов (Ishimaru et al., 2007) с помощью современных минералогических барометров и термометров (Ridolfi, Renzulli, 2012) нами было выяснено, что при формировании неизмененных перидотитов действовали расплавы с температурами 1055–1105°C и при давлениях 9,9–13,8 кбар, а в случае перекристаллизованных перидотитов параметры расплавов были ниже: 900–1010°C и 4,5–7,1 кбар. Причем минимальные параметры этих расплавов близки к данным по магматическим системам (формировавшимся в древних субдукционных зонах гипербазиты из офиолитов Западного Саяна), установленным с помощью анализа амфибола в расплавных включениях в хромшпинелидах: 910°C, 7,1 кбар. Таким образом, два независимых метода (по расплавным включениям и по амфиболам) показывают достоверность полученных параметров.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (проект № 0330-2016-0014) и при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор № 14.Y26.31.0029)

### Список литературы

- Добрецов, Н.Л., Молдавцев, Ю.Е., Казак, А.П., и др. (1977) Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 220 с.
- Добрецов, Н.Л., Симонов, В.А., Кулаков, И.Ю., Котляров, А.В. (2017) Проблемы фильтрации флюидов и расплавов в зонах субдукции и общие вопросы теплофизического моделирования в геологии. Геология и геофизика. Том 58 № 5. С. 701–722. <https://doi.org/10.15372/GiG20170503>.
- Иванов, К.С., Шмелев, В.Р. (1996) Платиновый пояс Урала – магматический след раннепалеозойской зоны субдукции. Доклады АН. Том 347 № 5. С. 649–652.
- Симонов, В.А., Пучков, В.Н., Приходько, В.С., и др. (2016) Физико-химические параметры кристаллизации дунитов Нижнетагильского платиноносного массива (Средний Урал). Геология и геофизика. Том 57 № 6. С. 1106–1134. DOI: 10.15372/GiG20160603.
- Тимина, Т.Ю., Ковязин, С.В., Томиленко, А.А. (2012) Состав расплавных и флюидных включений в шпинели из ксенолитов перидотитов Авачинского вулкана (Камчатка). ДАН. Том 442 № 2. С. 239–243. DOI: 10.1134/S1028334X12010229
- Ionov, D.A., Benard, A., Plechov, P.Y. (2011) Melt evolution in subarc mantle: evidence from heating experiments on spinel-hosted melt inclusions in peridotite xenoliths from the andesitic Avacha volcano (Kamchatka, Russia). *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 162. P. 1159–1174. DOI: 10.1007/s00410-011-0645-0
- Ishimaru, S., Arai, S., Ishida, Y., et al. (2007) Melting and multi-stage metasomatism in the mantle wedge beneath a frontal arc inferred from highly depleted peridotite xenoliths from the Avacha volcano, Southern Kamchatka. *J. Petrol.* Vol. 48 № 2. P. 395–433. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl065>
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., Meffre, S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology.* Vol. 42 № 4. P. 655–671.
- Ridolfi, F., Renzulli, A. (2012) Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130°C and 2.2 GPa. *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 163. P. 877–895. DOI: 10.1007/s00410-011-0704-6.
- Shimizu, K., Komiya, T., Hirose, K., et al. (2001) Cr-spinel, an excellent micro-container for retaining primitive melts—implications for a hydrous plume origin for komatiites. *Earth Planet. Sci. Lett.* Vol. 189 № 3–4. P. 177–188.
- Timina, T.Yu., Kovyazin, S.V., Tomilenko, A.A., Kuznetsov, G.V. (2010) Composition of melt and fluid inclusions in spinel of peridotite xenoliths from Avacha Volcano (Kamchatka, Russia). *ACROFI III and TBG XIV Abstracts Volume.* Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. P. 238–239.