

ФОРСТЕРИТОВЫЕ АПОДУНИТОВЫЕ ЭНДОСАРНЫ, ЙОКО-ДОВЫРЕНСКИЙ РАССЛОЕННЫЙ МАССИВ, СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ: СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ

Синопальников Н.И.¹, Кислов Е.В.², Шубин И.И.³

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, niksiniop@gmail.com

²Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, evg-kislov@ya.ru

³Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН Москва, Россия, shubin.ivann@mail.ru

Магнезиальные скарны – одни из наиболее высокотемпературных метасоматитов, сопряжённые с интрузивами как гранитоидов, так и габброидов, иногда и перидотитов. Широко известны магнезиальные апогабброидные и апогранитоидные эндоскарны клинопироксен-плагиоклазового, клинопироксен-скаполитового состава и другие. Данная работа посвящена впервые выявленным аподунитовым форстеритовым эндоскарнам Йоко-Довыренского массива.

Неопротерозойский расслоенный Йоко-Довыренский дунит-троктолит-анортозит-габбронорит-долеритовый плутон — одно из интереснейших образований в байкалидах Северного Прибайкалья. Этот гипабиссальный интрузив размером 26×5–6×2–4 км активно внедрился в терригенно-доломитовую толщу раннего венда.

Массив содержит массу ксенолитов ороговикоподобных углеродисто-глинистых сланцев, скарнированных или превращенных в бруситовые мраморы доломитовых мраморов, силикатных доломитовых мраморов с линзами кварцитов и перекристаллизованными стяжениями кремней [Гурулёв, 1965; Перцев, Шабынин, 1979; Кислов, 1998; Перцев и др., 2003]. Большая часть ксенолитов скарнированных доломитов приурочена к верхам дунитового горизонта, под троктолитами. Мощность пластообразных ксенолитов доломитов, преобразованных в бруситовые мраморы, в троктолитах северо-восточной части интрузива достигает нескольких десятков метров. В юго-западном направлении интрузива ксенолиты доломитов постепенно исчезают.

Ранее эндоскарны в дунитах Йоко-Довыренского массива не отмечались. Исключение – хромититы в дунитах Йоко-Довыренского массива [Пушкарев, Кислов, 2005; Kislov et al., 2019; Kislov, Khudyakova, 2020], описанные как высокохромистые эндоскарны магматического этапа.

Исследования минералов проведены в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ им. М.В. Ломоносова на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480LV с вольфрамовым термоэмиссионным катодом, оснащен-

ном энергодисперсионным спектрометром X-Max-N50 (Oxford Instruments, Великобритания). Содержания петрогенных оксидов были определены методом РФА по схеме НСАМ ВИМС 439-РС на вакуумном спектрометре последовательного действия (модель Axios mAX Advanced производства PANalytical, Нидерланды) в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (аналитик А.И. Якушев). Концентрации микроэлементов были определены методом ИСП-АЭС (атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, Iris Intrepid Duo II XDL (Thermo Electron Corp., США) в Аналитическом центре ГЕОХИ РАН (Москва).

Наши наблюдения показывают, что заметная часть «скарнированных дунитов» представляют собой магматические дуниты, оливин которых Fo 82–87 с 0.15–0.40% Ni и до 0.1% CaO в той или иной степени замещён, частично по сети микротрещин, более магнезиальным оливином до почти чистого форстерита Fo 89–99 с 0–0.15% Ni и до 1% CaO.

Новообразованный форстерит с 0.9 %CaO содержит тончайшие ламели распада монтichelлита, которыми ранее была объяснена совершенная отдельность оливина [Bailau et al., 2008]. Ламели в большинстве образцов преобразуются в отдельные кристаллы. Отмечается рассеянная вкрапленность пентландита, который весьма богат железом и беден кобальтом $(\text{Fe}_{5.7}\text{Ni}_{3.1}\text{Co}_{0.2})\text{S}_8$.

Проведено сравнение составов незатронутого форстеритизацией дунита и существенно форстеритизированного, мас. %: SiO₂ 40.5 и 39.5; Cr₂O₃ 0.55 и 0.60; TiO₂ 0.07 и 0.02; Al₂O₃ 2.20 и 0.70; FeO 12.5 и 11.8; MnO 0.20 и 0.18; MgO 41.5 и 46.0; CaO 1.55 и 0.55; Na₂O 0.12 и следы, K₂O 0.05 и 0.01; P₂O₅ 0.01 и следы; г/т: Ni 3340 и 2085; Co 160 и 155; V 43.0 и 22.2; Zn 105 и 78.5; Pb 10.30 и 3.95; Ba 53.0 и 21.0; Sr 56.9 и 6.0; Rb 2.30 и 0.55; Li 17.5 и 3.35; Zr 6.40 и 1.45; Sc 8.3 и 4.3; Y 2.14 и 0.55; сумма REE 9.55 и 0.85.

В юго-западном направлении интрузива ксенолиты доломитов постепенно исчезают. Считается, что здесь вещество доломитов поглощено расплавом и возникли контаминированные дуниты [Кислов, 1998;

Пушкарев и др., 2004; Wenzel et al., 2002; Арискин и др., 2013]. Однако, оценка температуры образования минералов этих пород отвечает 850 °С [Wenzel et al., 2002]. Это на сотни градусов ниже температуры формирования дунитов Йоко-Довыренского массива – 1250 °С. В составе «контаминированных дунитов» оливин гораздо более магнезиальный и значительно обедненный Ni по сравнению с оливином магматических дунитов Йоко-Довыренского плутона, содержатся фассаит и шпинель с большим содержанием Al_2O_3 , что вовсе не характерно для ортомагматических пород данного интрузива [Кислов, 1998; Wenzel et al., 2002; Арискин и др., 2013].

Изученный нами идиоморфный оливин дунитов состава Fo 82–87 с 0.15–0.40% Ni и до 0.1% CaO – исходный, магматический. Его замещение прожилковым форстеритом Fo 89–99 с 0–0.15% Ni и до 1% CaO отражает метасоматический, скарновый процесс. Ламели монтичеллита образуются в результате распада твердого раствора высококальциевого новообразованного форстерита.

Рассеянная вкрапленность высоконикелистого пентландита сформировалась за счёт сброшенного при процессе замещения никелистого магматического оливина низконикелистым метасоматическим форстеритом. Он ассоциирует с метаморфогенно-гидротермальным Cr-магнетитом.

Сравнение составов исходного магматического дунита и аподунитовых форстеритовых эндоскарнов показало, что концентрации Si, Cr, Mn, Co почти не изменились. Существенен привнос Mg. Содержания большинства других химических элементов заметно снизилось: в 1.5 раза – Ni, Zn; в 2 раза – V, Pb, Ba, Sc; в 3 раза – Al, Ti, Ca, Y; в 4–6 раз – K, Rb, Li, Zr; в 8 раз – Sr; лантанидов более, чем на порядок – в 11 раз. То есть произошёл вынос большинства химических элементов при привносе только магния.

Таким образом, установлен процесс форстеритизации дунитов с образованием своеобразных высокомагнезиальных эндоскарнов. Оливин – хризолит Fo 82–87 замещается обогащенным кальцием хризолитом Fo 88–89 и далее форстеритом Fo 90–99. Скарновый форстерит беден никелем. Наиболее магнезиальный форстерит обеднён кальцием. Очевидно, это вызвано распадом твердого раствора. Новообразованный обогащенный кальцием форстерит во многих участках в результате превратился в матрицу форстерита с системой тонких параллельных ламелей монтичеллита. Сам монтичеллит – малостойкий минерал, в большинстве случаев растворен, что приводит к образованию трещин отдельности. В других случаях он перекристаллизовывается с формированием

зёрен монтичеллита. Оценка температуры его образования по составу сосуществующих форстерита и монтичеллита с использованием данных [Warner, Luth, 1973] 860–880 °С.

Выводы. В эндоконтакте дунитов Йоко-Довыренского расслоенного массива основного-ультрасосновного состава развиты своеобразные высокомагнезиальные форстеритовые эндоскарны. Новообразованный форстерит обогащен магнием, кальцием и обеднен никелем. В процессе распада твердого раствора образуются ламели монтичеллита. При сбросе никеля образуется высоконикелстый пентландит. В ходе процесса скарнообразования произошел привнос магния из доломитов с выносом большинства элементов.

Авторы искренне признательны Э.М. Спиридонову за постановку проблемы и помощь в работе, аналитику Е.В. Гусевой за помощь в проведении микронзондовых анализов. Исследование выполнено в рамках государственных заданий ГИН СО РАН АААА-А21-121011390003-9 и ГЕОХИ РАН с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арискин А.А., Костицын Ю.А., Конников Э.Г., Меффре С., Николаев Г.С., Мак-Нил Э., Кислов Е.В., Орсов Д.А. Геохронология Довыренского интрузивного комплекса в неопротерозое (Северное Прибайкалье, Россия) // Геохимия. 2013. № 11. С. 955–1052.
2. Гурулёв С.А. Геология и условия формирования Йоко-Довыренского габбро-перидотитового массива. М.: Наука, 1965. 122 с.
3. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1998. 265 с.
4. Перцев Н.Н., Шабынин Л.И. Скарновые, карбонатные и бруситовые ксенолиты Йоко-Довыренского массива. В: Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузиях. М.: Наука, 1979. С. 85–96.
5. Перцев Н.Н., Шабынин Л.И., Конников Э.Г., Кислов Е.В., Орсов Д.А., Некрасов А.Н. Магнезиальные скарны мервинитовой фации из ксенолитов в дунитах Довыренского массива // Петрология. 2003. Т. 11. № 5. С. 512–523.
6. Пушкарев Е.В., Вотяков С.Л., Чащухин И.С., Кислов Е.В. Оливин-хромшпинелевая окситермобарометрия ультрамафитов Йоко-Довыренского расслоенного массива // Доклады РАН. 2004. Т. 395. № 1. С. 108–112.
7. Пушкарев Е.В., Кислов Е.В. Высокохромистые

- скарны Йоко-Довыренского массива (Северное Прибайкалье). Материалы всероссийской научной конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Вып. 5. Т. II. Томск: ЦНТИ, 2005. С. 392–395.
8. Спиридонов Э.М., Арискин А.А., Кислов Е.В., Орсов Д.А., Николаев Г.С., Япаскурт В.О. Лаурит и иридий осмий в плагиоклазовых лерцолитах низов гипербазит-базитового Йоко-Довыренского интрузива в байкалидах Северного Прибайкалья // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60. № 3. С. 1–10.
9. Bailau R., Pertsev N.N., Kislov E.V., Galuskin E.V. Olivine with perfect cleavage from Yoko-Dovyren massif, Russia // *Mineralogia – Special Papers*. 2008. V. 32. P. 41.
10. Kislov E.V., Kamenetsky V.S., Vanteev V.V. Yoko-Dovyren massif, Irkutsk LIP: genesis of chromitites. Abstract volume of the 7 International Conference “Large Igneous Provinces through Earth history: mantle plumes, supercontinents, climate change, metallogeny and oil-gas, planetary analogues”. Tomsk: CSTI Publishing house, 2019. P. 66–68.
11. Kislov E.V., Khudyakova L.I. Yoko–Dovyren Layered Massif: Composition, Mineralization, Overburden and Dump Rock Utilization // *Minerals*. 2020. V. 10. P. 682.
12. Warner R.R., Luth W.C. Two-phase data for the join monticellite (CaMgSiO_4)–forsterite (Mg_2SiO_4): Experimental results // *Amer. Mineral.* 1973. V. 58. P. 998–1008.
13. Wenzel T., Baumgartner L.P., Brüggman G.E., Konnikov E.G., Kislov E.V. Partial melting and assimilation of dolomitic xenoliths by mafic magma: Ioko-Dovyren intrusion (North Baikal Region, Russia) // *J. Petrol.* 2002. V. 43. P. 2049–2074.