

Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. LIP printing: use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record // *Lithos*. 2021. Vol. 392–393.

Sylvester P.J. Post-collisional strongly peraluminous granites // *Lithos*. 1998. Vol. 45. P. 29–44.

И.Р. Прокопьев, А.Г. Дорошкевич

Институт геологии и минералогии

им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

prokop@igm.nsc.ru

Включения в редкометальных карбонатитах массива Средняя Зима (Восточный Саян)

I.R. Prokopyev, A.G. Doroshkevich

Sobolev Institute of Geology and

Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Inclusions in rare metal carbonatites of Srednyaya Zima complex (Eastern Sayan)

Abstract. Polycrystalline inclusions in zircon characterize the composition of melts of ore-bearing carbonatites of the Srednyaya Zima complex, Eastern Sayan. According to the study of inclusions, the carbonatite melt had an alkali-silicate-carbonate composition with high Ca, Na, Mg, Fe, CO₂, OH, F, Cl content and higher Sr, Ba, Ti, Al, Si, Nb, U, Ta, and Zr content. The phosphate-carbonate composition of polycrystalline inclusions in pyroxene of the Srednyaya Zima phlogopite rocks indicate that the ore-bearing apatite-calcite-phlogopite rocks probably formed during the interaction of carbonatites with the host silicate rocks. The hydrothermal Ba-Sr-REE mineralization formed from saline carbonate and alkaline (Na) fluids at the minimum mineral formation temperature range of 340–415 °C.

Введение. В неопротерозое на рубеже порядка 650–630 млн лет вдоль южной окраины Сибирского кратона происходило внедрение целого ряда редкометальных щелочно-карбонатитовых комплексов, таких как Белая Зима, Средняя Зима, Большая Тагна, Жидой, Веселое, Пограничное, Арбарастах и Ингили, образование которых связывают с эпохой проявления крупномасштабного внутриплитного магматизма и тектоническими событиями завершающего этапа распада суперконтинента Родиния [Ярмолук и др., 2005].

Щелочно-карбонатитовый массив Средняя Зима входит в состав Зиминского рудного района, расположенного в Восточном Саяне, в бассейне левых притоков р. Зима. Зиминский рудный район представляет собой потенциально промышленный объект на редкие металлы, такие как Ta, Nb, U и REE, а также содержит повышенные концентрации Pb, Zn и P [Пожирицкая, Самойлов, 1972; Фролов и др., 2003]. Большая часть массива Средняя Зима сложена редкометальными карбонатитами. Выделяют несколько разновидностей, сформировавшихся в последовательности: кальцитовые – доломит-кальцитовые – анкеритовые карбонатиты. Пироксениты, мельтейгиты, ийолиты и нефелиновые сиениты на эрозионном срезе присутствуют в подчиненном количестве. Карбонатиты образуют дайки и линейно-вытянутые тела. Также в строении массива участвуют рудоносные на Zr, P и REE апатит-кальцит-флогопитовые породы (метасоматиты), образующиеся на контакте карбонатитов с вмещающими метаморфическими породами (гнейсы, сланцы и др.).

Целью исследования является изучение минерального состава и физико-химических условий формирования рудоносных карбонатитов и метасоматитов массива Средняя Зима.

При исследовании использованы методы оптической микроскопии (Olympus BX51), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ TESCAN с ЭДС приставкой MIRA 3LMU), термометрии (Linkam THMSG-600) и рамановской спектроскопии (LabRam HR800 Horiba Jobin Yvon; Raman WiTec).

Результаты исследований. Кальцитовые карбонатиты массива Средняя Зима имеют мелко-среднезернистую структуру, массивную и, местами, линейную текстуру. Основной породообразующий минерал – кальцит (90–95 об. %). К второстепенным (5–7 об. %) относятся биотит (3–4 об. %), фторапатит, нефелин, ильменит, а также вторичные полевые шпаты – альбит с калиевым полевым шпатом, хлорит, скаполит, карбонаты, фторкарбонаты, фосфаты РЗЭ (бастнезит-Се, монацит-Се и др.) и цеолиты. Сульфиды представлены пиритом и галенитом (1 об. %). Акцессорные минералы (до 1 об. %) – пирохлор, циркон, бурбанкит, магнетит, рутил, титанит, стронцианит и барит.

В цирконе кальцитовых карбонатитов установлены поликристаллические включения двух типов (рис. а–в). Первый тип включений имеет преимущественно карбонатный состав (рис. а, б). Во включениях присутствует микрозернистый агрегат кальцита, содержащего до 0.91 мас. % SrO. Карбонатная фаза также представлена стронцианитом, баритокальцитом и/или доломитом. По данным СЭМ в ней присутствует примесь Na₂O до 0.2 мас. %. Наряду с карбонатами включения первого типа вмещают Nb-содержащие рудные минеральные фазы в виде кристаллов уранпирохлора (?) и/или колумбита (?).

Второй тип включений в цирконе представлен поликристаллическим агрегатом карбонатно-силикатного состава (рис. в). Кристаллические фазы включений содержат зерна фторапатита, клинопироксена, флогопита, кальцита и рудной Nb-содержащей фазы – минерала группы пирохлора (?). В апатите и флогопите кальцитовых карбонатитов также установлены концентрированные кристалло-флюидные вторичные включения, локализованные по плоскостям и трещинам в минерале-хозяине. Газовая фаза включений содержит углекислоту. Дочерние кристаллические фазы (30–40 об. % включения) по данным рамановской спектроскопии представлены кальцитом, гидроксилбастнезитом-(Се) и тенардитом. Также во включениях присутствуют непрозрачные рудные фазы. Термометрические исследования включений показали температурный интервал гомогенизации 340–415 °С.

Минеральные и поликристаллические включения были изучены в клинопироксене рудоносных апатит-кальцит-флогопитовых пород массива Средняя Зима (рис. а–л). Породы имеют массивную, порфиловую структуру. Зерна апатита и клинопироксена погружены в матрицу карбонат-флогопитового состава. Рудные фазы представлены кристаллами циркона и гидротермальной минерализацией, содержащей прожилки и микрозернистые агрегаты карбонатов, фторкарбонатов, гидрокарбонатов и фосфатов ЛРЗЭ (бастнезит-Се, монацит-Се, анкилит-Се и др.). В породе также присутствуют стронцианит и барит. Ва-Sr-РЗЭ минерализация метасоматитов сходна по минеральным парагенезисам с РЗЭ минерализацией кальцитовых карбонатитов, и, скорее всего, отражает единый процесс преобразования карбонатитов и метасоматитов на гидротермальном этапе. В эгирине карбонат-флогопитовых пород идентифицированы поликристаллические включения карбонатного (кальцитового) и апатит-кальцитового состава (рис. з–к).

Выводы. Поликристаллические включения в цирконе характеризуют состав расплавов рудоносных карбонатитов массива Средняя Зима. Согласно результатам изучения включений, расплав имел щелочно-силикатно-карбонатный состав с высокими содержаниями Са, Na, Mg, Fe, CO₂, OH, F, Cl и повышенными концентрациями Sr, Ba, Ti, Al, Si, Nb, U, Ta и Zr. Необходимо отметить, что минеральный состав включений практически тождественен или коррелирует с данными по изучению расплавных поликристаллических включений в силикокарбонатитах неопротерозойского массива Арбарастах [Прокопьев et al., 2021], которые в

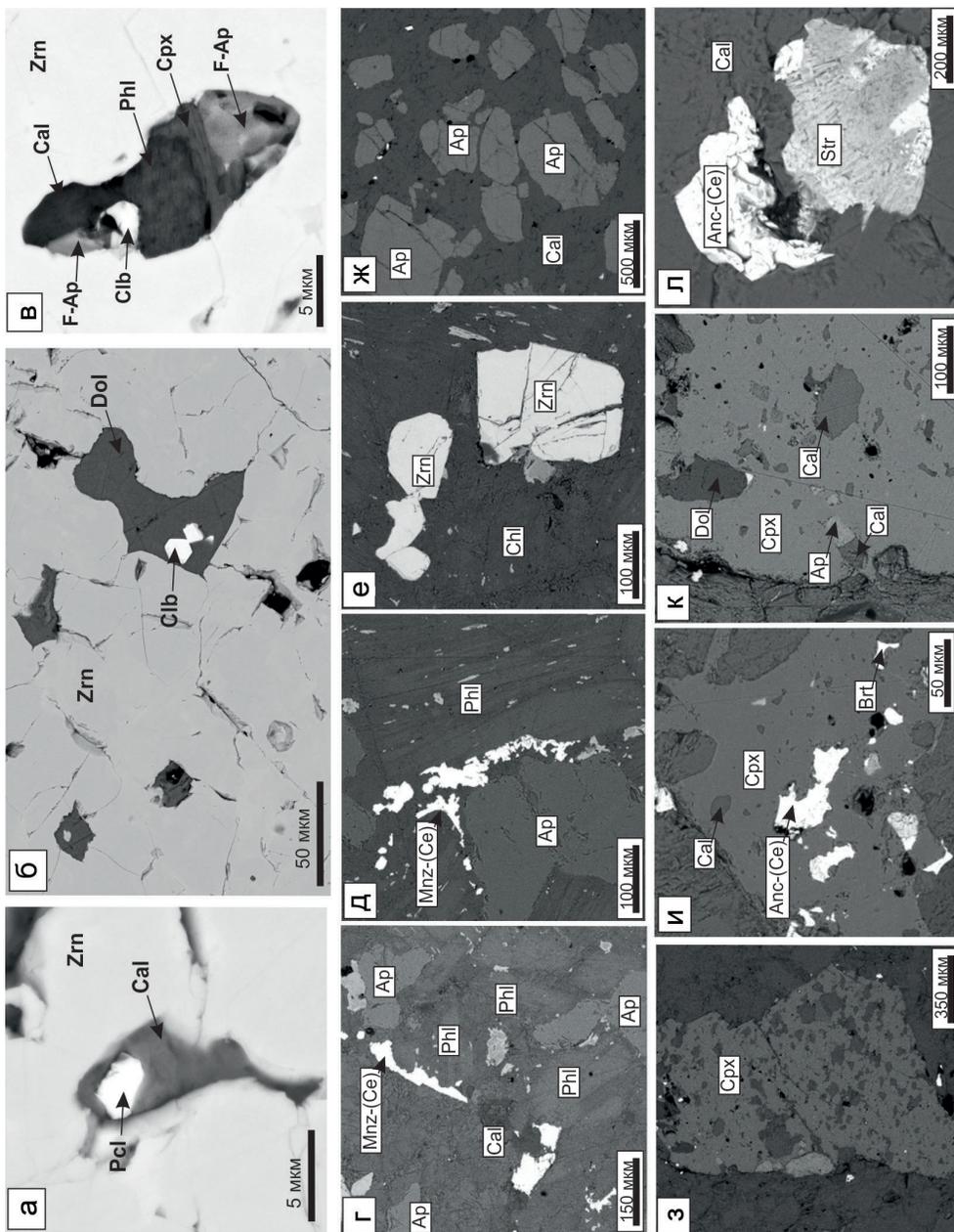


Рис. Результаты СЭМ исследования минерального состава включений в цирконе карбонатитов (а-в), а также минеральных включений рудоносных апатит-кальцит-флогопитовых метасоматитов (г-л) массива Средняя Зима. Аббревиатуры минералов указаны согласно [Wang, 2021].

различной степени метасоматизированы вплоть до образования рудоносных флогопитов, сходных по минеральному составу с пироксен-карбонат-флогопитовыми породами массива Средняя Зима.

Учитывая фосфатно-карбонатный состав поликристаллических включений в пироксене флогопитовых пород Средней Зимы, можно предположить, что апатит-карбонатно-флогопитовые породы образовались по сходному механизму формирования кальциокарбонатитов комплекса Арбарастах – при взаимодействии карбонатитов с вмещающими силикатными по-

родами. Наложенная гидротермальная Ba-Sr-P3Э минерализация карбонатитов и метасоматитов, вероятно, образовалась из концентрированных карбонатных и щелочных (Na) флюидов в минимальном интервале температур минералообразования 340–415 °С.

Исследования выполнены за счет средств гранта РФФ № 23-17-00098.

Литература

Пожарицкая Л.К., Самойлов В.С. Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири. М.: Наука, 1972. 268 с.

Фролов А.А., Толстов А.Р., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России. М.: НИИ Природа, 2003. 287 с.

Ярмлюк В.В., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Никифоров А.В., Котов А.Б., Владыкин Н.В. Позднерифейский рифтогенез и распад Лавразии: данные геохронологических исследований щелочно-ультраосновных комплексов южного обрамления Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 2005. Т. 404. № 3. С. 400–406.

Prokopyev I., Doroshkevich A., Zhumadilova D., Starikova A., Nugumanova Y.N., Vladykin N. Petrogenesis of Zr-Nb (REE) carbonatites from the Arbarastakh complex (Aldan Shield, Russia): mineralogy and inclusion data // Ore Geology Reviews. 2021. Vol. 131. #104042.

Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine. 2021. Vol. 85. P. 291–320.

В.Е. Глушкова¹, И.С. Перетьяжко¹, Е.А. Савина¹, Е.А. Хромова²

¹ – Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
г. Иркутск, Россия
glushkova@igc.irk.ru

² – Геологический институт
им Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Геолого-минералогическая характеристика и условия образования пород пирометаморфических комплексов Монголии

V.E. Glushkova, I.S. Peretyazhko¹, E.A. Savina¹, E.A. Khromova²

¹ – Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

² – Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Geological-mineralogical characteristics and formation conditions of Mongolian combustion metamorphic complexes

Abstract. Mongolian combustion metamorphic (CM) complexes formed from Quaternary to present because of wild coal fires. The rocks in the northeast part of the Khamaryn-Khural-Khiid CM complex are a result of spontaneous combustion coal in synclines. The sedimentary protolith of pyrogenic rocks were probably pelitic rocks and sandstones with carbonate cement. The thickness of CM rocks is >30–40 m; partly melting temperature of sedimentary strata reached 1300–1400 °C reaching, possibly, the stability field of stable β -cristobalite (>1470 °C). Crystallization of some pyrogenic mafic melts (a source of the melilite-nepheline paralavas of the Khamaryn-Khural-Khiid CM complex) began under extremely reducing conditions around 1365 °C with the formation of Fe phosphide (barringerite), native iron and troilite in droplets of the Fe-S-P melt.