МИНЕРАЛОГИЯ ДОЛОМИТОВЫХ КАРБОНАТИТОВ МАССИВА СЕВАТУР, ИНДИЯ

М.В. Рампилова¹, А.Г. Дорошкевич^{1,2}, Ш. Виладкар³¹Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия³Indian Institute of Science Education and Research, Bhopal, India

С карбонатитовыми комплексами связаны месторождения редких (Nb, Ta, Zr и др.), редкоземельных (REE+Y) и радиоактивных элементов, а также месторождения апатита, флюорита, флогопита и др.

На юге Индии расположено большое количество протерозойских (1600–600 млн лет) карбонатитовых комплексов (Севатур, Самалпатти, Джогипатти и др.), локализованных в пределах докембрийских гранулитовых террейнов [1, 3].

Карбонатитовый комплекс Севатур находится в штате Тамил Наду, Индия и включает в себя доломитовые, кальцитовые и анкеритовые карбонатиты. Наиболее распространены доломитовые карбонатиты, которые слагают тело протяженностью 2 км и приблизительной шириной 200 м в центральной части. Кальцитовые и анкеритовые карбонатиты встречаются в виде даек и тонких жил в доломитовом карбонатите. В северной и западной частях комплекса карбонатит контактирует с пироксенитом, а на южном конце он окружен гранитными гнейсами. В карбонатитах присутствуют ксенолиты сиенитов, гнейсов и пироксенитов.

Доломитовые карбонатиты характеризуются очень низкими отношениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и соответствующими $\epsilon\text{Nd}_{(0)}$ (0,5116–0,5122; -9 до -20) и высокими отношениями изотопов Sr (0,7045–0,7054) [2]. Возраст ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) анкеритовых карбонатитов, составляет 801 ± 11 млн лет [4]. Этот возраст относится к завершающей стадии карбонатитового магматизма, поскольку анкеритовые карбонатиты являются самыми молодыми породами комплекса.

Доломитовые карбонатиты имеют преимущественно средне- и крупнозернистую структуру, реже – порфиоровую. На некоторых участках наблюдается магматическая полосчатость обусловленная чередованием полос, сложенных натриевым амфиболом, натриевым пироксенитом, флогопитом, апатитом, магнетитом и пироксеном.

Доломит является основным карбонатным минералом. В нем содержится железо (3–5 мас. % FeO) и марганец (до 1,2 мас. % MnO), содержание стронция меньше, чем в кальците.

Кальцит образовался позже доломита и занимает интерстициальное положение между зернами доломита. Нередко содержит включения доломита, а также небольшие включения норсетита, барита, стронцианита, баритокальцита, бенстонита и кальциобурбанкита (рис. 1). В кальците установлены повышенные содержания SrO (2 мас. %), MgO (0,5–5 мас. %) и небольшое количество FeO (0,5–1,3 мас.%) и MnO (до 1 мас. %), иногда встречается BaO (1,21 мас. %).

Норсетит ($\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$) обнаружен в виде небольших (до 50 μm) выделений внутри зерен кальцита (рис. 1b). Он содержит CaO (1,4–6,63 мас. %) и FeO (0,5–1,2 мас. %), в некоторых случаях SrO (до 0,9 мас. %).

Стронцианит ассоциирует с баритокальцитом (рис. 1). В нем установлены CaO, BaO и иногда MgO, FeO.

Баритокальцит ($\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$) содержит MgO (до 3 мас. %) и SrO (2–6 мас. %).

Бенстонит ($\text{Ba}_6\text{Ca}_6\text{Mg}(\text{CO}_3)_{13}$) образует небольшие (до 10 μm , рис. 1) включения внутри зерен кальцита. Он характеризуется варьирующими концентрациями BaO, CaO, MgO и SrO. Вариация состава бенстонита может быть выражена формулой: $(\text{Ba}_{3,8-5,16}\text{Sr}_{0-1,09}\text{Mg}_{0-1,87})(\text{Ca}_{2,53-6}\text{Mg}_{0-3,47})(\text{Mg}_{0,54-1,78}\text{Fe}_{0-0,31})[\text{CO}_3]_{13}$. Между барием и кальцием, кальцием и магнием, стронцием и магнием существует отрицательная корреляция (коэффициент корреляции -0,83, -0,71 и -0,72 соответственно). Такие значения в бенстоните означают, что существует сильная отрицательная корреляция между этими элементами, т.е. если концентрации бария, кальция и стронция увеличиваются, то кальций, магний уменьшаются.

Кальциобурбанкит ($\text{Na}_3(\text{Ca},\text{REE},\text{Sr})_3(\text{CO}_3)_5$) образует небольшие (до 30 μm , рис. 1) включения в кальците и ассоциирует с монацитом, бенстонитом, норсетитом и баритом. Он характе-

ризуется варьирующей концентрацией Na_2O , BaO , SrO , CaO , TR_2O_3 . Формулы кальциобурбанкита могут быть выражены как: $(\text{Na}_{0,69-2,33}\text{Ca}_{0,67-2,09})(\text{Sr}_{0,59-1,31}\text{LREE}_{0,8-1,28}\text{Ba}_{0,17-0,39})[\text{CO}_3]_5$.

Рис. 1. Включения доломита, норсетита, барита, стронцианита, баритокальцита, бенстонита и кальциобурбанкита в кальците из карбонатитов Севатура. (а) Первичный кальцит (Cal) и флогопит (Phl) в доломите (Dol). (b-f). Включения норсетита (Nor), доломита (Dol), барита (Brt), стронцианита (Str), баритокальцита (Brt-Cal), бенстонита (Ben), кальциобурбанкита (Bur) и монацита (Mnz) в кальците (Cal)

Барит образует две генерации. Первая (барит I) – представлена мелкими включениями в кальците (рис. 1). Вторая генерация (барит II) образует в кальците каймы и микротрещины. Составы этих генераций значимо не отличаются.

Фторапатит образует призматические кристаллы в доломите. Во нем присутствуют включения кальцита, флогопита и пироклора (рис. 2). Минерал обогащен стронцием (до 1,6 мас. % SrO).

Монацит-(Ce) образует кайму вокруг призматических кристаллов апатита (рис. 2), содержит CaO (до 2 мас. %).

Амфибол относится к высокомагнезиальному (19,70–23,48 мас. % MgO) рихтериту с содержанием Na_2O (до 5,88 мас. %) и CaO (6,18–9,02 мас. %). Он образует единичные зерна в доломите и ассоциирует с апатитом, магнетитом.

Флогопит содержит F (до 2,3 мас. %) и FeO (до 7,3 мас. %). Низкое содержание K_2O в нем компенсируется киношталитовым компонентом (до 4,33 мас. % BaO). Вариации состава Si, Al, K и Ba указывают на то, что основная обменная реакция - это $\text{Ba} + \text{Al} \leftrightarrow \text{K} + \text{Si}$.

Магнетит встречается в виде двух генераций. Магнетит первой генерации (магнетит I) встречается в виде изометричных зерен в кальците и доломите. Он содержит включения амфибола, апатита и доломита. Магнетит II образует микропрожилки в апатите и амфиболе. Однако разные генерации магнетита не различаются по своему составу.

Пироклор присутствует в доломите наряду с апатитом, а также иногда содержит включения апатита (рис. 2). Пироклор относится к гидропироклору $(\text{H}_2\text{O}, \square)_2\text{Nb}_2(\text{O}, \text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})$. В нем отмечается высокое содержание урана (16-19,5 мас. % UO_2) и бария (до 11,5 мас. % BaO).

Рис. 2. (a-c) Ассоциация апатита (Ap), флогопита (Phl) и пироклора (Pcl) в доломите (Dol). (d-f) Зерна монацита (Mnz) вокруг апатита (Ap). Cal - кальцит, Brt - барит, Amp - амфибол

Норсетит, барит I, стронцианит, баритокальцит, бенстонит и кальциобурбанкит были впервые обнаружены в карбонатитовом комплексе Севатур. Эти минералы образуют редкие включения в магматическом кальците. Предполагается, что они образуются в результате распада «протокарбоната». Присутствие этих минералов предполагает обогащение карбонатитового расплава Na в дополнение к Sr, Ba и LREE. Наличие флогопита с киношталитовым миналом свидетельствует о присутствии Ba в карбонатитовой магме.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГМ СО РАН (0330-2016-0002) и ГИН СО РАН (AAAA-A21-121011390002-2), а также при поддержке РФФ, грант 19-17-00019.

Литература

1. Grady J.C. Deep main faults in South India // Jour. Geol. Soc. India. 1971. Vol. 12. P. 56-62.
2. Pandit M.K., Sial A.N., Sukumaran G.B., Pimentel M.M., Ramasamy A.K., Ferreira V.P. Depleted and enriched mantle sources for Paleo- and Neoproterozoic carbonatites of southern India: Sr, Nd, C–O isotopic and geochemical constraints // Chemical Geology. 2002. Vol. 189. P. 69-89.
3. Randive K., Meshram T. An Overview of the Carbonatites from the Indian Subcontinent // Open Geosciences. 2020. Vol. 12. P. 85-116.
4. Schleicher H., Todt W., Viladkar S. G., Schmidt F. Pb/Pb age determinations on Newania and Sevathur carbonatites of India: evidence for multi-stage histories // Chemical Geology. 1997. Vol. 140. P. 261-273.