

Выводы

1. Присутствие магматических карбонатов в оливинах из мафурита и угандита вулканического поля Буньярунгуру Западной ветви Восточно-Африканского рифта, свидетельствуют о равновесии ультракалийевых магм с первичными карбонатитовыми расплавами при P-T параметрах их образования. Рассчитанный исходный состав расплавного включения в оливине из угандита соответствует карбонатитам.
2. Оценка фугитивности кислорода оливин-шпинелевого равновесия показала, что кристаллизация вкрапленников мафурита проходила в относительно окисленных условиях при парциальном давлении кислорода на 1-1,5 логарифмические единицы превышающем буфер «кварц-фаялит-магнетит» в широком температурном интервале (1230-775°C).
3. Обнаруженные баритовые и доломит-баритовые включения в высокомагнезиальном оливине мафурита указывают на присутствие сульфатной формы серы в метасоматизирующем флюиде, характерной для окислительной обстановки. Происхождение двухфазных включений связано с карбонат-сульфатной несмесимостью.

Литература

1. Lee W. Wyllie P. J. Liquid immiscibility between nephelinite and carbonatite from 1.0 to 2.5 GPa compared with mantle melt compositions. //Contrib Mineral Petrol. 1997 vol.127, p.1-16
2. Mysen, B.O., Egger, D.H., Seitz, M.G., Holloway, J.R. Carbondioxide in silicate melts and crystals. Part I : Solubility measurements. //1976, Am. J. Sci. vol. 276, p. 455-479.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ИЗОТОПНЫЕ СОСТАВЫ КАРБОНАТИТОВ И МИАСКИТОВ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЦЕССОВ СИЛИКАТНО-КАРБОНАТНОЙ НЕСМЕСИМОСТИ И ФЛЮИДНО-РАСПЛАВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (ИЛЬМЕНО-ВИШНЕВОГОРСКИЙ ЩЕЛОЧНОЙ КОМПЛЕКС, Ю. УРАЛ)

Недосекова И.Л.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, nedosekova@igg.uran.ru

Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (ИВК) имеют ряд особенностей геологии и геохимии, отличающих их от кольцевых комплексов щелочно-ультраосновной формации (УЩК), что явилось причиной продолжительной дискуссии о правомерности отнесения эндогенных карбонатных пород ИВК к карбонатитам [2, 4, 7, 5, 6, 10 и др.]. Наиболее дискуссионным вопросом в проблеме карбонатитообразования ИВК является пространственная и генетическая связь карбонатных пород ИВК с нефелиновыми сиенитами и зонами фенитизации вне традиционных для УЩК серий щелочно-ультраосновных магматитов и, как следствие, вопрос родоначальных магм для ИВК. Предметом дискуссии является также механизм формирования карбонатных жил ИВК, отличающийся отсутствием отчетливо выраженных геологических признаков магматического происхождения, широким распространением карбонатитов в виде жильных тел, штокверков, метасоматических зон, зависимостью состава карбонатитов от состава вмещающих пород. Особенностью ИВК является несколько иной характер геохимической эволюции карбонатитообразующих расплавов-флюидов по сравнению с карбонатитами УЩК. Одним из ключевых вопросов генезиса карбонатитов ИВК является роль процессов силикатно-карбонатной несмесимости и роль флюидов в карбонатитообразовании.

Нами получены новые петрохимические, геохимические (метод ICP-MS) и Sr-Nd изотопные данные для карбонатитов и миаскитов ИВК, свидетельствующие о возможности их формирования в результате силикатно-карбонатной несмесимости и значительной роли флюидов в процессах карбонатитообразования в ИВК. Изучены карбонатиты Вишневогорского миаскитового массива, Булдымского ультрабазитового массива, а также карбонатиты Потанинского месторождения Центральной щелочной полосы (ЦЩП).

Карбонатиты, залегающие в миаскитах Вишневогорского массива, представлены ранними сёвитами I и поздними сёвитами II. Сёвиты I образуют пластообразные и жильные тела протяженностью в сотни метров и мощностью до 10 м, залегающие согласно полосчатости миаскитов и контактам миаскитовой интрузии. Сёвиты I – массивные и брекчиевидные разности кальцитового состава, содержат перемещенные округлые включения миаскитов и миаскит-пегматитов и минералы миаскитов – нефелин, калиевый полевоый шпат, биотит, а также акцессорные гатчеттолит, красно-бурый пироксид, циркон, ильменит, апатит, магнетит, пирротин, пирит. Сёвиты II образуют гнёзда и жилы в телах ранних карбонатитов и в миаскитах, иногда пересекают брекчиевидные карбонатиты. Сёвиты II содержат биотит, апатит, красный пироксид, циркон, ильменит, пирротин, пирит.

Карбонатиты в экзоконтактовом ореоле миаскитовых массивов – в фенитах, гипербазитах, кристаллосланцах, а также в фенитах ЦЩП образуют штокверки, жильные тела выполнения и метасоматические зоны. Ранние доломит-кальцитовые карбонатиты Булдымского массива (сёвиты III) содержат тетраферрифлогопит, рихтерит и акцессорные пироксид, циркон, магнетит, ильменит, пирротин, пирит. Поздние доломитовые карбонатиты (бефорситы IV) содержат редкоземельную акцессорные минерализацию – монацит, эшинит, REE-пироксид, ортит, а также флогопит (или хлорит), винчит, апатит, магнетит, ильменит, циркон.

Химические составы карбонатитов ИВК иллюстрируются на рис. 1. Карбонатиты Вишневогорского массива и ЦЩП имеют составы кальциокарбонатитов (сёвитов), формируя на диаграмме единые поля, различающиеся для ранних и поздних карбонатитов. Для сёвитов I отмечаются и составы феррокарбонатитов, что связано с железосодержащими фазами (ильменитом, пирротином, пиритом), но не с составом карбонатов. Сёвиты I отличаются от сёвитов II более высокими содержаниями MgO, Al₂O₃, SiO₂. Для сёвитов II характерны повышенные содержания MnO. Карбонатиты Булдымского массива образуют на диаграмме отдельные поля составов – ранних сёвитов III и поздних доломитовых карбонатитов – бефорситов IV.

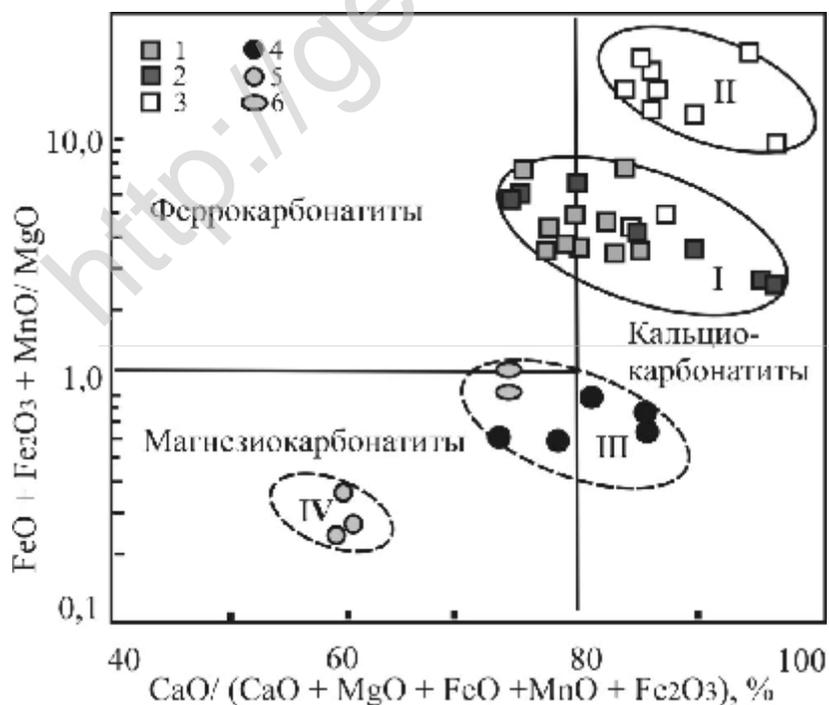


Рис.1. Составы карбонатитов ИВК (мас.%) на классификационной диаграмме по [15]. Для построения диаграммы, кроме наших данных, использованы опубликованные анализы карбонатитов ИВК, содержащих не более 12% SiO₂ [Левин и др., 1997]. 1–2 – сёвиты I (соответственно Потанинское и Вишневогорское месторождения); 3 – сёвиты II (Потанинское месторождение); 4–5 – соответственно сёвиты III и бефорситы IV (Булдымский массив).

По содержаниям редких элементов все разновидности карбонатов ИВК сопоставимы со среднемировыми составами кальцио- и магниокарбонатов [15].

Они имеют высокие концентрации Sr (11000–23000), Ba (300–3000), \sum REE (1500–3200) и значительные вариации Nb (до 1500), Zr (до 40), V (до 135), Th (до 1400), (г/т).

Сёвиты I Вишневогорского массива имеют высокие, но меньшие по сравнению с сёвитами II, концентрации Sr (11670–12340 г/т), Ba (550–660 г/т), REE (1500–1610 г/т), характерные для высокотемпературных разновидностей карбонатов [3]. Отношение Nb/Ta = 11–98 (в среднем 43) близко отношению Nb/Ta в магматических карбонатах. Отношение Sr/Ba = 17–21 достаточно высокое, что характерно для высокотемпературных глубинных фаций карбонатов в отличие от вулканических карбонатов, где Sr/Ba=1,2–2,6 [8]. Значения $^{*}Eu/Eu = 0,96–0,91$ в сёвитах I близки к миаскитовым, что подтверждает их принадлежность к ранним высокотемпературным дифференциатам миаскитовых магм.

Сёвиты II Вишневогорского массива имеют максимальные содержания Sr (16500–21980 г/т) и REE (2900–3210 г/т) при высоких индикаторных отношениях Nb/Ta (582–1310), Sr/Ba (78) и в них отмечается некоторое снижение $^{*}Eu/Eu$ (до 0,75), что характерно для более поздних высокотемпературных членов карбонатитовых серий [9].

Сёвиты III Булдымского массива имеют близкие содержания Sr и более высокие – Nb, REE, Mn, HREE (низкое La/Yb=18–37), относительно сёвитов I Вишневогорского массива. Бефорситы IV Булдымского массива имеют максимальные содержания REE (до 48000г/т) и Th (до 1400 г/т), концентрируя их в виде самостоятельных фаз – монацита и эшинита. Содержания Sr, Ba и Nb в них ниже при максимальных значениях и вариациях Nb/Ta, Zr/Hf и Sr/Ba, LREE/HREE, что характерно для низкотемпературных членов карбонатитовых серий.

Таким образом, от ранних к поздним карбонатам ИВК происходит накопление Sr, REE, Nb; увеличение индикаторных отношений LREE/HREE (от 9–15 до 25), Nb/Ta (от 11–166 до 2230–1300) и уменьшение Zr/Hf (от 92 до 3) и $^{*}Eu/Eu$ (от 1 до 0,6). Установленные закономерности поведения редких элементов в процессах карбонатитообразования в ИВК, в целом, соответствует трендам формирования и эволюции карбонатитовых магм, установленных в комплексах УЩК [8].

При этом, по сравнению с карбонатами УЩК, карбонаты ИВК имеют более высокие содержания Sr в ранних разновидностях, и, как следствие, отсутствие собственных минералов Sr в поздних низкотемпературных карбонатах; пониженные содержания Ba, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf и некоторую обогащенность HREE (низкое La/Yb). Эти особенности отмечены и в других карбонатитовых комплексах формации нефелиновых сиенитов и линейно-трещинных зон [1].

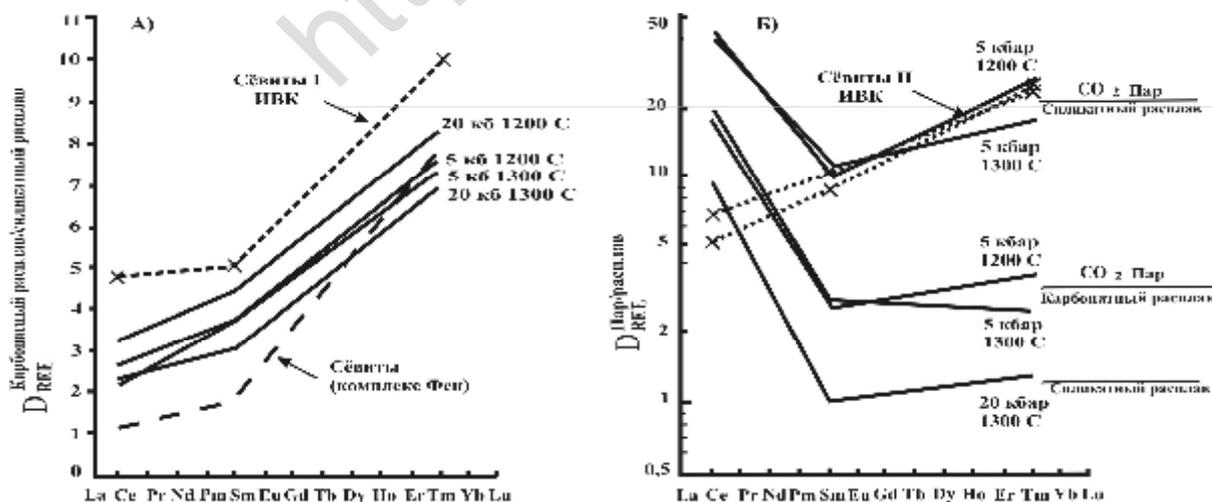


Рис. 2. Парциальные коэффициенты для REE (D_{REE}) между сёвитами I, II и миаскитами ИВК, а также между: а) сосуществующими карбонатным и силикатным расплавом; б) между силикатным (и карбонатным) расплавом и CO₂ паром [14].

Коэффициенты распределения ($D_{\text{карбонатный расплав/силикатный расплав}}$) для REE, Sr, Zr, Hf, Nb, Ta между сёвитами I и миаскитами Вишневогорского массива соответствуют экспериментально определенным D при силикатно-карбонатной жидкостной несмесимости для фонолитовых расплавов при 5 кбар [13, 14] (рис. 2А). Сёвиты II и карбонатиты в экзоконтактах миаскитового интрузива имеют более высокие D , которые близки коэффициентам разделения между карбонатным флюидом и силикатным расплавом (рис. 2Б), что свидетельствует о значительной роли щелочно-карбонатного флюида при формировании карбонатитов ИВК.

Sr–Nd изотопные данные для карбонатитов и миаскитов Вишневогорского массива показали близость их изотопных параметров: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = 0.70356\text{--}0.70361$ и $\epsilon_{\text{Nd}} = +2.9\text{--}(+4,7)$ – в карбонатитах; $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = 0,70341\text{--}0,70342$ и $\epsilon_{\text{Nd}} = 4,9\text{--}5,5$ – в миаскитах. На диаграмме $\epsilon_{\text{Nd}}\text{--}\epsilon_{\text{Sr}}$, они формируют общее поле значений, что указывает на единый источник их вещества (рис. 3). Карбонатиты Булдымского массива и Жилы 125 формируют группу с более высокими величинами $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = 0.70440\text{--}0.70470$ и отрицательными значениями $\epsilon_{\text{Nd}} = -2.4\text{--}-4.5$, что, возможно, связано с процессами контаминации. Близость изотопных параметров миаскитов и карбонатитов Вишневогорского массива свидетельствует о едином источнике их вещества и фракционировании карбонатитов из миаскитовых магм.

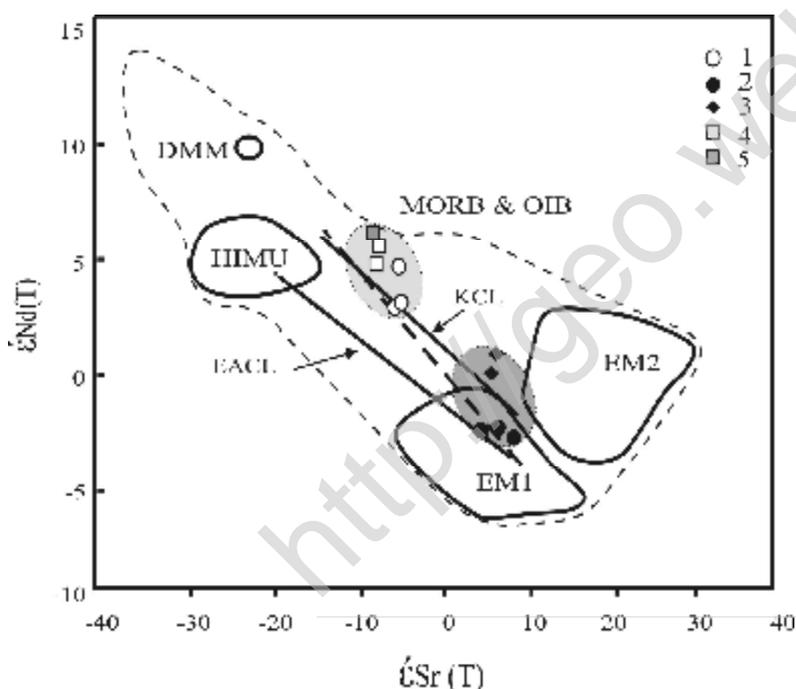


Рис. 3. Диаграмма $\epsilon_{\text{Sr}}(T) - \epsilon_{\text{Nd}}(T)$ для карбонатитов, миаскитов и фенитов ИВК.

Для сравнения на диаграмме показаны линии кольских карбонатитов (KCL) и восточно-африканских карбонатитов (EACL), а также мантийные резервуары DMM, PRIMA, HIMU, EM1, EM2, а также MORB&OIB [11].

- 1 – сёвиты Вишневогорского массива;
- 2–3 –соответственно сёвиты и бейфорситы Булдымского массива;
- 4 – миаскиты Вишневогорского массива;
- 5 – фениты Жилы 125.

Возможность образования карбонатитов ИВК из миаскитовых магм в результате силикатно-карбонатной несмесимости подтверждается положением составов карбонатитов ИВК на диаграмме Фристон–Гамильтона, которая иллюстрирует положение и параметры области несмесимости силикатного и карбонатного расплавов [12]. Точки составов ранних сёвитов ИВК находятся на линии несмесимости при $T = 1000^\circ\text{C}$ и $P = 5$ кбар (рис. 4).

Таким образом, изотопные и геохимические данные свидетельствуют о несколько иной природе карбонатитов ИВК, связанной с процессами дифференциации миаскитовых магм и значительным участием флюидов в процессах карбонатитообразования в отличие от карбонатитов УЩК, которые формировались при дифференциации щелочно-ультраосновных материнских расплавов.

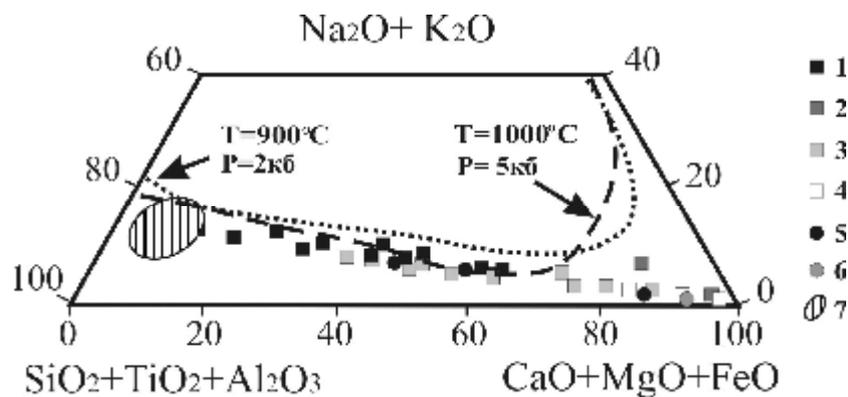


Рис. 4. Составы пород ИВК на диаграмме $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2 - \text{CaO}+\text{MgO}+\text{FeO} - \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$. Для построения диаграммы, кроме наших данных, использованы данные по [6].

1 – сёвит I, 2 – сёвит II (Вишневогорский массив); 3 – сёвит I, 4 – сёвит II (Потанинское месторождение); 5 – сёвит I, 6 – бефорсит II (Булдымский массив); 7 – миаскиты ИВК.

Пунктирная линия – линия разрыва смесимости карбонатных и силикатных расплавов по экспериментальным данным при $T=1000^\circ\text{C}$ и $P=5\text{ кбар}$; точечная линия – линия несмесимости при $T=900^\circ\text{C}$ и $P=2\text{ кбар}$ [12].

Литература

1. Багдасаров Ю.А. О главных петро- и геохимических особенностях карбонатитов линейного типа и условиях их образования // Геохимия. 1990. №8. С. 1108-1119.
2. Багдасаров Ю.А. О полиформационности карбонатитов и объеме термина "карбонатит" // ЗВМО. 1992. N2. С. 110-6.
3. Багдасаров Ю.А. Редкометальный рудный потенциал магматических и гидротермально-метасоматических карбонатитов // Геол. рудн. мест. 1994. Т. 36. №4. С. 326-335.
4. Гинзбург А.И., Самойлов В.С. К проблеме карбонатитов // ЗВМО. 1983. Вып. 2. Ч.112. С. 164-176.
5. Егоров Л.С. О генетической определенности понятия "карбонатит" // ЗВМО. 1990. Вып.1. Ч.119. С. 134-146.
6. Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 274 с.
7. Онтоев Д. О. Что же такое карбонатиты? // ЗВМО, 1985. Вып.4. Ч.114. С. 1465–1469.
8. Самойлов В.С. Геохимия карбонатитов. М.: Наука, 1984. 190 с.
9. Самойлов В.С., Смирнова Е.А. Поведение редкоземельных элементов в процессе карбонатитообразования и некоторые аспекты генезиса карбонатитов // Геохимия. 1980. №12. С. 1844-1858.
10. Соколов С.В. В продолжение дискуссии: что считать карбонатитом? // ЗВМО. 1991. № 5. С. 108-111.
11. Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. V. 385. P. 219-229.
12. Kjarsgaard B.A., Hamilton D.L. The genesis of carbonatites by liquid immiscibility // Carbonatites: genesis and evolution/ ed. K. Bell. London: Union Hyman, 1989. P. 388-404.
13. Veksler V., Petibon C., Jenner G.A., Dorfman A.M., Dingwell D.B. Trace element partitioning in immiscible silicate-carbonate liquid systems: an initial xperimental stady using a centrifuge autoclave // Journ. Petrol. 1998. V. 39. № 11–12. P. 2095-2104.
14. Wendlandt R.F., Harrison W.J. Rare Earth Partitioning Between Immiscible Carbonate and Silicate Liquids and CO_2 Vapor // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. V. 69. № 4. P. 409-419.
15. Wooley A.R., Kempe D.R.C. Carbonatite: nomenclature, average chemical compositions, and element distributions. In Bell K. (ed) Carbonatites: genesis and evolution. London: Unwin Hyman, 1989. P. 1-14.