

УДК 552.331

## ПРОЯВЛЕНИЯ КАРБОНАТИТОВ НА КВАРЦЕВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ “ЖИЛА № 175” (УФАЛЕЙСКИЙ БЛОК, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2017 г. Л. Я. Кабанова, В. Н. Анфилогов, М. А. Игуменцева, Н. К. Никандрова

*Институт минералогии УрО РАН, 456317, Челябинская обл., г. Миасс, e-mail: kablar@mineralogy.ru*

Поступила в редакцию 17.02.2016 г.; принята к печати 12.08.2016 г.

В статье приведены результаты исследования проявлений карбонатитов на месторождении жильного кварца “Жила № 175”. Установлено, что образование карбонатитов предшествовало отложению жильного кварца. Кварцевая жила унаследовала тектоническую структуру, которая контролировала отложение карбонатного материала. Благодаря этому в ней сохранились фрагменты тел карбонатитов, наблюдаемых на всем протяжении. Установлено, что карбонатиты жилы № 175 отличаются от таковых Вишневогорского щелочного комплекса низким содержанием характерных для карбонатитов редкометалльных минералов: пирохлора, циркона, колумбита, эшенита и монацита.

**Ключевые слова:** карбонатит, кварцевая жила, амфиболит, кальцит, доломит, редкометалльные элементы

## CARBONATITE SHOWS ON THE QUARTZ DEPOSITS “VEIN 175” (UFALEI BLOCK, THE SOUTHERN URALS)

Larisa Y. Kabanova, Vsevolod N. Anfilogov, Mariya A. Igumentseva, Nadezhda K. Nikandrova

*Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS, Miass town Chelyabinsk region, 456317, Russia, e-mail: kablar@mineralogy.ru*

Received 17.02.2016; accepted 12.08.2016

The subject of the study are manifestations of carbonatites in the quartz deposit “Vein № 175” – the largest deposit of granular quartz of Ufaiei block in the Southern Urals. In the vein № 175 new outcrops of carbonatites are described; thin sections, plates and polished sections from 58 selected samples are made. Mineralogical and petrographic analysis of carbonatites and host rocks was carried out using Axiolab ZS and Olympus BX 51 polarization microscopes with digital prefixes. The total mineral composition was determined by X-ray diffraction analysis. Fluid inclusions were studied in a Linkam THMSG-600 microcooler using the Olympus BX 51-52 microscope and the LinkSistem 32 DVNS software. It was established that the deposition of vein quartz preceded to the formation of carbonatites. The quartz vein inherited a tectonic structure which controlled the deposition of carbonate material. The fragments of carbonatite bodies are observed throughout the quartz veins, where they have been preserved. It is established that the carbonatites of the “Vein 175” differ from the carbonatites of the Vishnevogorsk alkaline complex by a low content of rare metal minerals characteristic of carbonatites: pyrochlore, zircon, columbite, eshenite and monazite. It is obvious that the source of rare-metal minerals in the carbonatites of the Vishneve Mountains, as well as in the magmatic carbonatites of zonal massifs with ultrabasic alkaline complexes, is the substance from which the alkaline rocks were formed. Carbonate rocks of these complexes concentrate rare-metal minerals and have the mantle spectrum of rare and rare-earth elements in their composition. The source of the carbonate material of “Veins № 175” can be sedimentary carbonates lying at the base of the crystalline basement. The absence of rare-metal minerals in the carbonatites confirm this thesis.

**Keywords:** quartz deposit, carbonatite, quartz vein, calcite, dolomite, rare metal elements

### ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные проявления карбонатитов, связанных с нефелиновыми сиенитами и миаскитами, обнаруженные на Урале, принципиально отличаются от классических магматических карбо-

натитов, представленных зональными массивами, ассоциирующими с щелочными ультраосновными комплексами [Жабин, 1959; Гинзбург, Эпштейн, 1968; Пятенко, Сапрыкина, 1976; Гинзбург, Самойлов, 1983; Пятенко, Осокин, 1988; Багдасаров, 1990]. После продолжительной дискуссии они бы-

**Для цитирования:** Кабанова Л.Я., Анфилогов В.Н., Игуменцева М.А., Никандрова Н.К. (2017) Проявления карбонатитов на кварцевом месторождении “Жила № 175” (Уфалейский блок, Южный Урал). *Литосфера*, 17(4). 110-119. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-110-119

**For citation:** Kabanova L.Y., Anfilogov V.N., Igumentseva M.A., Nikandrova N.K. (2017) Carbonatite shows on the quartz deposits “Vein 175” (Ufaiei block, the Southern Urals). *Litosfera*, 17(4), 110-119. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-110-119

ли выделены в формацию “карбонатитов, связанных с нефелиновыми сиенитами и линейными зонами щелочных метасоматитов” [Владыкин, 2006]. Уральские карбонатиты изучали многие исследователи [Helgeson et al., 1978; Поляков, Недосекова, 1990; Левин и др., 1997; Макагонов и др., 2003; Попов, 2006; Складаров и др., 2013]. В последние годы опубликован ряд работ И.Л. Недосековой с соавторами, в которых на основании геохимических данных делается вывод о мантийной природе карбонатитов [Недосекова, 2004; Недосекова и др., 2006]. С этим выводом не согласен К.С. Иванов, который считает, что источником карбонатного материала в уральских карбонатитах являются мраморы, выходы которых прослеживаются в виде узкой полосы от Екатеринбургa до Миасса [Иванов, 2011].

Несмотря на продолжительную дискуссию о природе карбонатитов, отнесение карбонатно-силикатных пород к категории карбонатитов остается спорным [Когарко и др., 2004; Рипп и др., 2004; Ласточкин и др., 2006]. Наряду с карбонатитами, имеющими непосредственную связь со щелочными магматическими породами, на Урале обнаружены проявления карбонатных пород, которые, по мнению авторов, также следует считать карбонатитами [Попов, 2008; Попов, Губин, 2010; Кориневский, Кориневский, 2013]. Чтобы не возвращаться к дискуссии, мы предлагаем относить к карбонатитам *карбонатно-силикатные породы, вещество которых перемещено из области генерации к месту их залегания карбонатными расплавами или флюидами*. Такое определение позволяет исключить из категории карбонатитов метаморфические и метасоматические породы, образованные на месте их залегания.

Карбонатиты, не имеющие непосредственной связи со щелочными породами, были обнаружены в 1988 г. А.И. Белковским в карьере кварцевой жилы № 175, расположенном юго-западнее пос. Слюдорудник. В работе “Геология и минералогия кварцевых жил...” [2011] он дал подробное описание минералогии карбонатитов. Жила № 175 является самым крупным месторождением гранулированного кварца в Уфалейском блоке. Она имеет размеры более 300 м по простиранию, свыше 200 м по падению и до 9 м по мощности [Поленов, 2008]. Карбонатиты в виде фрагментов тел присутствуют в осевой части кварцевой жилы на всем ее протяжении. В южной части месторождения выходы карбонатитов наблюдаются в амфиболитах, залегающих в приконтактной зоне жилы.

И.Л. Недосекова выполнила изотопные исследования фрагментов карбонатных жил, на основании которых она пришла к выводу, что первичные отношения стронция и неодима в них находятся в интервале, типичном для пород с мантийным источником, близким ЕМ1 [Недосекова, Прибавкин, 2009]. Эти отношения рассчитаны на возраст

345 млн лет. Изотопные отношения в кальцитах и доломитах рассматриваются как первичные, исходя из низких величин Rb/Sr отношений. Однако Sr-Nd-C-O изотопный состав карбонатных жил отличается от такового мантийных источников низким значением  $\epsilon$  Nd. Кроме того, в карбонатитовых жилах наблюдается обратный тренд дифференциации РЗЭ [Недосекова, Прибавкин, 2009], не характерный для мантийных карбонатитов, что позволяет допустить иной генезис этих пород.

Несмотря на ряд исследований, выполненных по карбонатитам жилы № 175, некоторые вопросы, связанные с взаимоотношениями карбонатитов с кварцем, остаются неясными. В связи с этим мы провели дополнительные исследования. В карьере жилы № 175 мы описали новые выходы карбонатитов, выявили характер их взаимоотношений с вмещающими породами и кварцем, изучили флюидные включения в кварце, полевых шпатах и апатите (табл. 1). **Минералого-петрографический анализ карбонатитов и вмещающих пород осуществляли с помощью поляризационных микроскопов Axiolab ZS и Olympus BX 51 с цифровыми приставками.** Валовый минеральный состав определяли методом рентгеноструктурного анализа (рентгеноструктурный дифрактометр Shimadzu XRD-6000, аналитик Е.Д. Зенович). Флюидные включения рассматривали в микротермокамере Linkam THMSG-600 с использованием микроскопа Olympus BX 51-52 и программного обеспечения Link-Sistem 32 DVNS (лаборатория термобарогеохимии, ЮУрГУ, г. Миасс).

В статье приняты следующие обозначения минералов: *Ab* – альбит, *Act* – актинолит, *Amf* – амфибол, *Anc* – анкерит, *Ap* – апатит, *Bt* – биотит, *Ca* – кальцит, *Chl* – хлорит, *Do* – доломит, *Ep* – эпидот, *fPhl* – железистый флогопит, *Ilm* – ильменит, *Mic* – микроклин, *Mt* – магнетит, *Mus* – мусковит, *Ol* – оливин, *Or* – ортоклаз, *Ort* – ортит, *Pchl* – пироксид, *Phl* – флогопит, *Pi* – пирит, *Pl* – плагиоклаз, *Px* – пироксен, *Qtz* – кварц, *Rut* – рутил, *Ser* – серицит, *Ti* – титанит, *Tl* – тальк, *Zo* – цоизит.

**Таблица 1.** Результаты исследований флюидных включений в апатите

**Table 1.** The results of studies of fluid inclusions in apatite

Образец	Тип ФВ	$T_{\text{гом}}$ , °C	Количество ФВ
175-15/8	В	155–201	5
	ПВ	203–280	17
	ПВ	281–331	5

Примечание. ФВ – флюидные включения: первично-вторичные (ПВ), – вторичные (В);  $T_{\text{гом}}$  – температура гомогенизации в жидкую фазу.

Note. ФВ – Fluid inclusions: primary-secondary (ПВ), secondary (В);  $T_{\text{гом}}$  – temperature of homogenisation.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ЖИЛЫ № 175

В восточном борту карьера в осевой части кварцевой жилы на всем ее протяжении присутствуют фрагменты кальцитовых карбонатитов. Они имеют средне- и крупнозернистую структуру, сложенную зернами кальцита размером от 4.0–5.0 мм до 1.0–1.5 см. Содержание кальцита в разных частях жил колеблется от 85 до 97%. Наиболее часто в ассоциации с кальцитом встречаются слюды и амфиболы, реже пироксен, ортит, титанит, эпидот, цоизит, пироклор, рутил. Слюда представлена пластинками, табличками и чешуйками флогопита и биотита, местами замещенного мусковитом размером от 0.1 до 1.0–3.0 мм. Слюда окрашена в темно-зеленый цвет и в шлифах интенсивно плеохроирует до соломенно-желтого. Ее содержание увеличивается в краевых частях фрагментов на контакте с кварцем. Амфибол наблюдается в зернах удлиненной формы зеленого цвета, разной интенсивности окраски с отчетливым плеохроизмом. По составу амфибол соответствует гастингситу или обыкновенной роговой обманке. Зерна расположены в жилах беспорядочно, иногда содержание увеличивается в центре жилы. Встречаются редкие включения пироклора и ортита. Пироклор наблюдается в виде изометрических зерен, окрашенных в темно-коричневый цвет, изотропных, с отчетливой плеохроичной каймой. Ортит встречается в виде призматических и неправильных зерен красно-бурого с примесью желтоватого цвета, часто зонально окрашенных.

В кварцевом теле присутствуют также реликтовые линзовидные слои полностью измененного карбонатизированного амфиболита мощностью до 2–3 мм. Кальцит в них представлен зернами ромбовидной, чаще неправильной формы размером от 1–2 до 5–6 мм, с отчетливо проявленной совершенной спайностью и полисинтетическими двойниками. Содержание его в слоежке варьирует от 50–60 до 20–30%. Отмечаются пластинки и таблички темно-зеленой резко плеохроирующей слюды – фенгита, часто замещенного хлоритом, и участки, в которых наблюдаются скопления мелкочешуйчатого талька. Часто они находятся в ассоциации с эпидотом, титанитом и кварцем.

Кроме кальцитовых карбонатитов в кварцевом теле встречаются фрагменты карбонатитов с повышенным (до 50%) содержанием темноцветных минералов: биотита или флогопита, фенгита, амфибола (обыкновенной роговой обманки, рихтерита, актинолита), иногда пироксена и аксессуарных минералов (титанита, рутила, апатита, пирита). Карбонатиты этой разновидности отличаются густой окраской с преобладанием темно-зеленых тонов. Гастингсит наблюдается в форме коротко-

длиннопризматических и неправильной формы зерен размером до 3–5 мм, интенсивно окрашенных в зеленый цвет с желтым или коричневым оттенками, с резким плеохроизмом. Имеет включения кальцита и кварца. Пироксен представлен крупными удлиненно-призматическими кристаллами и неправильными зернами эгирин-авгита размером до 6–8 мм. Под микроскопом окрашен в голубовато-зеленый цвет, резко плеохроирует. Минеральный состав кальцитовых карбонатитов приведен на рис. 1.

Форма фрагментов карбонатита в осевой части кварцевой жилы, представленная на рис. 2, свидетельствует о том, что они представляют собой реликты, которые первоначально находились в ином материале, впоследствии замещенном кварцем. Взаимоотношения жильного кварца и кальцита показаны на рис. 3. Нетрудно видеть, что ни кварц, ни кальцит друг друга не замещают. Нередко встречаются каймы, сложенные амфиболом, содержащим включения кальцита и кварца.

В западном борту южной части карьера в приконтактной зоне кварцевого тела вскрыты небольшие тела карбонатитов, залегающих в амфиболитах (рис. 4). Карбонатиты представлены серией тонких жилок и линзовидных прослоев мощностью до 10–15 см, протяженностью до 2 м. Западный контакт карбонатитов с вмещающими амфи-

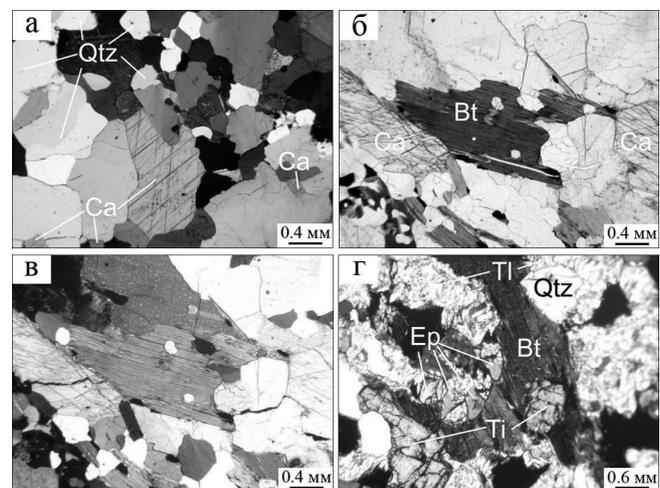


Рис. 1. Состав карбонатитов.

а – контакт карбонатита и кварца; б, в – биотит, кальцит, кварц, амфибол, апатит; г – скопления талька в ассоциации с кварцем, эпидотом и титанитом. Фото шлифа 175-14/19. а, в, г – без анализатора, б – с анализатором.

Fig. 1. Composition of carbonatites.

Contact of carbonatite and quartz (a); crystals of biotite, calcite, amphibole and apatite (б, в); talc with quartz, epidote and titanite (г). Photo of section. а, в, г – without analyser; б – with analyser.

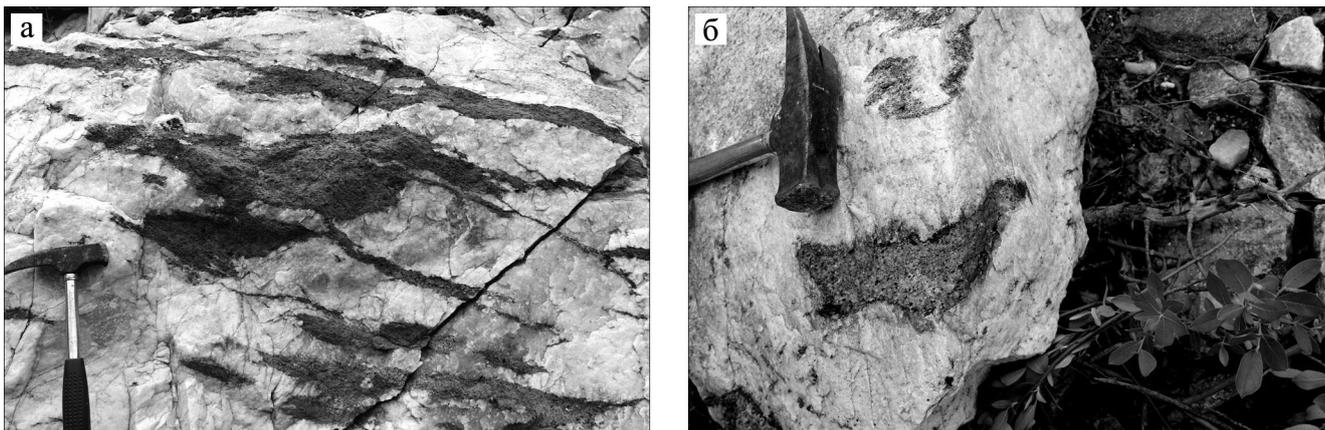


Рис. 2. Карбонатит в кварцевой жиле (а) и фрагмент карбонатита в кварце (б).

Fig. 2. Carbonatite in an axial zone of the quartz vein (a); fragments of carbonatite in the quartz (б).

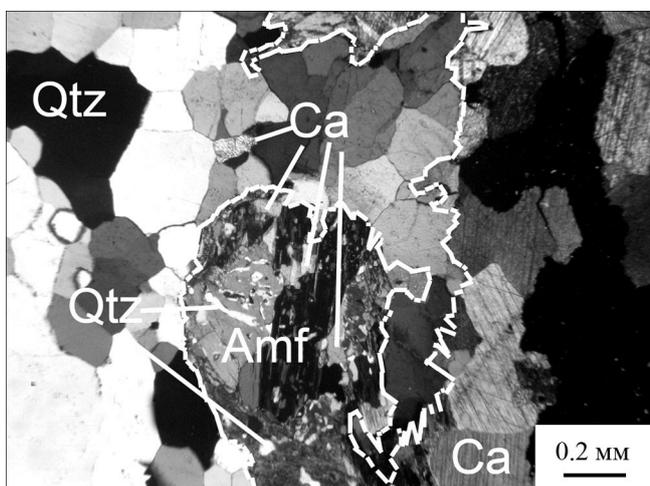


Рис. 3. Контакт карбонатита и кварца.

Фотография шлифа с анализатором.

Fig. 3. Contact of carbonatite and quartz.

Section with analyzer.

болитами резкий, подчеркнутый зоной амфиболита темно-серого, почти черного, цвета, сложенной ассоциацией амфибола, биотита, магнетита, местами граната. В нижней части обнажения наблюдается цепочка кристаллов апатита размером до 3–5 см.

Прослои карбонатита в центральных частях сложены преимущественно зернами кальцита размером от 0.5–5.0 мм до 1.0–1.2 см, реже анкерита и небольшим количеством флогопита и мусковита (4%). Рудный минерал представлен ильменитом, ильменорутилом и не превышает 1% объема породы. Карбонатиты имеют крупно- и среднезернистую гипидиоморфнозернистую структуру и массивную текстуру. Кальцит в шлифах выра-

жен зернами сложной формы, часто с зубчатыми и ступенчатыми границами, с совершенной спайностью и полисинтетическими двойниками. Зерна анкерита обладают ромбоздрической формой или образуют тонкозернистые агрегаты, обычно с бурыми железистыми пленками на поверхности зерен. Некоторые зерна интенсивно деформированы, часто по трещинам деформации и трещинам спайности развиваются микродрузовые “щетки” магнетита и (или) ильменита. Взаимоотношения кальцита и амфибола представлены на рис. 5. Нетрудно видеть, что кальцит образуется по амфиболиту, замещая зерна этого минерала. Вместе с кальцитом в амфиболе присутствует кварц, который также развивается по амфиболу.

Кальцитовые карбонатиты независимо от мощности жил характеризуются ассоциацией из достаточно большого количества минералов. Темноцветные минералы представлены амфиболом (рихтеритом, гастингситом, паргаситом, актинолитом, тремолитом), пироксеном (авгитом, диопсидом, геденбергитом), слюдами (биотитом, флогопитом, мусковитом). Среди аксессуарных минералов преобладают апатиты (фтор- и гидроксилapatит), часто встречаются титанит, монацит, рутил, ильменорутил и рудные минералы – пирит, халькопирит, пентландит, борнит, ильменит, гематит, реже перовскит. Второстепенные минералы встречаются не повсеместно, они представлены волластонитом, скаполитом, турмалином; вторичные – лейкоксеном, серицитом, альбитом, хлоритом, пумпеллитом.

Контактные зоны кварца и карбонатитов всегда обогащены биотитом, в них часто встречаются кристаллы апатита размером от нескольких миллиметров до 5–6 см (см. рис. 5). Карбонатитовые жилы сложены крупно- и среднекристаллическими зернами кальцита и доломита размером

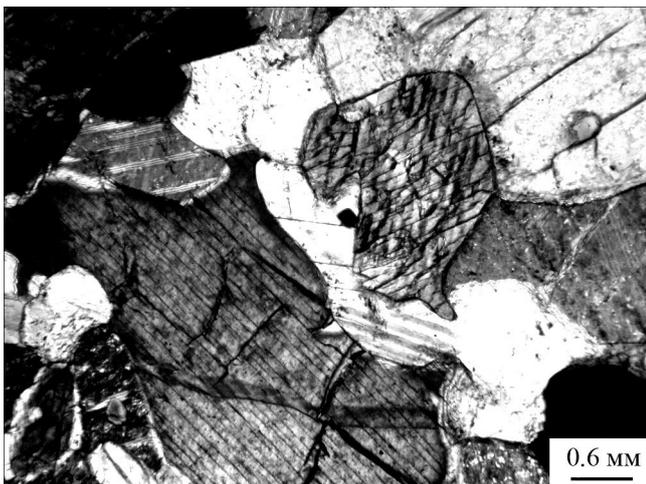


**Рис. 4.** Линейные тела карбонатита в амфиболите.

а – в основании зона обогащенная слюдой и апатитом; б – в центре включение апатита.

**Fig. 4.** Linear bodies of carbonatite in amphibolites.

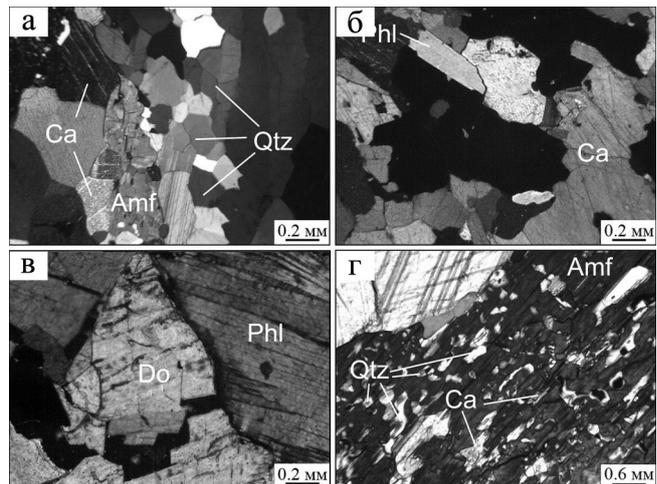
а – zone enriched by mica and apatite on the base of show; б – inclusion of apatite.



**Рис. 5.** Контакт карбонатита с амфиболитом.

**Fig. 5.** Contact of calcite carbonatite and amphibolite.

от 2–3 мм до 1 см. В шлифах зерна кальцита характеризуются различной формой с совершенной спайностью по ромбоэдру и полисинтетическими двойниками (рис. 6а). Зерна доломита в шлифе имеют ромбоэдрические очертания (рис. 6б, в), часто встречаются зерна с искривленными гранями ромбоэдра. Кальцит в шлифах преобладает, составляя 70–80% объема шлифа, на долю доломита приходится 10–15%, встречаются редкие зерна анкерита (рис. 6г). Амфибол представлен рихтеритом и актинолитом, наблюдаются зерна гастингсита (5–7%) и местами – диопсид. Слюды в породе расположены неравномерно, обычно отмечаются скопления пластинок и чешуек биотита и флогопита в



**Рис. 6.** Доломит-кальцитовый карбонатит.

а – контакт карбонатита с кварцевой жилкой; б – флогопит-кальцитовая ассоциация, в центре зерно пентландита; в – ромбоидальное зерно доломита; г – симплектиты кальцит-кварц-амфиболового состава. Фото шлифа 175-15/5. С анализатором.

**Fig. 6.** Dolomite-calcite carbonatite.

Contact of carbonatite and quartz vein (a); phlogopite-calcite association and pentlandite grain in the center: crystal of dolomite (б); rhomboidal dolomite (в); calcite-quartz-amphibole symplectite (г). Section with analyzer.

краевых частях жилков. Местами присутствует мусковит. Суммарное содержание слюд в породе не превышает 2–3%. Акцессорные – титанит, апатит и рутил – и рудные минералы обычно приурочены к скоплениям темноцветных минералов. Рудные минералы представлены титаномагнетитом, магне-

титом, пиритом, халькопиритом, пентландитом и гематитом. Среди вторичных минералов обычны пренит, серицит, гематитом, эпидот, пумпеллиит.

Геологическая позиция, характер взаимоотношений карбонатитов с амфиболитами и их минералогический состав позволяют выделить по составу три вида карбонатитов: кальцитовые, анкерит-кальцитовые и доломит-кальцитовые. Среди последних встречаются более поздние существенно доломитовые и кальцитовые карбонатиты. Главными породообразующими минералами в карбонатитах являются кальцит, доломит и анкерит. Темноцветные минералы представлены амфиболами – рихтеритом и гастингситом. В карбонатитах отчетливо проявлены метаморфические преобразования. Частичная перекристаллизация карбонатитов сопровождается переотложением кальцита и доломита, образованием альбитового ореола вокруг карбонатитовых поздних жилков, возникновением апатитовых скоплений и новообразованных минералов, очищением первичных минералов от примесей. Новообразованные минералы представлены флогопитом, биотитом, фенгитом, альбитом, актинолитом, микроклином, гранатом, тремолитом, хлоритом, тальком. Распространены они неравномерно. Количество таких минералов не превышает 2–3%, в отдельных местах достигает 5–7%. Тальк развивается преимущественно по доломиту, альбит формирует ореолы вокруг тонких кальцитовых и доломитовых карбонатитовых жилков.

Слюды и вторичные амфиболы (актинолит и тремолит) образуют единичные выделения, чаще скопления в краевых частях карбонатитовых жил. Хлорит обычно вместе со слюдами, амфиболами, эпидотом и цоизитом создает отчетливую зональность в карбонатитах. Как правило, к этим участкам приурочены и рудные минералы. Встречаются и прожилки хлорит-кварцевого состава. Гранат приурочен к контактам с вмещающими амфиболитами. Щелочные амфиболы – гастингсит и рихтерит, имеющие кальциево-натриевый состав, замещаются вторичными амфиболами, тремолитом и актинолитом кальциево-магниевого состава, иногда ферроактинолитом.

#### ТЕМПЕРАТУРЫ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Интервал температур, в котором формировались карбонатит и кварц, определен методом гомогенизации газовой-жидких включений (ГЖВ).

*Характеристика ГЖВ в апатите:* 1 – крупные удлиненные с изрезанными краями, местами – с ровными (рис. 7а), образующие ленты (рис. 7б), газовые пузырьки занимают объем от 10 до 15%,  $T_{\text{гом}} = 206\text{--}279^\circ\text{C}$ ; 2 – включения в форме отрицательных кристаллов с элементами ровных границ, с размерами 6–14 мкм (рис. 7в, г).

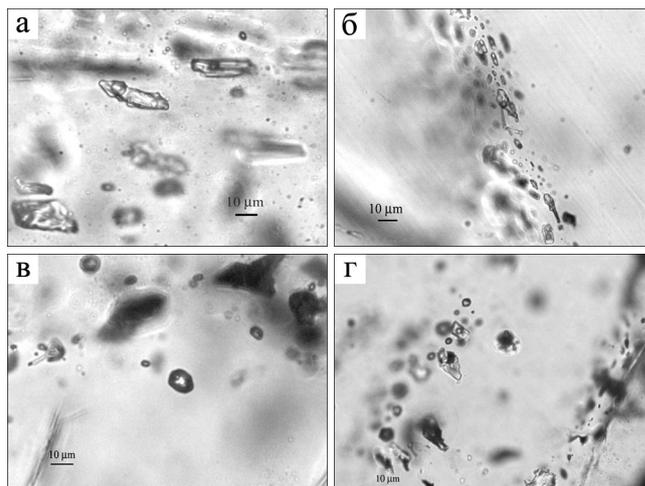


Рис. 7. ГЖВ в апатите.

Fig. 7. Fluid inclusions in apatite.

Результаты определения криотермометрических параметров ГЖВ в кварце приведены в табл. 2. Приведенные данные свидетельствуют о том, что отложение карбонатного материала и кварца происходило из докритических водных растворов при одинаковых  $P$ - $T$  условиях.

#### ГЕНЕЗИС КАРБОНАТИТОВ И КВАРЦА ЖИЛЫ № 175

Дискуссию о природе карбонатитов уральского типа [Helgeson, 1978; Поляков, Недосекова, 1990; Левин и др., 1997; Макагонов и др., 2003; Недосекова, 2004; Недосекова и др., 2006; Попов, 2006; Иванов, 2011; Скляр, 2013], по-видимому, нельзя считать законченной, и статья К.С. Иванова [Иванов, 2011] является ее продолжением. Главными предметами дискуссии были и остаются источники карбонатного вещества и редких элементов, а также  $P$ - $T$  условия образования карбонатитов. Следует заметить, что принятое в итоге определение для карбонатитов этого типа как “формации карбонатитов линейно-трещинных зон” [Иванов, 2011] ничего не говорит об их природе. Приведенные в настоящей работе данные дают дополнительную информацию по указанным вопросам.

Карбонатиты жилы № 175 не связаны со щелочными породами. Либо их источником может быть осадочный карбонат, как считает К.С. Иванов, либо они могут возникать при разложении пироксена и амфибола углекислым флюидом, которое происходит при понижении температуры (рис. 8) [Helgeson, 1978]. Небольшие размеры тел карбонатитов на месторождении “Жила № 175” дают основание предположить, что карбонатиты, залегающие в амфиболитах, образовались вторым способом. Относительная обогащенность карбонатита редкоземель-

Таблица 2. Криотермометрические параметры ГЖВ в кварце жилы № 175

Table 2. Cryotermometry parameters of fluid inclusions in quartz veins 175

Тип кварца	№ обр-ца	Тип ФВ	Кол-во включ.	$T_{\text{гом}}$ , °C, от-до	$T_{\text{кр}}$ , °C, от...до	$T_{\text{эвт}}$ , °C, от...до	$T_{\text{пл. льда}}$ , °C	Конц. солей, мас. % экв. NaCl
Гранулированный	13/5	П	2	280–332	–34.4	–33.0	–0.1	0.18
		ПВ	15	137–164	–37.9...–38.1	–36.1...–37.0	–	–
	13/6	ПВ	7	204–271	–	–	–	–
	13/7	ПВ	18	215–254	–37.5...–38.0	–29.7...–36.7	–0.5...–1.3	0.88–2.24
	175-15/18	П	6	290–361	–	–	–	–
ПВ		5	204–281	–	–	–	–	
Зернистый	13/4	П	2	328–349	–41	–37	–0.8...–1.1	1.4–1.91
		ПВ	3	214–267	–37.5...–38.0	–	–1.3	2.24
С реликтами гранито-гнейса	13/3	ПВ	3	260–307	–32	–29	–4.1	6.59
		ПВ	2	203–229	–	–	–	–

Примечание. ФВ – флюидные включения первичные (П), первично-вторичные (ПВ);  $T_{\text{гом}}$  – температура гомогенизации в жидкую фазу,  $T_{\text{эвт}}$  – температура эвтектики;  $T_{\text{пл. льда}}$  – температура плавления льда.

Note. ФВ – fluid inclusions primary (П), primary-secondary (ПВ);  $T_{\text{гом}}$  is the homogenization temperature in the liquid phase,  $T_{\text{эвт}}$  is the temperature of the eutectic;  $T_{\text{пл. льда}}$  – melting point of ice.

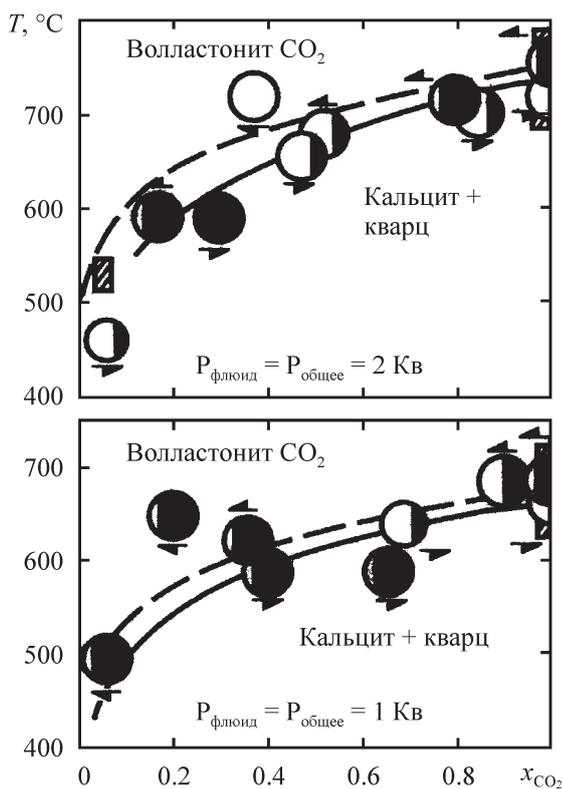


Рис. 8. Поля устойчивости ассоциаций волластонит + CO<sub>2</sub> и кальцит + кварц.

Fig. 8. Fields stability of associations wollastonite + CO<sub>2</sub> and calcite + quartz.

ными минералами объясняется повышенной растворимостью оксидов многовалентных металлов

в щелочном карбонатном флюиде и способностью флюида экстрагировать их из вмещающих пород и не обязательно имеет мантийную природу.

Анализ взаимоотношения кварца с амфиболитами, выполненный нами на примере жилы № 2136, показал, что кварц месторождений Уфалейского блока образуется путем замещения амфиболита [Анфилов и др., 2016]. Процесс замещения начинается с формирования биотита по амфиболу. Последний затем замещается полевым шпатом с появлением кварц-полевошпатового пегматоида, который во внутренней зоне метасоматической колонки замещается кварцем [Анфилов и др., 2016]. Аналогичным образом происходит замещение амфиболита карбонатами. Различия проявляются в том, что вместо биотита возникает флогопит. Исходный амфибол замещается рихтеритом и актинолитом, встречаются зерна гастингсита [5–7%]. Вместо кальцевого полевого шпата образуется альбит.

Процессы появления карбоната и кварца на месторождении сближены по времени и происходят при одинаковой температуре, но отложение карбонатов несколько опережает отложение кварца. Растворимость кальцита и кварца в докритических водных растворах сильно зависит от температуры [Балицкий, 1979; Малинин, 1979]. При наличии в зоне формирования месторождения вертикального градиента температуры, направленного снизу вверх, оба эти минерала будут накапливаться в растворе в области высоких температур и отлагаться из него при понижении температуры. Возможность образования гидротермальных карбонатов рассматривал С.Д. Малинин на основе экспериментального изучения гидротермальных систем с углекислотой [1979].

Карбонатиты месторождения "Жила № 175" отличаются от таковых Вишневогорского щелочного комплекса низким содержанием или полным отсутствием характерных для карбонатитов редкометалльных минералов: пироклора, циркона, колумбита, эшенита и монацита. В связи с этим возникает вопрос о различии источников вещества, из которого формировались карбонатиты Вишневых гор и жилы № 175. Очевидно, что источником редкометалльных минералов в карбонатитах Вишневых гор, как и в магматических карбонатитах зональных массивов с ультраосновными щелочными комплексами, является вещество, из которого формировались щелочные породы.

Карбонатные породы данных комплексов концентрируют эти минералы и образуют близкий к мантинному спектр редких и редкоземельных элементов. Источником карбонатного материала могут быть осадочные карбонаты, залегающие в основании кристаллического фундамента. Отсутствие редкометалльных минералов в карбонатитах жилы № 175 подтверждает предлагаемый тезис. Представляется целесообразным выделить этот тип карбонатитов вместе с карбонатитами Вишневых гор в *формацию гидротермально-метасоматических карбонатитов*.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анфилов В.Н., Кабанова Л.Я., Игуменцева М.А., Никандрова Н.К. (2016) Геологическое строение и генезис кварцевых жил Уфалейского комплекса на примере жилы 2136. *Докл. АН*, **466**(4), 443-446.
- Багдасаров Ю.А. (1990) О главных петро- и геохимических особенностях карбонатитов линейного типа и условиях их образования. *Геохимия*, (8), 1108-1119.
- Балицкий В.С. (1979) Экспериментальное изучение процессов хрусталеобразования. М.: Наука, 144 с.
- Белковский А.И. (2011) Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения (Средний Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 234 с.
- Владыкин Н.В. (2006) Формационные типы карбонатитов, их геохимия и генезис. *Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород*. Миасс: ИМин УрО РАН, 45-52.
- Гинзбург А.И., Самойлов В.С. (1983) К проблеме карбонатитов. *Записки ВМО*, **112**(2), 164-178.
- Гинзбург А.И., Эпштейн Е.М. (1968) Карбонатитовые месторождения. *Генезис эндогенных месторождений*. М.: Недра, 152-212.
- Жабин А.Г. (1959) О новом типе карбонатитовых проявлений в связи со щелочным комплексом Вишневых-Ильменских гор на Урале. *Докл. АН СССР*, **128**(5), 1020-1022.
- Иванов К.С. (2011) О природе карбонатитов Урала. *Литосфера*, (1), 20-33.
- Когарко Л.Н., Курат Г., Нтафлос Т. (2004) Карбонатитовый метасоматоз мангии острова Фернандо де Наронья, Бразилия. *Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами. Труды IV междунар. семинара*. Т. 2. Иркутск; Улан-Удэ: Изд-во Института географии СО РАН, 35-55.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. (2013) Новый тип карбонатитов на Урале. *Литосфера*, (3), 110-116.
- Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Дорошкевич А.Г., Бадмацуренов М.В. (2006) Метаморфизм карбонатитов участка Веселый (Северное Забайкалье). *Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами Тр. VI междунар. семинара*. Т. 2. Иркутск; Мирный: Изд-во Института географии СО РАН, 223-240.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселев А.П. (1997) Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 274 с.
- Макагонов Е.П., Баженов А.Г., Вализер Н.И., Новокрещенова Л.Б., Плохих Н.А., Варлаков А.С. (2003) Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива. Миасс: ИМин УрО РАН, 180 с.
- Малинин С.Д. (1979) Физическая химия гидротермальных систем с углекислотой. М.: Наука, 112 с.
- Недосекова И.Л. (2004) Карбонатиты Булдымского массива (минералогия, геохимия и условия образования), Ильмено-Вишневогорский щелочной комплекс, Ю. Урал. *Ежегодник-2003*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 491-500.
- Недосекова И.Л., Прибавкин С.В. (2009) Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса: геохимические и генетические особенности, роль силикатно-карбонатной несмесимости и флюидно-гидротермальных процессов в карбонатитообразовании. *Ежегодник-2008*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156, 166-175.
- Недосекова И.Л., Прибавкин С.В., Серов П.А., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. (2006) Sr-Nd-C-O изотопные данные и геохимия карбонатитов Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса и Куртинской зоны (Ю. Урал). *Ежегодник-2005*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 235-245.
- Поленов Ю.А. (2008) Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 269 с.
- Поляков В.О., Недосекова И.Л. (1990) Минералы апогипербазитовых фенитов и карбонатитов южной части Ильменских гор. Минералы месторождений и зон техногенеза рудных районов Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 6-17.
- Попов В.А. (2006) Карбонатит-пегматиты Ильменских гор. *Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Мат-лы. Всерос. совещ.* Миасс: ИМин УрО РАН, 200-203.
- Попов В.А. (2008) Проблема выявления карбонатитов. *Рудогенез. Мат-лы междунар. науч. конф.* Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 244-248.
- Попов В.А., Губин В.А. (2010) К минералогии карбонатитов и хлоритолитов Маука (Южный Урал). *Уральский минералогический сборник*. № 17. Миасс; Екатеринбург: УрО РАН, 51-56.
- Пятенко И.К., Осокин Е.Д. (1988) Геохимические особенности Контозерского палеовулкана на Кольском полуострове. *Геохимия*, (5), 723-737.
- Пятенко И.К., Сапрыкина Л.Г. (1976) О находке карбонатитовых лав и пирокластитов в палеозойской осадочно-вулканогенной толще района Контозера на Кольском полуострове. *Докл. АН СССР*, **229**(4), 963-966.

Рипп Г.С., Бадмацыренов М.В., Дорошкевич А.Г., Ласточкин Е.И. (2004) Карбонатиты участка Веселый (Северное Забайкалье). *Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами Труды IV междунар. семинара*. Т. 2. Иркутск; Улан-Удэ: Изд-во Института географии СО РАН, 267-292.

Склярв Е.В., Федоровский В.С., Котов А.Б., Лавренчук А.В., Мазукабзов А.М., Старикова А.Е. (2013) Инъекционные карбонатные и силикатно-карбонатные комплексы в коллизионных системах на примере Западного Прибайкалья. *Геотектоника*, (3), 58-77.

Таланцев А.С., Петрова Г.А. (1991) Условия и механизм формирования карбонатитов Ильменогорско-Вишневогорского комплекса. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 70 с.

Helgeson K.C., Delany J.M., Nesbit Y.W., Bird D.K. (1978) Summary and critique of the thermodynamic properties of the rock-forming minerals. *Amer. J. Sci.*, **278A**, 229 p.

## REFERENCES

Anfilogov V.N., Kabanova L.Ya., Igumentseva M.A., Nikandrova N.K. (2016) The geological structure and genesis of quartz veins of the Ufalei complex on the example of veins 2136. *Dokl. Akad. Nauk*, **466**(4), 443-446. (In Russian)

Bagdasarov Yu.A. (1990) On the main petrochemical and geochemical features of carbonatites of linear type and the conditions for their formation. *Geokhimiya*, (8), 1108-1119. (In Russian)

Balitskii V.S. (1979) *Ekspperimental'noe izuchenie protsessov khrustaleobrazovaniya*. [Experimental study of the processes of crystal formation]. Moscow, Nauka Publ., 144 p. (In Russian)

Belkovskii A.I. (2011) *Geologiya i mineralogiya kvartsevykh zhil Kyshtym'skogo mestorozhdeniya (Srednii Ural)* [Geology and mineralogy of quartz veins of the Kyshtym deposit (Middle Urals)]. Miass, IMin UrO RAN, 234 p. (In Russian)

Ginzburg A.I., Epshtein E.M. (1968) Carbonatite deposits. *Genezis endogennykh mestorozhdenii* [Genesis of endogenous deposits]. Moscow, Nedra Publ., 152-212. (In Russian)

Ginzburg A.I., Samoilov B.C. (1983) To problem of carbonatites. *Zapiski VMO*, **112**(2), 164-178. (In Russian)

Helgeson K.S., Delany J.M., Nesbit Y.W., Bird D.K. (1978) Summary and critique of the thermodynamic properties of the rock-forming minerals. *Amer. J. Sci.*, **278A**, 229 p.

Ivanov K.S. (2011) On the nature of the carbonatites of the Urals. *Litosfera*, (1), 20-33. (In Russian)

Kogarko L.N., Kurat G., Ntafflos T. (2004) Carbonatite metasomatism of the mantle of the island of Fernando de Naronha, Brazil. *Glubinnyi magmatizm, ego istochniki i ikh svyaz' s plyumovymi protsessami. Trudy IV Intern. Conference*. Т. 2 [Deep magmatism, its sources and their connection with plume processes. Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Conference. V. 2]. Irkutsk; Ulan-Ude, Institute of Geography Publ., 35-55. (In Russian)

Korinevskii V.G., Korinevskii E.V. (2013). A new type of carbonatites in the Urals. *Litosfera*, (3), 110-116. (In Russian)

Lastochkin E.I., Ripp G.S., Doroshkevich A.G., Badmatyrenov M.V. (2006) Metamorphism of the carbonatites

of the Vesyly (northern Transbaikalia) section. *Glubinnyi magmatizm, ego istochniki i ikh svyaz' s plyumovymi protsessami. Trudy VI Intern. Conference*. Т. 2 [Deep magmatism, its sources and their connection with plume processes. Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conference. V. 2]. Irkutsk; Mirnyi, Institute of Geography Publ., 223-240. (In Russian)

Levin V.Ya., Ronenson B.M., Samkov V.S., Levina I.A., Sergeev N.S., Kiselev A.P. (1997) *Shchelochno-karbonatitovye komplekсы Urala* [Alkaline-carbonatite complexes of the Urals]. Ekaterinburg, Uralsgeolkom Publ., 274 p. (In Russian)

Makagonov E.P., Bazhenov A.G., Valizer N.I., Novokreshchenova L.B., Plohikh N.A., Varlakov A.S. (2003) *Glubinnoe stroenie Il'menogorskogo miaskitovogo massiva* [The deep structure of the Ilmenogorsky miaskite massif]. Miass, IMin UrO RAN, 180 p. (In Russian)

Nedosekova I.L. (2004) Carbonatites of the Buldim Massif (mineralogy, geochemistry and conditions of formation), Ilmeno-Vishnevogorsk Alkaline Complex, the Southern Urals. *Ezhegodnik-2003*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 491-500. (In Russian)

Nedosekova I.L., Pribavkin S.V. (2009) Carbonatites of the Ilmeno-Vishnevogorsky complex: geochemical and genetic features, the role of silicate-carbonate immiscibility and fluid-hydrothermal processes in carbonatite formation. *Ezhegodnik-2008*. Trudy IGG UrO RAN. V. 156, 166-175. (In Russian)

Nedosekova I.L., Pribavkin S.V., Serov P.A., Ronkin Yu.L., Lepihina O.P. (2006). Sr-Nd-C-O isotope data and geochemistry of carbonatites of the Ilmeno-Vishnevogorsk alkaline complex and the Kurtinsky zone (the Southern Urals). *Ezhegodnik-2005*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 235-245. (In Russian)

Polenov Yu.A. (2008) *Endogennye kvartsevo-zhil'nye obrazovaniya Urala* [Endogenous quartz vein formations of the Urals]. Ekaterinburg, UGGU Publ., 269 p. (In Russian)

Polyakov V.O., Nedosekova I.L. (1990) Minerals of apogypersite fenites and carbonatites of the southern part of the Ilmeny Mountains. *Mineraly mestorozhdenii i zon tekhnogeneza rudnykh raionov Urala* [Minerals of deposits and zones of technogenesis of ore regions of the Urals]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 6-17. (In Russian)

Popov V.A. (2006) Carbonatite-pegmatites of the Ilmeny mountains. *Geokhimiya, petrologiya, mineralogiya i genezis shchelochnykh porod. Materialy All-Russian conference* [Geochemistry, petrology, mineralogy and genesis of alkaline rocks. Materials of All-Russia Conference]. Miass, IMin UrO RAN, 200-203. (In Russian)

Popov V.A. (2008) The problem of identifying carbonatites. *Rudogenez. Mater. Mezhdunar. nauchnoi konferentsii* [Ore-genesis. Materials of Intern. Sci. Conf.]. Miass; Ekaterinburg, UrO RAN, 244-248. (In Russian)

Popov V.A., Gubin V.A. (2010) To the mineralogy of carbonatites and chloritrolites of Mauk (the Southern Urals). *Ural'skii mineralogicheskii sbornik*. No 17. Miass; Ekaterinburg, UrO RAN, 51-56.

Pyatenko I.K., Osokin E.D. (1988) Geochemical features of the Contozersky Paleovolcano on the Kola Peninsula. *Geokhimiya*, (5), 723-737. (In Russian)

Pyatenko I.K., Saprykina L.G. (1976) On the discovery of carbonatite lavas and pyroclastites in the Paleozoic sedimentary-volcanogenic stratum of the Kontozero region

- on the Kola Peninsula. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **229**(4), 963-966. (In Russian)
- Ripp G.S., Badmatsyrenov M.V., Doroshkevich A.G., Lastochkin E.I. (2004) Carbonatites of the Veslyy site (Northern Transbaikalia). *Glubinnyi magmatizm, ego istochniki i ikh svyaz' s plyumovymi protsessami. Trudy IV Intern. Conference. T. 2* [Deep magmatism, its sources and their connection with plume processes. Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Conference. V. 2]. Irkutsk; Ulan-Ude, Institute of Geography Publ., 267-292. (In Russian)
- Selyarov E.V., Fedorovskii V.S., Kotov A.B., Lavrenchuk A.V., Mazukabzov A.M., Starikova A.E. (2013) Injection carbonate and silicate-carbonate complexes in collisional systems on the example of the Western Baikal region. *Geotektonika*, (3), 58-77. (In Russian)
- Talantsev A.S., Petrova G.A. (1991) *Usloviya i mekhanizm formirovaniya karbonatitov Il'menogorsko-Vishnevogorskogo kompleksa* [Conditions and Mechanism of Formation of Carbonatites of the Ilmenogorsk-Vishnevogorsk Complex]. Sverdlovsk, IGG UrO AN SSSR, 70 p. (In Russian)
- Vladykin N.V. (2006) Formational types of carbonatites, their geochemistry and genesis. Geochemistry, petrology, mineralogy and genesis of alkaline rocks. *Geohimiya, petrologiya, mineralogiya i genezis shchelochnykh porod* [Geochemistry, petrology, mineralogy and genesis of alkaline rocks]. Miass, IMin UrO RAN, 45-52. (In Russian)
- Zhabin A.G. (1959) On a new type of carbonatite manifestations in connection with the alkaline complex of the Vishnevye-Ilmeny mountains in the Urals. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **128**(5), 1020-1022. (In Russian)