



УДК 553.493.6(470.55/.58)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ПЕГМАТИТЫ И КАРБОНАТИТЫ УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, В. В. Бабенко, А. Н. Савичев

В середине 1970-х гг. на Урале была впервые выделена карбонатит-нефелин-сиенитовая формация, позднее названная Ю. А. Багдасаровым формацией карбонатитов линейно-трещинных зон. Позднее карбонатиты были обнаружены западнее, в Уфалейском метаморфическом комплексе. В отличие от Ильменно-Висневогорского комплекса, где редкоземельная минерализация имеет *цериевую* специализацию, уфалейские карбонатиты связаны с субщелочными гранитоидами и имеют отчетливую *иттриевую* специализацию. Карбонатиты сопровождают процессы альбитизации и окварцевания в венде. С образованием альбититов и карбонатитов связано появление ураноносных, иттриевых тантал-ниобиевых минералов – фергюссонита и иттроколумбита. В поздних карбонатитах появляется в большом количестве апатит, титаномагнетит, рутил, титанит, ксенотим, пирохлор, колумбит, иттроэпидот, содержащиеся в повышенных количествах Y (400,7–4729,6 г/т), Nb (1387,6–2920,2), Ta (10,2–86,3), U (4,1–50,4), U/Th (11,0–37,0), Zr (7,2–20,1), Sr (178,8–1397,0). Выделение мраморных толщ, содержащих сульфидную, рубиновую и другую минерализацию в качестве карбонатитов, пока не находит подтверждения.

Ключевые слова: карбонатиты, пегматиты, иттрий, церий, специализация, редкие земли, гранитизация, гранитогнейсы, метасоматиты.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-1-86-93

RARE EARTH PEGMATITES AND CARBONATES OF THE UFALEY METAMORPHIC COMPLEX (THE SOUTHERN URALS)

V. N. Ogorodnikov, Yu. A. Polenov, V. V. Babenko, A. N. Savichev

In the middle of 1970s, a carbonatite-nepheline-syenite formation, which later was named by Yu.A.Bagdasarov the carbonatite formation of linear-fractured zones, was revealed at the Urals for the first time. Later carbonatites were discovered to the west in the Ufaley metamorphic complex. As distinguished from the Ilmenskaya and Vishnevaya mountains complex, which is characterized by the ceric rare earth mineralisation, the Ufaley carbonatites are associated with subalkalic granitoids and are clearly yttritic. The carbonatites are confined to the Vendian albitisation and silification. The appearance of uraniferous and yttritic tantalum-niobium minerals (fergusonite and yttrrocolumbite) is connected to formation of albitite and carbonatite. In the carbonatites formed later there is a large portion of apatite, titanomagnetite, rutile, titanite, xenotime, pyrochlore, columbite, yttrium epidote (Y = 400.7–4729.6; Nb = 1387.6–2920.2; Ta = 10.2–86.3; U = 4.1–50.4; U/Th = 11.0–37.0; Zr = 7.2–20.1; Sr = 178.8–1397.0 g/t). There are no distinguished marble strata with sulphide, ruby, or any other mineralization represented by carbonatites.

Keywords: carbonatites, pegmatites, yttrium, cerium, specialisation, rare earth, granitisation, granite-gneiss, metasomatites.

С момента введения В. Бреггером [28] понятия о карбонатитах они рассматривались главным образом как редкая разновидность эндогенных, существенно карбонатных пород.

В нашей стране изучение карбонатитов до 1980-х гг. происходило в основном в рамках метасоматических моделей [5, 19], хотя еще в 1960-х гг. Л. С. Бородиным [4] были высказаны соображения о гетерогенности карбонатитов, магматической природе части из них и ассоциации карбонатитов не только со щелочно-ультраосновными породами и нефелиновыми сиенитами, но и отдельно с последними. Многолетняя дискуссия о природе карбонатитов завершилась в начале 1980-х гг. признанием гетерогенности этих образований [6].

В конце XX столетия усилиями советских исследователей Л. С. Бородина, Ю. М. Шеймана, А. И. Гинзбурга, В. С. Самойлова, Е. Нечаевой, Ю. Б. Лаврентова, Л. К. Пожарицкой, А. Кухаренко, Е. М. Эпштейна и мн. др., было установлено, что с карбонатитами

связаны промышленные концентрации ниобия, тантала, циркония, редких земель, а также значительные концентрации фосфора, железа, флогопита и вермикулита. По мере дальнейшего изучения этих образований круг полезных ископаемых, связанных с ультраосновными-щелочными породами и карбонатитами, все более и более расширяется.

В середине 1970-х гг. в нашей стране появились материалы, подтверждающие правомочность выделения отдельной формации нефелиновых сиенитов и карбонатитов. В Ильменно-Висневогорском комплексе Урала, Черниговской зоне юга Украинского щита, а затем в Хибинском массиве и Татарской зоне Енисейского кряжа были выявлены карбонатиты в ассоциации с широко развитыми нефелиновыми сиенитами и фенитами без участия щелочно-ультраосновных пород. Тогда на Урале была впервые выделена карбонатит-нефелин-сиенитовая формация [10], позднее названная Ю. А. Багдасаровым [1] формацией карбонатитов линейно-трещинных зон.

Позднее карбонатиты были обнаружены западнее в Уфалейском метаморфическом комплексе [2]. В отличие от ильмено-вишневогорского комплекса, где редкоземельная минерализация имеет цериевую специализацию, уфалейские карбонатиты связаны с субщелочными гранитоидами и имеют отчетливую иттриевую специализацию [18].

В карбонатитах концентрируются ниобий, тантал, цирконий и редкие земли. Кроме того, в повышенных количествах содержатся уран, торий, стронций, барий, скандий, марганец и некоторые другие элементы. Наблюдается значительное обогащение карбонатитов редкими элементами по сравнению с осадочными карбонатными породами. Средние содержания элементов-примесей в карбонатитах и осадочных карбонатных породах приведены в таблице.

Содержание элементов примесей в карбонатитах и осадочных карбонатных породах (10^{-4} %), по [29]

Элемент	Карбонатиты	Осадочные карбонатные породы
Nb	1951	0,3
Zr	1120	19
La	516	1
Ce	1505	11,5
Y	96	30
Sr	3380	610
Ba	2330	9

С докембрием связана значительная масса редкоземельных руд в пегматитах, щелочных редкометалльных гранитах и карбонатитах. Особый тип магнетит-редкоземельных руд, содержащих высокие концентрации ниобия и редкоземельных элементов, представляют собой глубинные долгоживущие рифтовые щелочные метасоматиты позднего докембрия [3].

В Уфалейском метаморфическом комплексе (рис. 1) описаны редкоземельные и ураноносные карбонатиты [2, 11, 18].

Среднерифейский региональный метаморфизм низов гранулитовой и амфиболитовой фаций сопровождается процессами гранитизации и ультраметаморфизма, протекавшими при температурах 650–800 °C [7, 13]. Развитие процессов ультраметаморфизма определяется прогрессирующим плавлением, которое приводит к формированию сначала мелких слабо перемещенных тел различных типов мигматитов, постепенно переходящих в гранито-нейсы [7]. Обычно увеличивается калиево-гранитоидов, сопровождаемая уменьшением кремнекислотности и увеличением кальциево-пород, что связано с вовлечением в процессы плавления не только гранито-нейсов, но и слабогранитизированного субстрата амфиболитов. Расчетные РТ-параметры формирования гранито-нейсов следующие: $P = 6\text{--}7$ кбар, $T = 510\text{--}650$ °C [27].

Широкая мобилизация металлов из твердой среды осуществляется метаморфогенными флюидами при региональном метаморфизме и ультраметаморфизме. Зоны ультраметаморфизма, несомненно, представляют собой существенные источники рудного вещества для большого генетического и металлогенического спектра месторождений [17].

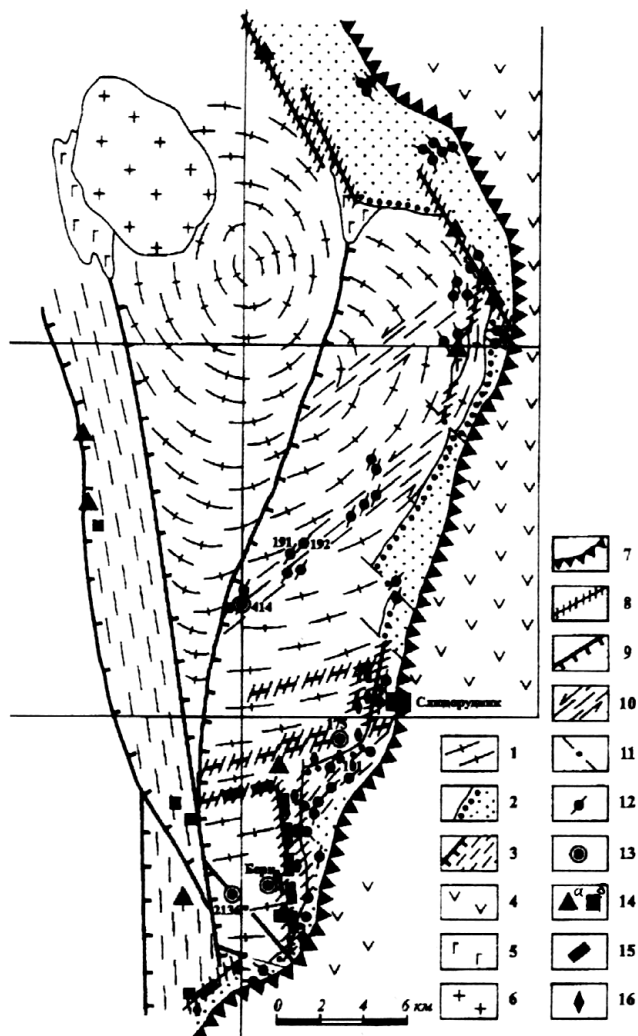


Рис. 1. Схема геологического строения Уфалейского метаморфического блока с элементами минерогенности (по [6, 17])

1 – гнейсы и амфиболиты (PR_1); 2 – сланцы, кварциты, бластомилониты куртинской свиты (R_2); 3 – динамосланцы Таганайско-Указарской зоны смятия; 4 – вулканогенный комплекс Карабашского тектонического блока (O_{1-2}); 5 – пироксениты, габбро, габбро-амфиболиты куртинского комплекса; 6 – Нижнеуфалейский массив коллизионных гранитоидов; 7 – Главный Уральский глубинный разлом; 8 – рифтогенные разрывы (R), вмещающие тела кварцитов, древних пироксенитов с титаномагнетитовой минерализацией и гранитоидов; 9 – взбросы и надвиги; 10 – сдвиговая зона трещиноватости, оперяющая Серебровский надвиг; 11 – сбросы; 12 – наиболее крупные кварцевые жилы; 13 – отработываемые кварцевые жилы и их номера; 14 – месторождения и рудопроявления магнетита (а) и гематита (б) (железистые кварциты); 15 – древние кварциты; 16 – пегматиты с редкоземельной и редкометалльной минерализацией



С ультраметаморфическими процессами (гранитизацией) связана интенсивная миграция железа, кальция, магния, меди, ванадия, свинца, цинка, урана и других элементов из полей интенсивной гранитизации. Образование палингенных и анатектических гранитов (обычно плагиоклаз-микроклиновых) сопровождалось выносом Au, Ag, Co, Ni, Mn, Cu, V и одновременным накоплением Pb, редких земель и других металлов. При полной раскристаллизации магматического расплава и новых тектонических подвижках в шовных зонах открывается доступ основной массе флюидов с глубоких горизонтов. С этим периодом связано развитие раннего щелочного метасоматоза. Щелочные метасоматиты, развивающиеся за счет щелочных гранитоидов и метаморфических пород гнейсово-амфиболитового комплекса, являются продуктами карбонатно-калий-натриевого метасоматоза, который протекает в изменчивых физико-химических условиях. При гранитизации вулканогенных пород в рифейское время метаморфогенно-метасоматические преобразования осуществляются щелочными растворами сначала существенно калиевого, а затем существенно натриевого состава. В ряде работ показано, что отношение K/Na в этих растворах при температуре выше 700 °C более 0,5–0,7, а по мере снижения температуры понижается до 0,2–0,3 [26, 31, 30].

По этой причине на ранней щелочной стадии гранитизированные и мигматизированные амфиболиты и амфибол-биотитовые гнейсы замещаются K-Na полевыми шпатами: микроклином и анортоклазом с характерной веерообразной, гигантозернистой структурой, с радиальным расположением лейст анортоклаза размером до 10 см длиной и «лунной» ирризацией на плоскостях спайности. С этими метасоматитами связано редкоземельное оруденение – иттрийсодержащий эпидот («редкоземельные пегматиты»).

Существует общепринятая точка зрения на высокотемпературную природу анортоклаза, к которому относятся K-Na полевые шпаты с содержанием ортоклазового компонента 5–40 % и параметрами кристаллической решетки $a_0 = 8,25\text{--}8,30$ Å, $b_0 = 12,95$ Å, $c_0 = 7,15$ Å, $2V = 40^\circ$ [9].

Гидротермальные растворы, с которыми связано редкоземельное оруденение, были высокотемпературными и щелочными. Минералогический состав редкоземельных месторождений показывает, что в этих растворах в значительных количествах присутствовали анионы угольной (HCO_3^- , CO_3^{2-}) и фтористо-водородной (F^-) кислот. Образуется устойчивый хорошо растворимый комплекс $[\text{TR}(\text{CO}_3)_3]^{3-}$. В виде такого соединения в раствор может переходить до 0,12 г/л La (Ce) и до 6,63 г/л Y. Это объясняет иттриевую специализацию данных метасоматитов

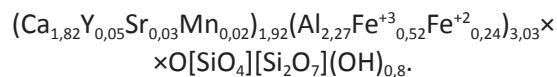
Формирование Уфалейского и других гнейсово-амфиболитовых комплексов Урала началось с заложения в среднем рифее серии рифтовых

структур, которое сопровождалось развитием регионального метаморфизма алданской фации глубинности (гранулитовой) и завершилось ультраметаморфизмом [7] с образованием небольших тел щелочных биотитовых гнейсогранитов и анортоклазовых гранитов. Возраст по микроклину и биотиту 1100–1215 млн лет [16], по цирконам из гнейсов 990–1180 млн лет [8], различных мигматитов, анортоклазовых пегматитов и полевошпатовых метасоматитов с ураново-редкоземельной минерализацией (иттрозепидот) 1100–1200 млн лет [14].

Ю. Д. Пушкарев и Л. А. Обухова [25] выделяют пять общепланетарных металлогенических импульсов эндогенной активности земной коры в докембрии: 3,5; 2,6; 1,7; 1,1; 0,4 млрд лет.

Тектонические и постмагматические воздействия на щелочные метасоматиты завершались образованием крупнокристаллического иттрийсодержащего эпидота.

Он образует крупные черные кристаллы столбчатого облика длиной 5–40 см в разбурдированных пегматоидных блоках, сложенных гигантозернистыми агрегатами анортоклаза. Все выделения минерала кристаллических очертаний, но почти не имеют хорошо образованных граней. В шлифах минерал имеет желто-зеленый цвет без заметного плеохроизма, рельеф высокий. Минерал анизотропен, $N_g = 1,718\text{--}1,724$; $N_p = 1,708\text{--}1,712$; $N_g\text{--}N_p = 0,013$ [14, 18]. Иттрийсодержащий эпидот был изучен в Институте минералогии УрО РАН (Миасс) в 2012 г. [21]. Его формула близка к таковой иттрозепидота, полученного в 1959 г. [12]:



Специфическая особенность химического состава иттрийсодержащего эпидота [12, 18] – присутствие U (0,10–0,14 мас. %) при невысокой концентрации U и Th в гранитогнейсах ($\text{Th} = 6,4 \cdot 10^{-4}$ мас. %; $\text{U} = 1,6 \cdot 10^{-4}$ мас. %), еще ниже оно в анортоклазовых пегматоидных телах ($\text{Th} = (0,80\text{--}0,82) \cdot 10^{-4}$ мас. %; $\text{U} = (0,2\text{--}0,6) \cdot 10^{-4}$ мас. %). Анортоклазиты содержат повышенное количество Be = $(20,2\text{--}21,8) \cdot 10^{-4}$ мас. %; Sr = $(597,1\text{--}675,6) \cdot 10^{-4}$ мас. %; P = $(56,4\text{--}160,4) \cdot 10^{-4}$ мас. %; B = $(19,4\text{--}12,8) \cdot 10^{-4}$ мас. %.

В венде преобразование анортоклазитов по мере снижения температуры сопровождалось интенсивной альбитизацией и окварцеванием (рис. 2), при этом формировались протяженные тела карбонатитов существенно кальцитового состава, характеризующиеся повышенной концентрацией редкоземельных элементов иттриевой группы [18].

Крупнокристаллические кальцитовые карбонатиты не содержат собственных редкоземельных минералов, но концентрируют их в самом кальците: TR = 1500–2900 г/т, в том числе 200–750 г/т Y, преимущественно иттриевый состав (рис. 3), а во вмещающих амфибол-биотитовых гнейсах TR 300–400 г/т и 80–90 г/т Y, соответственно в анортоклазовых пег-

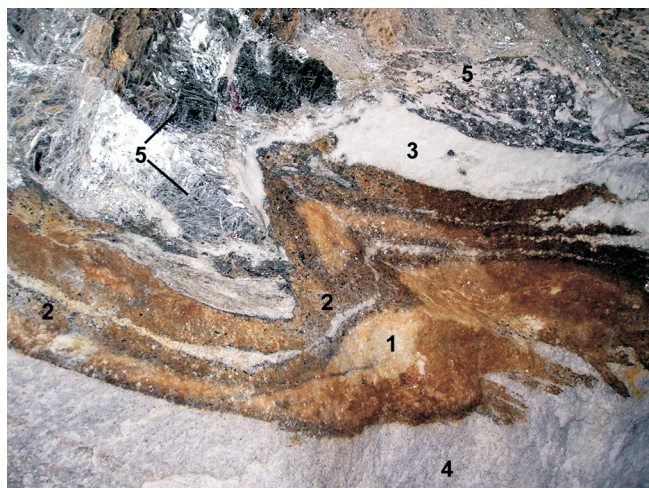


Рис. 2. Ранний (рифейский) кальцитовый карбонатит желтого и белого цветов (1), замещающийся кальцитом серого цвета с флогопитом и магнетитом (2), совместно с альбитом (3); оба карбоната смяты в складки и замещены во время ранней коллизии метасоматическим мелкозернистым кварцем (4) и кварц-мусковитовым комплексом с крупными кристаллами мусковита (5). Ум. в 10 раз. Кровля штольни по отработке жилы мусковита № 4 Слюдяногорского месторождения мусковита

матитах TR 10 и 5 г/т Y. В кальцитах также повышено содержание Sr (6700 г/т), Nb (410 Г/т), Mn 6900 г/т. Повышенные количества SrO, MnO в высокотемпе-

ратурных кальцитах являются характерным признаком высокотемпературных карбонатитов. Изотопный состав (Sr, Nd, C, O) карбонатитов Уфалейского комплекса свидетельствует об их связи с глубинным источником, который по изотопным параметрам близок мантийному резервуару EM1, свойственному рифтовым зонам древних щитов [15].

Как внешняя зона около тел карбонатитов, так и осевые части шовных зон нередко сложены метасоматическими кварцитами, которые формируются за счет выноса кремнезема из участков с интенсивным щелочным преобразованием. Метасоматические кварцево-жильные образования характеризуются также высокими содержаниями (г/т) Sr (345–1710,5), Ba (272,5–408,5), Y (26,6–47,2), P (113,8–256,6), Mn (78,2–90,3), Ti (2385–2414), Zr (29,7–192,7), Nb (5,7–54,87). В обычных палеозойских метаморфических кварцитах куртинской свиты этих компонентов меньше на несколько порядков.

С образованием сахаровидных альбититов связано появление ураноносных, иттриевых, тантал-ниобиевых минералов – фергюссонита и иттроколумбита. Фергюссонит образует сплошные выделения изометричной формы диаметром 2–5 см, содержащие в виде включений зерна иттроколумбита, ферсмита, иттротанталита. Химический состав фергюссонита близок к теоре-

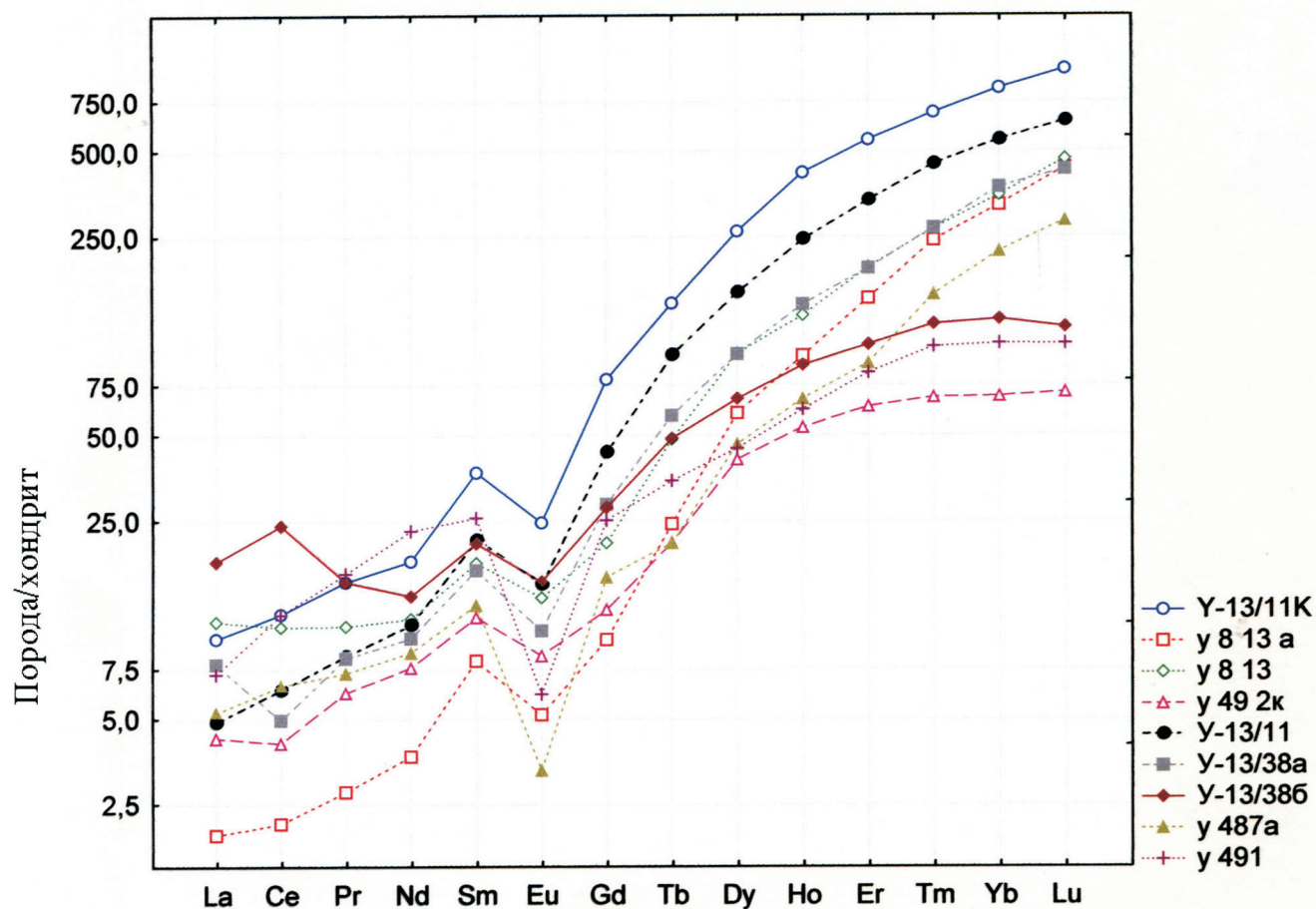


Рис. 3. Поведение редкоземельных элементов в карбонатитах Уфалейского метаморфического комплекса



тическому составу YNbO_4 : CaO 1,40; MgO сл.; FeO 0,36; $\text{TR}(\text{Y})$ 42,6; ZrO_2 0,93; SiO_2 0,14; TiO_2 0,50; Nb_2O_5 51,65; Ta_2O_5 2,50; H_2O 0,22; сумма 100,3 % [13]. Кроме того, нами установлена примесь U (1,64 %), Th (0,012 %) и Zr (0,31 %), которые, возможно, относятся к минеральным примесям в виде циркона, уранинита, колумбита и других минералов, установленным рентгеноструктурным анализом в метамиктной массе фергюссонита.

Выделения иттроколумбита имеют изометричную форму, достигают 1 см в поперечнике и находятся в сахаровидном альбите. Цвет минерала черный, на отдельных участках наблюдаются буровато-красные внутренние рефлексии. Иттроколумбит метамиктный, после прокаливании при 800 °C появляется дифракционная картина. Сравнение рентгенограмм показывает хорошее совпадение исследуемого минерала с искусственной фазой FeNbO_4 . Химический состав иттроколумбита (г/т): CaO 0,38–0,60, TiO_2 3,89–4,13, MnO 0,02–0,14, FeO 11,35–11,28, Y_2O_3 11,69–12,53, Nb_2O_5 38,74–38,56, Ce_2O_3 0,14–0,10, Ta_2O_5 12,02–12,51, WO_3 1,68–1,36, PbO 0,32–0,08, ThO_2 0,37–0,39, UO_2 8,27–6,85, Er_2O_3 9,11–9,01, сумма 98,04–97,55 [25].

В телах рифейских карбонатных метасоматитов под действием гидротермальных растворов наблюдается перекристаллизация раннего кальцита желтого цвета с образованием прозрачных

полигонально зернистых серых агрегатов кальцита. Перекристаллизация кальцита сопровождается кристаллизацией флогопита (см. рис. 2), имеющего индукционные грани роста, что свидетельствует об одновременном с кальцитом росте. Среди зерен кальцита и флогопита наблюдаются многочисленные мелкие кристаллики октаэдрического магнетита и пирротина. Что касается редкометалльной и редкоземельной минерализации, то появление ее связано с освобождением Sr , Ba , Mn , P , Ce , Y , Nb , Ta и некоторых других элементов из силикатов и рудных минералов, накоплением их в карбонатах палеозойского метасоматического этапа формирования этих тел. Поздние карбонатные метасоматиты содержат в большом количестве апатит, титаномagnetит, рутил, титанит, ксенотим, пироклор, колумбит, новообразованный иттроэпидот, содержащие в повышенных количествах (г/т): Y (400,7–4729,6), Nb (1387,6–2920,2), Ta (10,2–86,3), P (21,5–2362,4), Mn (1529,6–6393,7), U (4,1–50,4), U/Th (10,9–37,0), Zr (7,2–20,1), Sr (178,8–1396,9), Ba (33,3–803,6).

В последнее время «узкий круг» карбонатитов Урала значительно расширился за счет отнесения к ним широко распространенных мраморных толщ осадочного происхождения [20, 22, 23]. Так, по мнению В. А. Попова, «пересмотр генезиса некоторых тел мраморовидных пород в уральских палеорифтовых структурах с точки зрения последовательности

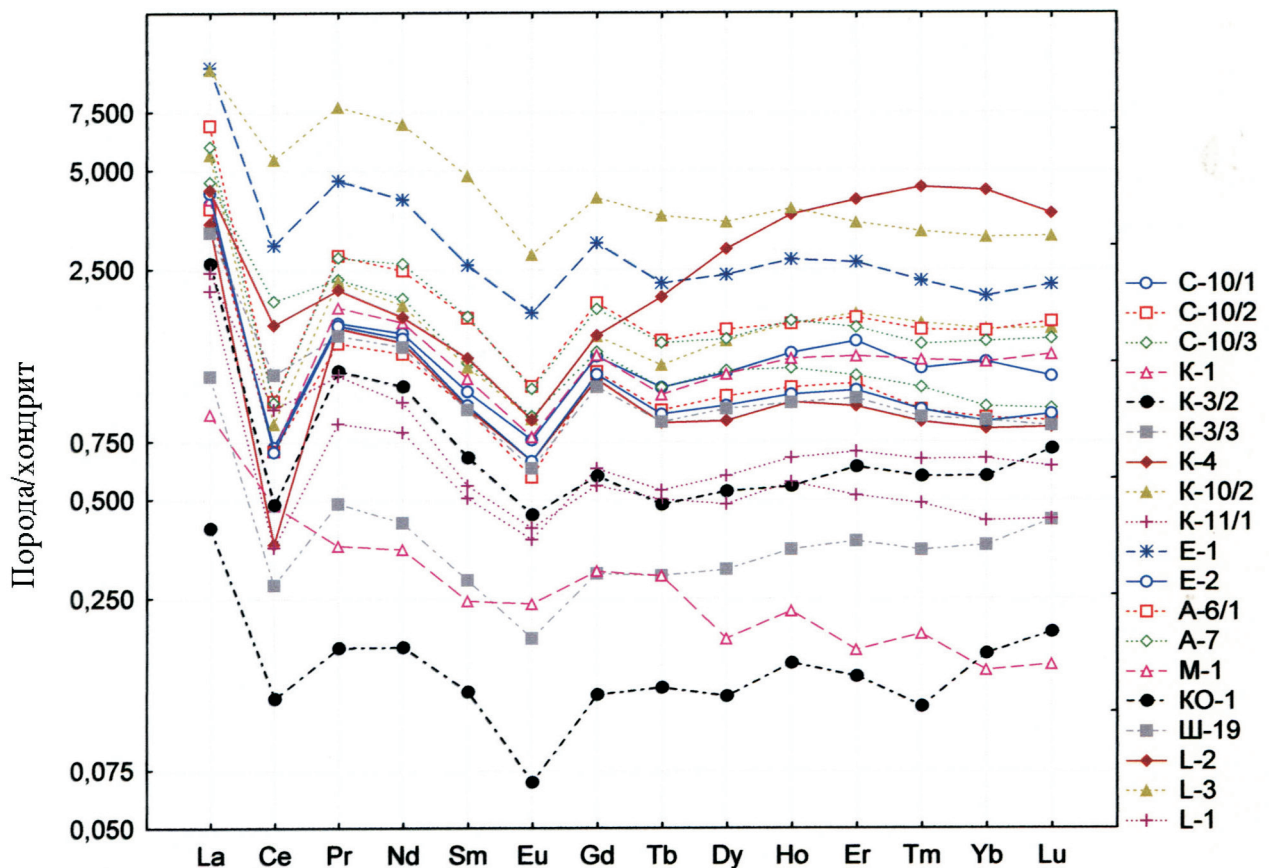


Рис. 4. Поведение редкоземельных элементов в мраморах, содержащих рубины и другую минерализацию, в карьерах Среднего и Южного Урала: С – Светлинский, К – Кучинский, Е – Еленовский, А – Андреевский, М – Мраморский, КО – Коелгинский, Ш – Шабровский, Л – Липовский



кристаллизации минералов привел к заключению о широком развитии разнообразных карбонатитов на Урале. С ними связаны не только классические редкометалльные месторождения, но и месторождения и проявления никеля, демантоидов, рубина, алмаза, железа» [22].

Нами были изучены мраморы, содержащие рубиновую и другую минерализацию с карьеров Среднего и Южного Урала (рис. 4). Все они показали обычное распределение редкоземельных элементов. Наблюдается характерная для осадочных карбонатных толщ цериевая аномалия, поэтому отнесение их к карбонатитам требует более тщательного изучения.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России...», руководитель проекта акад. РАН В. А. Коротеев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасаров, Ю. М. Линейно-трещинные тела карбонатитов – новая субформация ультраосновных карбонатитовых комплексов [Текст] / Ю. М. Багдасаров // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 248, № 2. – С. 412–415.
2. Белковский, А. И. Симплектит-эклогиты Среднего Урала [Текст] / А. И. Белковский. – Свердловск, 1989. – 204 с.
3. Бородин, Л. С. Карбонатитовые месторождения редких элементов [Текст] / Л. С. Бородин // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. – М. : Наука, 1966. – С. 215–257.
4. Гинзбург, А. И. Карбонатитовые месторождения [Текст] / А. И. Гинзбург, Е. М. Эпштейн // Генезис эндогенных месторождений. – М. : Недра, 1968. – С. 152–212.
5. Гинзбург, А. И. К проблеме карбонатитов [Текст] / А. И. Гинзбург, В. С. Самойлов // Зап. ВМО. – 1983. – Ч. 112, вып. 2. – С. 164–178.
6. Кейльман, Г. А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов [Текст] / Г. А. Кейльман. – М. : Недра, 1974. – 200 с.
7. Краснобаев, А. А. Циркон как индикатор геологических процессов [Текст] / А. А. Краснобаев. – М. : Наука, 1986. – 186 с.
8. Кумеев, С. С. Полевые шпаты – петрогенетические индикаторы [Текст] / С. С. Кумеев. – М. : Недра, 1982. – 206 с.
9. Левин, В. Я. Карбонатиты щелочной провинции Ильменских – Вишневых гор [Текст] / В. Я. Левин, Б. М. Роненсон, И. А. Левина // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 240, № 4. – С. 930–933.
10. Левин, В. Я. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала [Текст] / В. Я. Левин. – Екатеринбург : Уралгеолком, 1997. – 274 с.
11. Лутц, Б. Г. Парагенетический анализ, геохимия и минералогия метаморфических пород Уфалейского массива на Урале [Текст] / Б. Г. Лутц, Д. А. Минеев // Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. – М. : Наука, 1967. – С. 59–104.
12. Мельников, Е. П. Термодинамические условия метаморфизма пород Уфалейского гнейсового комплекса [Текст] / Е. П. Мельников // Проблемы биминеральной геотермобарометрии. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1976. – Вып. 130. – С. 106–126.
13. Минеев, Д. А. Редкоземельный эпидот из пегматитов Среднего Урала [Текст] / Д. А. Минеев // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 127, № 4. – С. 865–868.
14. Недосекова, И. Л. Sr-Nd-C-O изотопные данные и геохимия карбонатитов Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса и Куртинской зоны (Южный Урал) [Текст] / И. Л. Недосекова, С. В. Прибавкин, Е. В. Пушкарев // Ежегодник-2004 / ред. В. А. Коротеев. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 2005. – С. 198–206.
15. Овчинников, Л. Н. Обзор данных по абсолютному возрасту геологических образований Урала [Текст] / Л. Н. Овчинников // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т. 1. – 1963. – С. 57–83.
16. Овчинников, Л. Н. Образование рудных месторождений [Текст] / Л. Н. Овчинников. – М. : Недра, 1988. – 255 с.
17. Огородников, В. Н. Минерагения шовных зон Урала. Уфалейский гнейсово-амфиболитовый комплекс (Южный Урал) [Текст] / В. Н. Огородников, В. Н. Сазонов, Ю. А. Поленов. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН-УГГУ, 2007. – 187 с.
18. Рудные ресурсы и их размещение по геоэпохам. Редкие металлы: тантал, ниобий, скандий, редкие земли, цирконий, гафний : справочное пособие [Текст] / К. Д. Беляев, И. Г. Ганеев, В. М. Чайка [и др.] ; под ред. Д. В. Рундквиста. – М. : Недра, 1996. – 175 с.
19. Рябчиков, И. Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм [Текст] / И. Д. Рябчиков. – М. : Наука, 1975. – 230 с.
20. Пожарицкая, Л. К. Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири [Текст] / Л. К. Пожарицкая, В. С. Самойлов. – М. : Наука, 1972. – 265 с.
21. Попов, В. А. К минералогии карбонатитов Русской Бразилии на Южном Урале [Текст] / В. А. Попов, С. В. Колисниченко // Уральский минералогический сборник. – 2008. – № 15. – С. 75–84.
22. Попов, В. А. Минералогический аспект проблемы карбонатитов на Урале [Текст] / В. А. Попов, В. И. Попова // Металлогения древних и современных океанов – 2004. – Миасс : ИМ УрО РАН, 2004. – С. 264–269.
23. Попов, В. А. О нашумевшем уральском «итроэпидоте» из Слюдорудника [Текст] / В. А. Попов // Тринадцатые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. – Миасс : ИМ УрО РАН, 2012. – С. 18–23.
24. Попов, В. А. Структуры и текстуры карбонатитов [Текст] / В. А. Попов // Металлогения древних



и современных океанов – 2008. – Миасс : ИМ УрО РАН, 2008. – С. 285–289.

25. **Пушкарев, Ю. Д.** Геохронология метаморфических процессов, их периодичность и корреляция [Текст] / Ю. Д. Пушкарев, П. А. Обухова // *Метаморфизм раннего докембрия. – Апатиты : КолФАН СССР, 1980. – С. 91–106.*

26. **Суставов, С. Г.** Иттроколумбит-(Y) в мусковитовых пегматитах Слюдяногорского месторождения (Южный Урал) [Текст] / С. Г. Суставов, В. Н. Огородников // *Вестн. Урал. отд-ния Рос. минерал. об-ва. – Екатеринбург. – 2008. – № 5. – С. 106–112.*

27. **Холоднов, В. В.** Гранитный магматизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы [Текст] / В. В. Холоднов, Г. Б. Ферштатер, Н. С. Бородин // *Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 3–27.*

28. **Brogger, W. C.** Die Eruptivgesteine des Kristianagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark [Text] / W. C. Brogger. – Norwegen, Kristiania, 1920, 480 S. – (Skr. Norske vidensk.-akad. Oslo, k. 90).

29. **Gold, D. P.** Average chemical composition of carbonatites [Text] / D. P. Gold // *Econ. Geol. – 1963. – Vol. 58, N 6. – P. 988–991.*

30. **Jiyama, J. T.** Contribution à l'étude des équilibres subsolidus du système ternaire orthoclase-albite-anorthite à l'aide de réactions d'échange d'ions Na-K au contact d'une solution hydrothermale [Text] / J. T. Jiyama // *Bull. Soc. Franc. Miner. Crist. – 1966. – Vol. 89. – P. 442–454.*

31. **Orville, P. M.** Unit-cell parameters of the microcline-low albite and sanidine-high albite solid solution series [Text] / P. M. Orville // *Amer. Miner. – 1967. – Vol. 52, N 1–2. – P. 55–86.*

REFERENCES

1. Bagdasarov Yu.M. [Linear-fractured carbonatite bodies as a new subformation of ultrabasic carbonatite complexes]. *AS USSR Proc.*, 1979, vol. 248, no. 2, pp. 412–415. (In Russ.).

2. Belkovskiy A.I. *Simplektit-eklogity Srednego Urala* [Symplectite-eclogites of the Middle Urals]. Sverdlovsk, 1989. 204 p. (In Russ.).

3. Borodin L.S. [Carbonatite deposits of rare elements]. *Geokhimiya, mineralogiya i geneticheskie tipy mestorozhdeniy redkikh elementov* [Geochemistry, Mineralogy and Genetic Types of Fields of Rare Elements]. Moscow, Nauka Publ., 1966, pp. 215–257. (In Russ.).

4. Ginzburg A.I., Epshteyn E.M. [Carbonatite deposits]. *Genezis endogennykh mestorozhdeniy* [Genesis of endogenous deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1968, pp. 152–212. (In Russ.).

5. Ginzburg A.I., Samoylov V.S. [On the issue of carbonatites]. *All-Union Mineralogical Society Proc.*, 1983, pt 112, vol. 2, pp. 164–178. (In Russ.).

6. Keylman G.A. *Migmatitovye kompleksy podviznykh poyasov* [Migmatite complexes of mobile belts]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 200 p. (In Russ.).

7. Krasnobaev A.A. *Tsirkon kak indikator geologicheskikh protsessov* [Zircon as an indicator of geological processes]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 186 p. (In Russ.).

8. Kumeev S.S. *Polevyte shpaty – petrogeneticheskie indikatory* [Feldspars as petrogenetic indicators]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 206 p. (In Russ.).

9. Levin V.Ya., Ronenson B.M., Levina I.A. [Carbonatites of the alkali-type province of the Ilmenskaya and Vishnevaya mountains]. *AS USSR Proc.*, 1978, vol. 240, no. 4, pp. 930–933. (In Russ.).

10. Levin V.Ya. *Shchelochno-karbonatitovye komplekсы Urala* [Alkaline-carbonatite complexes of the Ural Mountains]. Ekaterinburg, Uralgeolkom Publ., 1997. 274 p. (In Russ.).

11. Lutts B.G., Mineev D.A. [Paragenetic analysis, geochemistry and mineralogy of metamorphic rocks of the Ufaley massif in the Ural Mountains]. *Redkie elementy v porodakh razlichnykh metamorficheskikh fatsiy* [Rare elements in rocks of various metamorphic facies]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 59–104. (In Russ.).

12. Melnikov E.P. [Thermodynamic conditions of rock metamorphism of the Ufaley gneiss complex]. *Problemy bimineral'noy geotermobarometrii* [Issues of bimineral geotermobarometry]. Sverdlovsk, UNTS AS USSR Publ., 1976, vol. 130, pp. 106–126. (In Russ.).

13. Mineev D.A. [Rare-earth epidote from the Middle Urals pegmatites]. *AS USSR Proc.*, 1959, vol. 127, no. 4, pp. 865–868. (In Russ.).

14. Nedosekova I.L., Pribavkin S.V., Pushkarev E.V. [SSr-Nd-C-O isotope data and geochemistry of carbonatites of the Ilmenskaya and Vishnevaya mountains alkaline complex and of the Kurtinskaya zone (Southern Urals)]. *Yearbook-2004*, Ekaterinburg, IGG UrO RAS Publ., 2005, pp. 198–206. (In Russ.).

15. Ovchinnikov L.N. [Review of data on the absolute age of geological bodies of the Urals]. *Magmatizm, metamorfizm, metallogeniya Urala – Magmatism, metamorphism and metallogeny of the Urals*, 1963, vol. 1, pp. 57–83. (In Russ.).

16. Ovchinnikov L.N. *Obrazovanie rudnykh mestorozhdeniy* [Formation of ore deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 255 p. (In Russ.).

17. Ogorodnikov V.N., Sazonov V.N., Polenov Yu.A. *Minerageniya shovnykh zon Urala. Ufaleyskiy gneysovo-amfibolitovyy kompleks (Yuzhnyy Ural)* [Minerageny of suture zones of the Ural Mountains. The Ufaley gneiss-amphibolite complex (Southern Urals)]. Ekaterinburg, IGG UrO RAS-UGGU Publ., 2007. 187 p. (In Russ.).

18. Belyaev K.D., Ganeev I.G., Chayka V.M., Chernov V.D. *Rudnye resursy i ikh razmeshchenie po geopokham. Redkie metally: Tantal, niobiy, skandiy, redkie zemli, tsirkoniy, gafniy: Spravochnoe posobie* [Ore resources and their distribution among geoeperiods. Rare metals: Tantalum, niobium, scandium, rare earth metals, zirconium, hafnium. Reference book]. D.V. Rundkvist ed. Moscow, Nedra Publ., 1996. 175 p. (In Russ.).

19. Ryabchikov I.D. *Termodinamika flyuidnoy fazy granitoidnykh magm* [Thermodynamics of the fluid phase of granitoid magma]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 230 p. (In Russ.).



20. Pozharitskaya L.K., Samoylov V.S. *Petrologiya, mineralogiya i geokhimiya karbonatitov Vostochnoy Sibiri* [Petrology, mineralogy and geochemistry of carbonatites of Eastern Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 265 p. (In Russ.).

21. Popov V.A., Kolisnichenko S.V. [Carbonatite mineralogy of the Russian "Brazil" at the Southern Urals]. *Ural'skiy mineralogicheskiy sbornik – The Urals Collected Mineralogical Papers*, 2008, no. 15, pp. 75–84. (In Russ.).

22. Popov V.A., Popova V.I. [Mineralogical aspect of carbonatites in the Ural Mountains]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov – 2004* [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2004]. Miass, IM UrO RAS Publ., 2004, pp. 264–269. (In Russ.).

23. Popov V.A. [On the famous "yttrium epidote" found in the mica mine in the Ural Mountains]. *Trinadtsatye Vserossiyskie nauchnye chteniya pamyati il'menskogo mineraloga V.O. Polyakova* [13th All-Russia Scientific Readings in Memory of Ilmen Mineralogist V.O. Polyakov]. Miass, IM UrO RAS Publ., 2012, pp. 18–23. (In Russ.).

24. Popov V.A. [Structures and textures of carbonatites]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov – 2008* [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2008]. Miass, IM UrO RAS., 2008, pp. 285–289. (In Russ.).

25. Pushkarev Yu.D., Obukhova P.A. [Geochronology of metamorphic processes, their periodicity and

correlation]. *Metamorfizm rannego dokembriya* [The Early pre-Cambrian metamorphism]. Apatity, KolFAN USSR Publ, 1980, pp. 91–106. (In Russ.).

26. Sustavov S.G., Ogorodnikov V.N. [Yttrium columbite (Y) in muscovite pegmatites of the Slyudyanogorskoye field (Southern Urals)]. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya Rossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva – Proceedings of the Urals Branch of the Russian Mineralogical Society*, Ekaterinburg, 2008, no. 5, pp. 106–112. (In Russ.).

27. Kholodnov V.V., Fershtater G.B., Borodina N.S. [Granite magmatism of the zone of conjunction of the Ural Mountains and the East-European Platform]. *Litosfera – Lithosphere*, 2006, no. 3, pp. 3–27. (In Russ.).

28. Brogger, W.C. Die Eruptivgesteine des Kristianagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark. Norwegen, Kristiania, 1920. 480 S. (Skr. Norske vidensk.-akad. Oslo, kl. 90).

29. Gold, D.P. Average chemical composition of carbonatites. *Econ. Geol.*, 1963, vol. 58, no. 6, pp. 988–991.

30. Jiyama J.T. Contribution à l'étude des équilibres subsolidus du système ternaire orthoclase-albite-anorthite à l'aide de réactions d'échange d'ions Na-K au contact d'une solution hydrothermale. *Bull. Soc. Frans. Minér. Crist.*, 1966, vol. 89, pp. 442–454.

31. Orville P. M. Unit-cell parameters of the microcline-low albite and sanidine-high albite solid solution series – *Amer. Miner.*, 1967, vol. 52, no. 1–2, pp. 55–86.

© В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов,
В. В. Бабенко, А. Н. Савичев, 2016

БАБЕНКО Владимир Витальевич, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, декан, д.г.-м.н., проф. E-mail: IGG@ursmu.ru
ОГОРОДНИКОВ Виталий Николаевич, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, зав. кафедрой, д.г.-м.н., проф.

E-mail: igg.gl@ursmu.ru

ПОЛЕНОВ Юрий Алексеевич, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, директор геол. музея, д.г.-м.н., проф.

E-mail: igg.gl@ursmu.ru

САВИЧЕВ Александр Николаевич, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, ст. науч. сотр. E-mail: igg@ursmu.ru

BABENKO Vladimir, DSc, Professor, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: IGG@ursmu.ru

OGORODNIKOV Vitaly, DSc, Professor, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: igg.gl@ursmu.ru

POLENOV Yuri, DSc, Professor, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: igg.gl@ursmu.ru

SAVICHEV Akexander, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: igg@ursmu.ru