

УДК 553.078+549.514.5

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ПЕГМАТИТЫ И КАРБОНАТИТЫ УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

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

К пегматитовому генетическому типу относятся редкоземельные, редкометалльные, слюдоносные, керамические и хрусталеносные пегматиты. Общепринята геологическая классификация гранитных пегматитов по глубинности: больших глубин (редкоземельные), глубинные (слюдоносные), умеренных глубин (редкометалльные) и малых глубин (керамические и хрусталеносные). В Уфалейском метаморфическом комплексе все эти генотипы пегматитов оказались совмещены в долгоживущей Слюдяногорской шовной зоне докембрийского заложения, активно функционирующей во время палеозойских коллизионных преобразований.

Ключевые слова: пегматиты; карбонатиты; редкие земли; Уфалейский комплекс; Южный Урал.

Как известно, к пегматитовому генетическому типу относятся редкоземельные, редкометалльные, слюдоносные, керамические и хрусталеносные пегматиты. Общепринята геологическая классификация гранитных пегматитов по глубинности: больших глубин (редкоземельные), глубинные (слюдоносные), умеренных глубин (редкометалльные) и малых глубин (керамические и хрусталеносные). Чаще всего эти пегматиты разбросаны в пространстве и во времени, и поэтому их описание не вызывает затруднений. Но в Уфалейском метаморфическом комплексе все эти генотипы пегматитов оказались совмещены в долгоживущей Слюдяногорской шовной зоне докембрийского заложения, активно функционирующей во время палеозойских коллизионных преобразований.

Формирование Уфалейского гнейсово-амфиболитового комплекса началось с заложения в среднем рифее (1350 млн лет) субмеридиональной рифтовой структуры. Его образование сопровождалось развитием метаморфизма, соответствующего гранулитам алданской фации глубинности (парагенезисы включают гиперстен, диопсид, пироповый гранат), завершившегося ультраметаморфизмом [1] с образованием в рифтогенно ограничивающей шовной зоне слюдяногорских щелочных биотитовых гнейсогранитов, анор-

токлазовых гранитов (возраст по микроклину, биотиту 1100–1215 млн лет [2]; по цирконам из гнейсов 990–1180 млн лет [3]; различных мигматитов, анортоклазовых пегматитов и полевошпатовых метасоматитов с ураново-редкоземельной минерализацией, представленной иттроэпидотом, с возрастом 1100–1200 млн лет [4]).

Наиболее яркая особенность таких пегматитов (полевошпатовых метасоматитов) – приуроченность к глубинным зонам разломов древних щитов и платформ и отсутствие видимой связи с конкретными магматическими телами [5]. В глубинных зонах рифтовых структур градиенты температуры и условий дегазации растворов были незначительными. В результате существенное нарушение физико-химического равновесия достигалось лишь на значительном удалении от мест отделения растворов, что и определило пространственный отрыв полевошпатовых (анортоклазовых) метасоматитов от материнских гранитов. В целом полевошпатовый метасоматоз в разломах докембрия характеризуется значительными масштабами. На протяжении шовной зоны, как правило, отмечается несколько участков развития полевошпатовых метасоматитов, несущих ураново-редкоземельную минерализацию, разделенных интервалами с отсутствием метасоматических

явлений. Согласно [6, 7] урановое оруденение генетически связано с высокотемпературными гидротермальными калиевыми биотит-микроклиновыми метасоматитами, что весьма характерно для «ураноносных, редкоземельных пегматитов» докембрийских областей. Редкоземельные микроклиниты (анортоклазиты) разломов фундамента докембрийских платформ являются наиболее древними, глубинными и высокотемпературными образованиями в ряду других формаций редкоземельных метасоматитов (пегматитов).

Изучение литературных данных показало, что типичные щелочные комплексы и сопровождающие их карбонатные метасоматиты с редкометальной и редкоземельной минерализацией начинают проявляться в докембрии с раннего протерозоя, однако их массовое распространение связано с рифейской эпохой и сопряжено с интенсивно проявленными процессами рифтогенеза [5].

Рифейские гранитоиды и пегматоидные тела в Уфалейском комплексе смяты в пологие складки при последующих коллизиях и будинированы. В будинах, сложенных крупнокристаллическим анортоклазом, отчетливо наблюдается «лунная» иризация.

Тектонические и постмагматические воздействия на щелочные метасоматиты завершались образованием крупнокристаллического иттроэпидота. Состав иттроэпидота был изучен в Институте минералогии УрО РАН в Миассе в 2012 году [8], и полученная формула близка к составу иттроэпидота ($\text{Ca}_{1,89}\text{Y}_{0,09}\text{Sr}_{0,01}\text{Er}_{0,01}\text{Fe}_{0,78}\text{Mn}_{0,02}\text{U}_{0,01}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$), полученного в 1959 году [4].

По мере снижения температуры преобразование анортоклазитов сопровождалось карбонатизацией и окварцеванием, с формированием протяженных тел существенно кальцитового состава и тел метасоматических кварцитов (серебровского типа), характеризующихся повышенным содержанием редкоземельных элементов иттриевой группы.

Геохимические поиски, проведенные группой Д. П. Грознецкого и Е. П. Мельникова в восточной части Уфалейского метаморфи-

ческого комплекса, показали, что щелочные гранитоиды, пегматиты и полевошпатовые метасоматиты имеют бериллиевую, урановую и редкоземельную специализацию. Выявлены комплексные геохимические аномалии, которые включают (в г/т): Y – 50–300; Zr – 300–1000; Be – 4–40; Ba – 1000–3000; Nb – 100–300; Mo – 5–15; при фоновом уровне: Y – 10; Zr – 100; Be – 2; Ba – 500; Nb – 40; Mo – 3.

На завершающей стадии метасоматического преобразования образуются крупнокристаллические кальцитовые метасоматиты, не содержащие собственных редкоземельных минералов, но концентрирующие редкоземельные элементы в самом кальците: содержание TR = 1500–2900 г/т, в том числе 200–500 г/т Y, редкоземельные элементы преимущественно иттриевого состава (рис. 1), тогда как во вмещающих амфибол-биотитовых гнейсах сумма PЗЭ составляет 300–400 г/т, в т. ч. 80–90 г/т Y, а в анортоклазовых пегматитах TR = 10 г/т, в том числе – 5 г/т Y. Кальциты содержат также повышенные содержания Sr = 6700; Nb до 410; Mn = 6900 г/т. Повышенные количества SrO, MnO в высокотемпературных кальцитах являются характерным признаком высокотемпературных карбонатитов.

Высокое содержание редких земель иттриевой группы и иттрия свидетельствует, что они образовались под воздействием щелочных и субщелочных гранитных интрузивов [9]. Изотопный состав (Sr, Nd, C, O) карбонатитов Уфалейского комплекса свидетельствует об их связи с глубинным источником, по своим изотопным параметрам (близкого ЕМ1) характерным для рифтовых зон древних щитов [10].

В последнее время понятие карбонатитов рядом исследователей значительно расширено. Согласно [11, 12] «пересмотр генезиса некоторых тел мраморовидных пород в уральских палеорифтовых структурах с точки зрения последовательности 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, железа».

Авторами были проанализированы эти мраморовидные породы, описанные В. А.

Поповым, которые показали низкие содержания редкоземельных элементов и обычный тренд их поведения, характерный для обычных морских отложений (рис. 1).

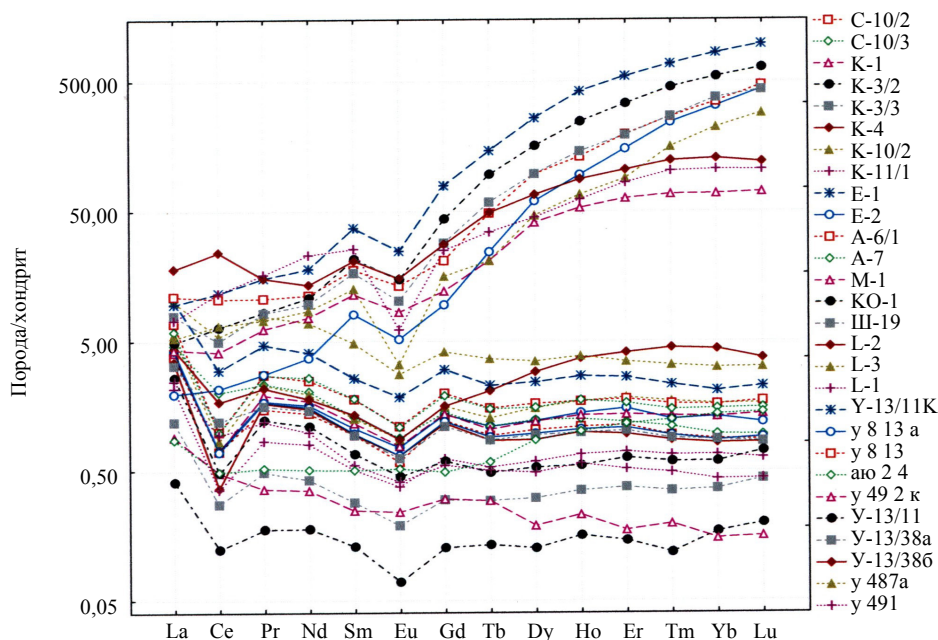


Рис. 1. Поведение редкоземельных элементов в карбонатах Уфалейского метаморфического комплекса (высокие содержания тяжелых редких земель) и мраморовидных породах Светлого, Кучинского и Липовского карьеров, содержащих рубиновую минерализацию (поле мраморов с низкими содержаниями редких земель)

Подновление рифейских разрывных нарушений произошло в венде в связи с дальнейшим усилением рифтогенеза. Большинство сложных интрузий сформировались в результате последовательного внедрения дифференцировавшейся на глубине магмы, первоначально ультраосновной, затем щелочной. На заключительной стадии магматического цикла расплав обогащался кремнекислотой и калием, что привело к появлению щелочных лейкократовых гранитоидов.

Постмагматическая стадия, связанная со становлением щелочных гранитов венда, во вмещающих амфиболитах, биотитовых гнейсах, щелочных гранитах и редкоземельных пегматитах проявляется в виде метасоматической альбитизации и флогопитизации. Данные метасоматиты секут анортоклазовые пегматиты и кристаллы иттроэпидота среднерифейского возраста (рис. 2). Абсолютный возраст альбитизированных

анортоклазитов, определенный Sm-Nd методом, показал 525 ± 11 млн лет (рис. 3).

С образованием сахаровидных альбититов связано появление ураноносных, иттриевых, тантал-ниобиевых минералов – фергюссонита и иттроколумбита – *редкометалльных пегматитов*. Фергюссонит образует сплошные выделения изометричной формы размером 2–5 см в диаметре, содержащие в виде включений зерна иттроколумбита, ферсмита, иттротанталита. Химический состав фергюссонита близок к теоретическому составу $YNbO_4$: CaO – 1,40; MgO – сл.; FeO – 0,36; TR(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; $\Sigma = 100,3$ % [4]. Кроме того, авторами установлены примеси U = 1,64 % и Th = 0,012%, Zr = 0,31 %, которые возможно относятся к минеральным примесям в виде циркона, уранинита, колумбита и других минералов, установленные рентгеноструктурным анализом в

метамиктной массе фергюссонита.

Выделения иттроколумбита имеют изометричную форму, достигают 1 см в попе-

речнике и находятся в сахаровидном альбите. Цвет минерала черный, на отдельных участках наблюдаются буровато-красные внутрен-



Рис. 2. Крупный кристалл иттроэпидота сечется агрегатом мелкозернистого альбитита, развивающегося по анортоклазиту (жила № 3, Слюдяногорское месторождение, Уфалейский комплекс)

ние рефлексы. Иттроколумбит метамиктный, после прокаливания при 800 °С появляется дифракционная картина. Сравнение рентгенограмм показывает хорошее совпадение ис-

следуемого минерала с искусственной фазой FeNbO_4 . Химический состав иттроколумбита: $\text{CaO} = 0,38\text{--}0,60$; $\text{TiO}_2 = 3,89\text{--}4,13$; $\text{MnO} = 0,02\text{--}0,14$; $\text{FeO} = 11,35\text{--}11,28$; $\text{Y}_2\text{O}_3 = 11,69\text{--}$

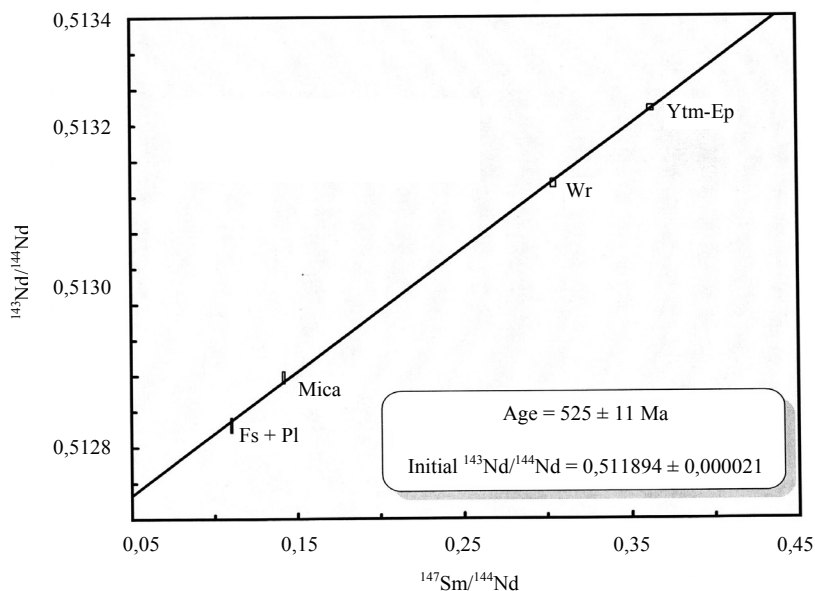


Рис. 3. Абсолютный возраст альбитизированных анортоклазитов с иттроэпидотом, определенный Sm-Nd методом. Образец У-47/13, Слюдяногорское месторождение (Уфалейский комплекс); Fs + Pl – альбит по анортоклазу; Mica – флогопит; Wr – ильменорутил; Ytm – Ep – иттроэпидот

$12,53$; $\text{Nb}_2\text{O}_5 = 38,74\text{--}38,56$; $\text{Ce}_2\text{O}_3 = 0,14\text{--}0,10$; $\text{Ta}_2\text{O}_5 = 12,02\text{--}12,51$; $\text{WO}_3 = 1,68\text{--}1,36$; $\text{PbO} = 0,32\text{--}0,08$; $\text{ThO}_2 = 0,37\text{--}0,39$; $\text{UO}_2 = 8,27\text{--}6,85$;

$\text{Er}_2\text{O}_3 = 9,11\text{--}9,01$; $\Sigma = 98,04\text{--}97,55$ [13].

В телах рифейских карбонатных метасоматитов под действием гидротермальных

растворов наблюдается перекристаллизация раннего кальцита желтого цвета, с образованием прозрачных полигонально зернистых агрегатов кальцита. Перекристаллизация кальцита сопровождается кристаллизацией флогопита, имеющего индукционные грани роста, что свидетельствует об одновременном росте с кальцитом. Среди зерен кальцита и флогопита наблюдаются многочисленные мелкие кристаллики октаэдрического магнетита и пирротина. Что касается редкометальной 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 карбонатных метасоматитах палеозойского метасоматического этапа формирования этих тел. Поздние карбонатные метасоматиты содержат в большом количестве апатит, титаномагнетит, рутил, титанит, ксенотим, пирохлор, колумбит, новообразованный иттроэпидот, содержащие в повышенных количествах: 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 г/т.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кейльман Г. А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра. 1974. 200 с.
2. Овчинников Л. Н. Обзор данных по абсолютному возрасту геологических образований Урала // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. 1963. Т. 1. С. 57–83.
3. Краснобаев А. А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 186 с.
4. Минеев Д. А. Редкоземельный эпидот из пегматитов Среднего Урала // ДАН СССР. 1959. Т. 127, № 4. С. 865–868.
5. Ларин А. М. Редкометальные месторождения докембрия // ГРМ. 1989, № 4. С. 12–21.
6. Геология месторождений редких элементов. М.: Госгеолтехиздат, 1962. Вып. 15. 106 с.
7. Кушев В. Г. Щелочные метасоматиты докембрия. Л.: Недра, 1970. 189 с.
8. Попов В. А. О нашумевшем уральском «иттроэпидоте» из Слюдорудника // Тринадцатые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: ИМ УрО РАН, 2012. С. 18–23.
9. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
10. Недосекова И. Л., Прибавкин С. В., Пушкарев Е. В. Sr-Nd-C-O изотопные данные и геохимия карбонатов Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса и Куртинской зоны (Южный Урал) // Ежегодник-2004. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2005. С. 198–206.
11. Попов В. А. Структуры и текстуры карбонатитов // Металлогения древних и современных океанов-2008. Миасс: ИМ УрО РАН, 2008. С. 285–289.
12. Попов В. А., Попова В. И. Минералогический аспект проблемы карбонатитов на Урале // Металлогения древних и современных океанов-2004. Миасс: ИМ УрО РАН, 2004. С. 264–269.
13. Суставов С. Г., Огородников В. Н. Иттроколумбит-(Y) в мусковитовых пегматитах Слюдяногорского месторождения (Южный Урал) // Вестник Уральского отделения Российского Минералогического Общества. 2008. № 5. С. 106–112.

Поступила в редакцию 6 мая 2014 г.

Огородников Виталий Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: fgg.gl@m.ursmu.ru

Поленов Юрий Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: fgg.gl@m.ursmu.ru

Савичев Александр Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ansavichev@mail.ru