

УДК 594.01 (571.5)

© Д. чл. В. Б. САВЕЛЬЕВА,* д. чл. Е. П. БАЗАРОВА,*
Е. А. ХРОМОВА,** С. В. КАНАКИН**

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ПОРОДАХ КАТУГИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ): ПОВЕДЕНИЕ ЛАНТАНОИДОВ И Y ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НАСЫЩЕННОГО ФТОРОМ АГПАЙТОВОГО РАСПЛАВА

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128;
e-mail: vsavel@crust.irk.ru

Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6;
e-mail: lena.khromova.00@mail.ru

Изучен химический состав и генезис главных редкоземельных минералов из эгириновых, эгирин-арфведсонитовых, арфведсонитовых и аннит-рибекит-арфведсонитовых гранитов Катугинского редкометалльного (Ta-Nb-Zr-Y с криолитом) месторождения в юго-западной части Алданского щита. Редкоземельная минерализация в гранитах представлена двумя типами: вкрапленным, образованным зернами пироклора и в меньшей мере других Nb-Ln-оксидов, Ln-фосфатов и Ln-фторкарбонатов в ассоциации с цирконом, ильменитом, сфалеритом и др., и интерстициальным, образованным сростаниями Ln-фторидов.

Ключевые слова: щелочные граниты, редкоземельные элементы, пироклор, гагаринит-(Y), флюоцерит-(Ce), иттрофлюорит, бастнезит-(Ce), фторидный солевой расплав.

V. B. SAVELYEVA,* E. P. BAZAROVA,* E. A. KHROMOVA,** S. V. KANAKIN,**
RARE-EARTH MINERALS IN ROCKS OF THE KATUGINSKOE RARE-METAL DEPOSIT
(EAST TRANSBAIKALIA): BEHAVIOR OF LANTHANIDES AND Y
DURING CRYSTALLIZATION OF THE SATURATED-IN-FLUORINE AGPAITIC MELT

* Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

** Geological Institute, Siberian Branch of RAS, Ulan-Ude, Russia

Chemical composition of principal rare-earth minerals in aegirine, aegirine-arfvedsonite, arfvedsonite and annite-riebeckite-arfvedsonite granites of the Katuginskoe rare-metal (Ta-Nb-Zr-Y, with cryolite) deposit occurring in the southwest part of the Aldan Shield has been studied. Rare-earth mineralization in those granites is represented by two its types: 1) dissemination of pyrochlore grains and in, a lesser degree, of other Nb-Ln-oxides, Ln-phosphates and Ln-fluorine carbonates in association with zircon, ilmenite, sphalerite, etc. and 2) an interstitial type formed by intergrowths of Ln-fluorides. This interstitial type is characteristic mainly to arfvedsonite granites. Crystallization of rare-earth oxides, phosphates and fluorine carbonates from the silicate melt has caused the fractionation of, predominantly, Ln_{Ce} and, partly, of Y and Ln_Y . The presence of interstitial intergrowths of gagarnite-(Y), tveitite-(Y), yttrifluorite and fluocerite-(Ce), as well as inclusions of these minerals in zir-

con and pyrochlore, suggests that their formation was connected with the separation of fluoride calcium melt with concentrated Na, Sr, Y and lanthanides, predominately Ln_{Ce} -Sm. Crystallization of the fluoride melt took place at the late magmatic-postmagmatic stage. Formation of bastnaesite-(Ce) rims around gagarinite-(Y) segregations and replacement of tveitite-(Y) by bastnaesite-(Ce) indicates the effect of a Ln -fluoride fluid rich in CO_2 separated during crystallization of the silicate melt. Hydrothermal change of pyrochlore accompanied by Ln remobilization and formation of veins of the low-temperature bastnaesite-(Ce) suggests an increase of the F concentration in water-carbonic fluid after finished crystallization of fluoride melts.

Key words: alkaline granites, rare-earth elements, pyrochlore, gagarinite-(Y), fluocerite-(Ce), yttrifluorite, bastnaesite-(Ce), fluoride salt melt.

Подавляющее большинство месторождений редких земель генетически связано со щелочными породами (Солодов и др., 1987). Что касается гранитоидов, то редкоземельная специализация в наибольшей степени характерна для гранитов А-типа, богатых F (Bonin, 2007). Фтор играет важную роль в процессах кристаллизации расплавов. Он существенно снижает температуру солидуса и вязкость расплавов (Manning, 1981; Dingwell et al., 1985; Giordano et al., 2004), обуславливая более глубокую их дифференциацию, увеличивает растворимость в расплавах высокозарядных элементов (Keppler, 1993), а также вследствие высокой способности к комплексообразованию способствует переносу и концентрированию литофильных редких элементов, в том числе Ln и Y (Williams-Jones et al., 2000; Webster et al., 2004; Schönenberger et al., 2008; Agangi et al., 2010; Huang et al., 2014; Dostal, Shellnutt, 2016). В лейкократовых алюмосиликатных расплавах с высокими концентрациями F проявляется несмесимость силикатного расплава с фторидным солевым расплавом, обладающим высокой экстрагирующей способностью по отношению к Y и Ln (Граменицкий и др., 2005; Veksler et al., 2005, 2012; Перетяжко, Савина, 2010; Соловова и др., 2010; Щекина и др., 2013; Vasyukova, Williams-Jones, 2014a, b).

Катугинское месторождение находится в юго-западной части Алданского щита и относится к числу уникальных месторождений Ta, Nb, Zr, U, PЗЭ и криолита (Осокин и др., 2000). На ранних стадиях изучения вмещающие оруденение породы были охарактеризованы как щелочные метасоматиты (Прохоров, Собаченко, 1985; Архангельская и др., 1993, 2012; Быков, Архангельская, 1995, и др.), однако исследованиями последних лет обоснован магматический генезис месторождения, а рудовмещающие породы рассматриваются как анорогенные щелочные граниты (Ларин и др., 2002, 2012, 2015; Левашова и др., 2014; Котов и др., 2015). Редкоземельная минерализация в гранитах представлена двумя типами — вкрапленным, образованным главным образом пироксеном и в меньшей мере зернами других редкоземельных оксидов, фосфатов, фторкарбонатов, и интерстициальным, представленным межзерновыми выделениями Ln -фторидов и бастнезита-(Ce) (Скляр и др., 2016). Присутствие в гранитах криолита позволяет рассматривать фтор как один из важнейших факторов, влияющих на поведение редкоземельных элементов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАТУГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождение находится в южной части Сибирского кратона, на стыке Катугинского выступа архейского Алданского щита и Кодаро-Удоканского раннепротерозойского протоплатформенного прогиба (Архангельская и др., 1993; Скляров и др., 2016) (рис. 1). Щелочные граниты катугинского комплекса образуют два массива: площадью около 18 км² (Западный массив) и

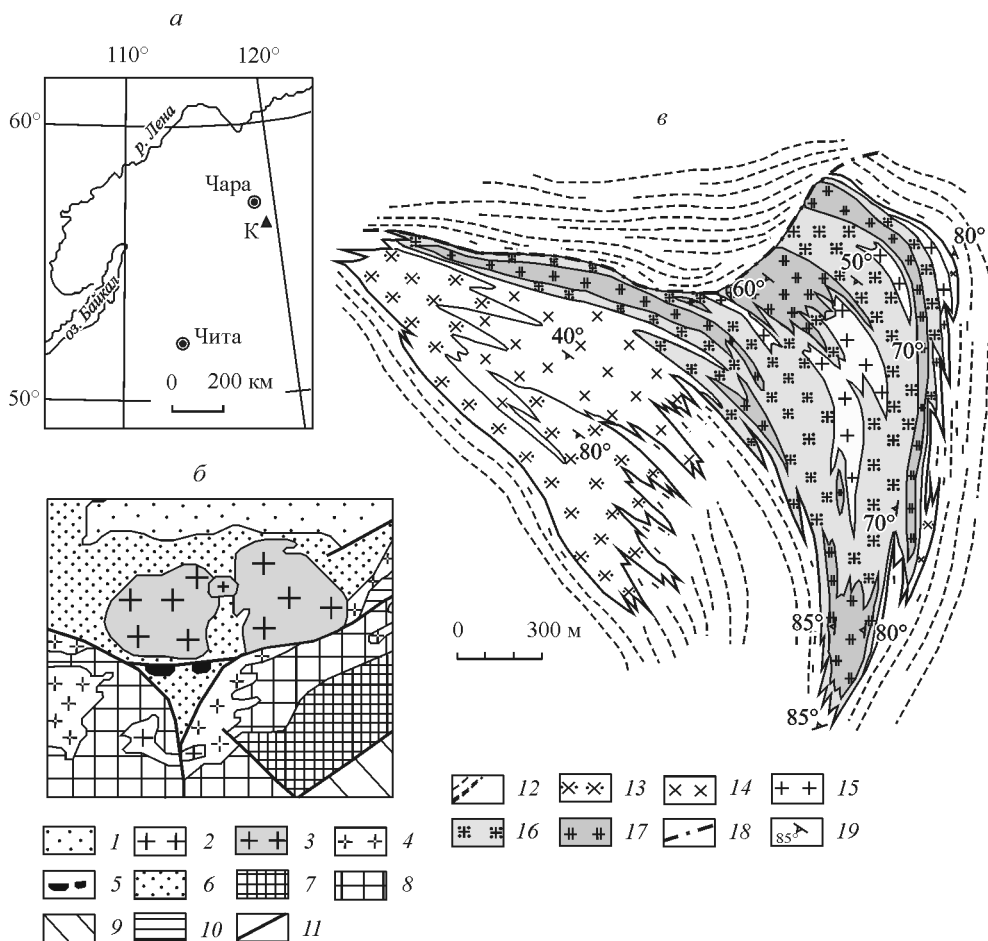


Рис. 1. Схемы расположения Катугинского месторождения (а) и массивов гранитоидов катугинского комплекса (по: Ларин и др., 2012) (б), схематическая геологическая карта Восточного Катугинского массива (по: Прохоров, Собаченко, 1985, с изменениями Е. В. Склярова и Д. П. Гладкочуба) (в).

1 — кайнозойские отложения; 2 — гранитоиды Pz₃-Mz; 3 — постколлизийные гранитоиды кодарского комплекса (1.88—1.87 млрд лет); 4 — синколлизийные граниты (1.91 млрд лет); 5 — анорогенные щелочные граниты катугинского комплекса (2.07 млрд лет); 6 — метасадочные породы эпикратонных впадин Удоканского типа (PR₁); 7 — каларский постколлизийный анортозит-чарнокитовый магматический комплекс (2.62 млрд лет); 8 — высокобарические гранулиты; 9 — супраструктурные образования станового комплекса; 10 — тоналит-трондьемитовые ортогнейсы и зеленокаменные пояса; 11 — разрывные нарушения; 12 — гнейсы, мигматиты; 13—17 — граниты катугинского комплекса: 13 — биотитовые, 14 — рибекит-биотитовые, 15 — биотит-арфведсонитовые, 16 — арфведсонитовые, 17 — эгирин-арфведсонитовые и эгириновые; 18 — разломы; 19 — элементы залегания сланцеватости.

Fig. 1. Scheme of location of the Katuginskoe rare-metal deposit (a), granitoid massifs of Katuginsky complex (b), and a geological sketch map of the East Katuginsky massif.