

Распределение элементов в тонкослоистых богатых Nb-REE рудах массива Томтор (по данным сканирования РФА-СИ)

© *Е. В. Лазарева*¹, *С. М. Жмодик*¹, *А. В. Толстов*², *Н. С. Карманов*¹, *А. В. Дарьин*¹, *И. С. Кириченко*¹

¹ Институт Геологии и Минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

E-mail: lazareva@igm.nsc.ru

² АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный, Россия. E-mail: TolstovAV@alrosa.ru

Представлены результаты изучения распределения главных элементов (Fe, Mn, Ti, Nb, Ce, La) в тонкослоистых богатых REE-Nb рудах массива Томтор. Проведено сканирование образца руды поперек слоистости с шагом 0,2 мм, используя неразрушающее, высокоразрешающее сканирование методом РФА-СИ. Данные элементного сканирования сопоставлены с изучением минерального состава. Сравниваются закономерности распределения Ce, La, Nd в фосфатах REE и веществе в целом.

Ключевые слова: месторождения REE и Nb; зона окисления; карбонатиты; монацит; крандаллит.

The distribution of elements in the thin-layered Nb-REE rich ores of the Tomtor massif (according to the SR-XRF scanning data)

*E. V. Lazareva*¹, *S. M. Zhmodik*¹, *A. V. Tolstov*², *N. S. Karmanov*¹, *A. V. Dar'in*¹, *I. S. Kirichenko*¹

¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: lazareva@igm.nsc.ru

²Alrosa PJSC, Mirny, Russia. E-mail: TolstovAV@alrosa.ru

The results of studying the distribution of the main elements (Fe, Mn, Ti, Nb, Ce, La) in thin-layered high-grade REE-Nb ores of the Tomtor massif are presented. Scanning of the ore sample across the lamination in 0.2 mm increments was carried out using non-destructive, high-resolution scanning by SR-XRF method. The data of scanning are compared with the study of mineral composition. The regularities of the distribution of Ce, La, Nd in REE phosphates and the substance as a whole are compared.

Keywords: REE and Nb deposits; oxidation zone; carbonatites; monazite; crandellite.

На севере Республики Саха (Якутия) располагается уникальное Nb-REE месторождение, связанное с Томторским массивом ультраосновных щелочных пород и карбонатитов [3, 4]. Широко известны богатые руды трёх пластовых залежей (участки Северный, Южный и Буранный) [2], которые, заполняют впадины на «просевшей» коре выветривания, сформированной по карбонатитам. Вещество богатых руд, согласно проведённым ранее исследованиям, формировалось в гипергенных условиях, о чём свидетельствуют обнаруженные растительные остатки. Размер минеральных частиц руд (80% < 20 мкм) говорит о том, что большая часть вещества образовалась в результате гидрохимического осаждения из раствора. Соглашаясь с ранее проведёнными исследованиями [1], авторы полагают, что руды являются озерными отложениями, сложенными обломочными минералами, поступившими из пород массива (пироклор, оксиды Ti, кварц и т.д.) и аутигенными хемогенно-осадочными (монацит, минералы группы крандаллита, гётит и т.д.) [2]. В типичных богатых рудах тонкозернистая масса монацита, минералов группы крандаллита и гетита составляет тонкослоистую структуру. Ширина отдельных, четко выделяемых, слоев в некоторых местах не превышает 20 мкм. В этой тонкодисперсной массе наблюдаются отдельные зерна пироклора или оксидов Ti. Главным минералом редкоземельных элементов в Nb-REE рудах и породах коры выветривания является монацит. В рудах монацит образует экзотические биоморфные агрегаты и редко встречается в виде субмикронных кристаллов. Монацит в рудах участка Буранный распространен в виде наночастиц размером около 50 нм, которые плотным слоем покрывают внешнюю часть галлуазитовых трубок (длиной 800—3000 нм, диаметром 300 нм) и создают своеобразные биоморфные агрегаты [2]. Монациты из пород участков Северный и Южный по морфологическим особенностям сходны. Как показали исследования монацитов из руд участка Буранный, соотношение La-Ce-Nd в них различается. На диаграмме Ce-La-Nd (рис. 1В) точки составов изученных монацитов образуют небольшое поле. Прослеживается тренд: при сходном соотношении La и Nd — изменяется содержание Ce. Вопрос о генезисе богатых руд, по-прежнему, остаётся дискуссионным. Для выявления условий образования высоких Nb-REE концентраций проведено исследование закономерностей распределения элементов в рудах методом сканирования образца поперек слоистости с шагом 0.2 мм, используя неразрушающее, высокоразрешающее сканирование РФА-СИ. Измерения проводились на станции коллективного пользования СЦСТИ (Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения в Институте ядерной физики СО РАН

имени Г.И. Будкера), с помощью электрон-позитронного накопителя ВЭПП-3. Данные сканирования сопоставлены с изучением минерального состава образца руды.

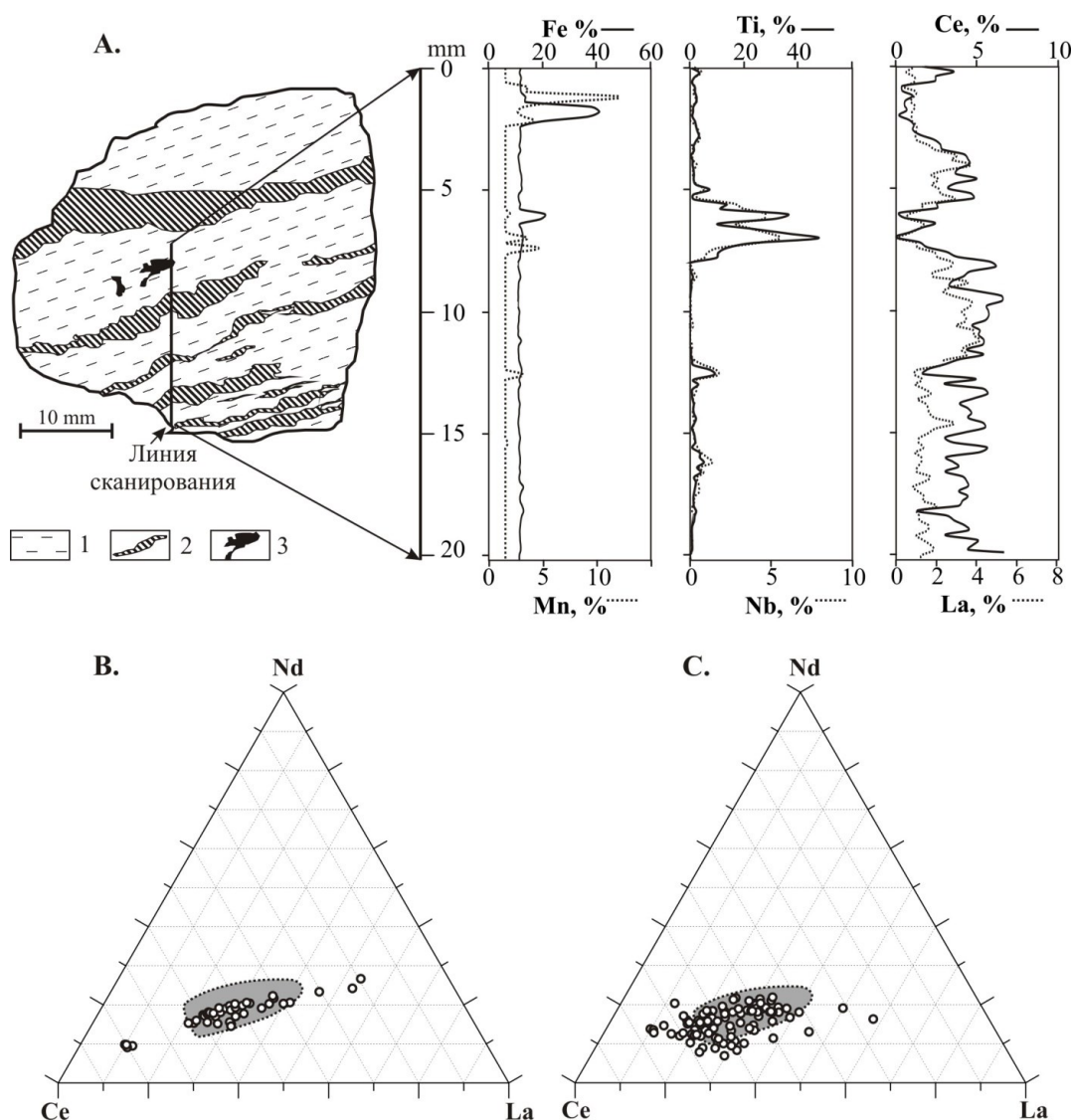


Рис. 1. Закономерности распределения Fe, Mn, Ti, Nb, Ce, La во фрагменте тонкослоистых богатых REE-Nb руд массива Томтор (скв. 308, инт. 63м, участок Южный) по данным сканирования РФА-СИ (А.), Ce, La, Nd в фосфатах REE по данным СЭМ (В.) и веществе руды по данным сканирования РФА-СИ: 1 — тонкослоистое вещество сложенное преимущественно минералами группы крандаллита, монацитом (и/или рабдофаном) и гётитом; 2 — слои и линзы обогащённые обломочным веществом, преимущественно оксидами Ti, 3 — обособления пирита; серое поле на диаграммах Ce-La-Nd — составы монацитов участка Буранный.

Для изучения выбран типичный образец руды участка Южный. Он сложен преимущественно минералами группы крандаллита, монацитом (и/или рабдофаном) оксидами Ti с примесью Fe, Nb. Встречаются единичные зёрна апатита, пирита, сфалерита, галенита. Установлено небольшое количество каолинита, мусковита, пирохлора, кварца. Содержание Nb_2O_5 составляет 0.49 % (обеспечивается в основном примесью в оксидах Ti), REE_2O_3 — 10 %, Y_2O_3 — 0.19 %. Основная масса вещества представлена тонкими слоями в которых преобладают монацит совместно с гётитом или минералы группы крандаллита. Хорошо выделяются слои, сложенные обломочным материалом — преимущественно сравнительно крупными зёрнами рутила (до 1 мм) — на профиле сканирования они выделяются высокими содержаниями Ti и Nb (рис. А). Встречаются отдельные обособления пирита (пики Fe) и слои сложенные родохрозитом (пики Mn). Распределение Ce и La местами подобно, но в отдельных участках противоположно — т.е. при увеличении содержания Ce снижается содержание La. Разница в соотношении La-Ce-Nd также ярко проявлена в разных морфологических типах фосфатов REE (рис. В). Фосфаты, с наиболее высоким содержанием Ce формируют агрегаты из игольчатых (или пластин-

чатых) индивидов. Промежутки в агрегатах (тип 1) заполнены фосфатом REE (тип 2) с меньшим содержанием Се. Весьма распространены трубчатые агрегаты фосфата REE, в которых трубочки расходятся от единого полого центра (тип 3), подобные монацит-галлуазитовые агрегаты установлены в рудах участка Буранный [2]. По составу эти образования находятся в средней части тренда и подобны монацитам участка Буранный. Сложные экзотические образования фосфата редких земель в виде плотного цветка с заполненной сердцевинной (тип 4) имеют наиболее низкое содержание Се.

На трёхкомпонентной диаграмме различные соотношения La-Ce-Nd проявлены в виде тренда, который, в целом, подтверждается и по данными РФА-СИ, но с несколько большим разбросом (рис. С). Такая неоднородность составов проявляется на нормированных спектрах распределения REE в виде изменений размера и знака Се аномалии. Появление положительной аномалии Се, как правило, наблюдается в океанических или почвенных железо-марганцевых конкрециях и объясняется переменными окислительно-восстановительными условиями, влияющими на изменение степени окисления Се, с +3 на +4. Можно предположить такое изменение и при формировании богатых руд массива Томтор. В пользу этого вывода также свидетельствует и сонахождение минералов Fe разных степеней окисления: гётит — Fe^{3+} и пирит — Fe^{2+} .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 18-17-00120.

Литература

1. Коноплев А. Д., Кузьмин В. И., Эпштейн Е. М. Геолого-минералогические особенности делювиально-озерной россыпи на коре выветривания редкометалльных карбонатитов // Минералогия и геохимия россыпей. М.: Наука, 1992. С. 111–124.
2. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) / Лазарева Е. В. [и др.] // Геология и Геофизика. 2015. Т. 56. № 6. С. 1080–1115.
3. Минерогения кор выветривания карбонатитов. Методическое руководство / Ред. Н. В. Межеловский. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС. 2011. 308 с.
4. Толстов А. В. Главные рудные формации севера Сибирской платформы. М.: ИМГРЭ. 2006. 212 с.

Лазарева Елена Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск.