

*А.В. Корякина<sup>1</sup>, О.Ю. Плотинская<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Московский государственный университет, г. Москва, Россия  
anna8691koryakina@yandex.ru*

*<sup>2</sup> – Институт геологии рудных месторождений,  
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва, Россия*

## **Особенности химического состава и структуры апатита Тарутинского медного месторождения (Южный Урал)**

*A.V. Koryakina<sup>1</sup>, O.Yu. Plotinskaya<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Moscow State University, Moscow, Russia*

*<sup>2</sup> – Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS,  
Moscow, Russia*

### **Features of chemical composition and texture of apatite in the Tarutino copper deposit (Southern Urals)**

**Abstract.** The Tarutino skarn copper deposit is located 200 km south of Chelyabinsk. We studied features of chemical composition and texture of apatite from two boreholes: 506 and 3712. Apatite occurs with quartz, carbonate, chlorite and ore mineral, contains Cl, F, S, Si, Fe and As and shows green and yellow-green cathodoluminescence.

Тарутинское медно-скарновое месторождение расположено в 220 км к югу от г. Челябинска в зоне сочленения Восточно-Уральской вулканогенной и Зауральской зон. Месторождение приурочено к южному контакту Южно-Карамысовского массива диоритов и вулканогенно-осадочной катенинской толщи силурийско-девонского возраста [Грабежев и др., 2005]. Скарны представляют собой тела мощностью 1–28 м и длиной 50–100 м, перемежающиеся с измененными гранитоидами. Главными минералами скарнов являются гранат и эпидот, в подчиненном количестве встречаются амфибол и пироксен [Грабежев и др., 2002].

Апатит является акцессорным минералом месторождений разных генетических типов. Его состав и структура отражают особенности условий среды кристаллизации, в том числе, апатит характеризует вариации содержаний галогенов, которые играют важную роль в процессах гидротермального рудообразования [Грабежев и др., 2010а, б; Холоднов и др., 2016]. В работе представлены первые данные по изучению апатита Тарутинского скарнового месторождения из скважин № 506 и № 3712. Состав минерала проанализирован на электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV (Япония) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy-350 (Oxford Instrument Ltd., Великобритания, аналитик Н.Н. Коротаева). Катодолюминесцентные исследования апатита проведены на рентгеновском микроанализаторе MS-46 фирмы «Самеса», оптическая система которого модернизирована и адаптирована под CCD-цифровую камеру высокого разрешения фирмы «Видеоскан» (Россия) модель 285/Ц/П-USB (SONY ICX285AQ, цветная, ТЭ-охлаждаемая) с управляющим программным обеспечением «Videосcan Viewer», в лаборатории анализа минерального вещества Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва (аналитик О.М. Жиличева).

Зерна апатита в изученных скарнах развиваются совместно с кварцем, хлоритом, карбонатом и рудными минералами на поздних стадиях гидротермального процесса. Апатит наблюдается в виде включений в зернах граната (рис. 1а, б), совместно с другими

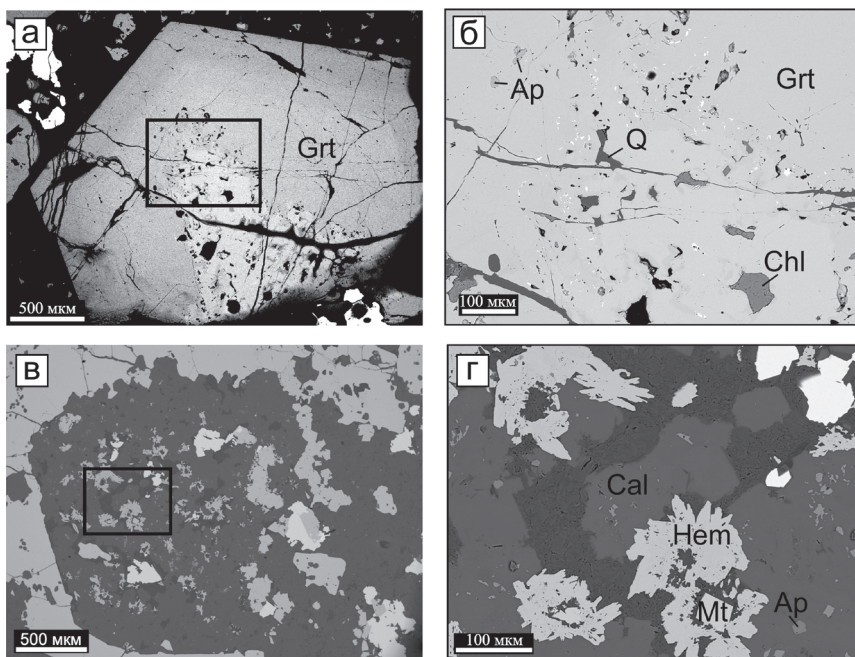


Рис. 1. Апатит Таругинского месторождения в обратно-рассеянных электронах: а – включения апатита в гранате, обр. Таг-3712-163.1; б – деталь рис. а; в – зерна апатита в ассоциации с поздними минералами, обр. Таг-506-153; г – деталь рис. в.

Здесь и далее, Grt – гранат, Ap – апатит, Q – кварц, Chl – хлорит, Cal – кальцит, Hem – гематит, Mt – магнетит.

минералами в трещинах и интерстициях зерен граната, а также на месте замещения зерен граната (рис. 1в, г). Часть зерен имеет ксеноморфную форму и размеры около 10 мкм. Другие зерна гипидиоморфные размером от 10 до 100 мкм.

Апатит содержит FeO (0.1–1.31 мас. %) и SrO (0.17–0.29 мас. %) (табл.). Часть зерен содержит La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.13–0.33 мас. %), Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.17–0.35 мас. %) и Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.13–0.2 мас. %). Зерна апатита из образца Таг-506-153 характеризуются повышенными содержаниями As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2.46–3.23 мас. %) (таблица). Апатит характеризуется высокими содержаниями F (1.5–4.19 мас. %) и низкими – Cl (0.1–1.32 мас. %) (табл.). Такая закономерность подтверждает тенденцию, выявленную ранее для апатита магматических пород Таругинского месторождения [Грабежев и др., 2011а]. Согласно этой работе, содержание F варьирует от 1.15 ± 0.13 мас. % при содержании Cl 0.91 ± 0.41 мас. % в диорите, до 2.56 ± 0.90 мас. % при содержании Cl 0.38 ± 0.18 мас. % в измененном плагнограните, до 2.06 ± 0.29 мас. % при содержании Cl 0.07 ± 0.03 мас. % в послерудном микропегматитовом гранодиорите и до 1.15 ± 0.13 мас. % при содержании Cl 0.91 ± 0.41 мас. % в серицитизированном диоритовом порфирите (табл.). Увеличение содержаний F и уменьшение Cl от раннего к позднему апатиту обычно объясняется снижением температуры минералообразования. Такая закономерность подтверждается экспериментальными работами [Коржинский, 1991].

Содержания SO<sub>3</sub> в апатите составляет 0.09–1.15 мас. % (табл.). Примесь S обусловлена изоморфизмом аниона (PO<sub>4</sub>)<sup>-3</sup> и компенсирующего его заряд группой анионов (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> и (SiO<sub>4</sub>)<sup>-4</sup> по гетеровалентной схеме изоморфизма S<sup>6+</sup> + Si<sup>4+</sup> = 2P<sup>5+</sup> [Peng et al., 1997]. Содержания SiO<sub>2</sub> варьируют от 0.27 до 1.32 мас. %. Между содержаниями SiO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub> наблюдается прямая зависимость (r = 0.87) (рис. 2).

Химический состав апатита по результатам электронно-микронзондового анализа (мас. %)

№ обр.	№ ан.	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	SrO	F	Cl	SO <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Тар-3712-163.1	1	50.40	38.07	0.88	0.52	0.20	1.64	1.32	0.41	0.2	0.11	—	—	—	—	0.14	0.35	0.20
	2	51.11	39.07	0.48	0.55	0.27	1.50	1.20	0.17	0.11	0.12	—	—	—	—	0.16	0.32	—
	3	53.29	40.56	0.27	0.31	0.28	2.20	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	52.14	39.09	0.56	0.42	0.24	2.04	0.42	0.09	—	—	—	—	—	—	0.13	0.22	—
Тар-3712-164	5	53.01	40.66	0.39	1.31	0.28	2.45	0.21	—	—	—	—	0.06	—	—	—	—	0.13
Тар-3712-187.5	6	55.49	41.59	0.34	—	0.21	2.60	0.26	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	—
	7	55.48	41.30	0.35	0.07	0.24	2.53	0.51	0.11	—	—	—	0.06	—	—	—	—	—
	8	55.86	41.59	0.35	0.10	0.27	2.45	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	54.32	40.17	0.99	0.71	0.17	2.47	0.28	—	—	—	0.09	0.06	—	—	—	—	—
Тар-506-127	10	55.88	42.17	0.28	0.66	0.28	3.23	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	11	55.31	41.16	0.46	0.55	0.22	1.55	0.40	0.16	—	—	0.08	0.09	—	—	—	—	—
	12	54.32	41.47	0.36	0.09	0.26	4.19	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	13	55.50	41.06	0.62	0.16	0.25	3.18	0.14	0.16	—	—	—	—	0.15	—	—	—	—
Тар-506-153.6	14	56.80	42.61	0.32	0.10	0.24	2.74	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тар-506-156.3	15	55.22	39.49	1.32	0.44	0.26	2.20	0.78	1.15	—	—	—	—	—	—	0.33	0.17	—
	16	55.15	40.12	1.14	0.43	0.20	1.95	0.69	0.90	—	—	—	—	—	0.23	0.23	—	—
	17	53.88	37.10	0.91	0.37	0.28	1.60	0.63	0.79	2.46	—	—	—	0.10	—	—	—	—
	18	54.42	38.72	1.32	0.42	—	1.91	0.44	1.13	—	—	—	—	—	—	0.18	0.2	—
Тар-506-153	19	54.64	38.54	0.96	0.73	0.29	2.33	0.41	1.02	3.23	—	—	—	—	0.67	—	—	—
	20	54.04	38.41	0.62	0.14	0.24	2.57	0.38	0.53	3.06	—	—	—	—	—	—	—	—

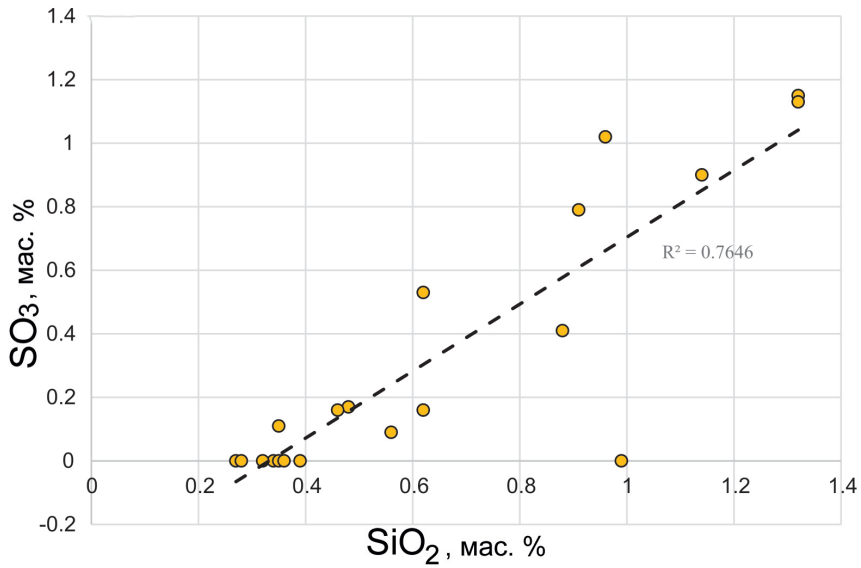


Рис. 2. Зависимость содержания S от SiO<sub>2</sub> в апатите скарнов Тарутинского месторождения.

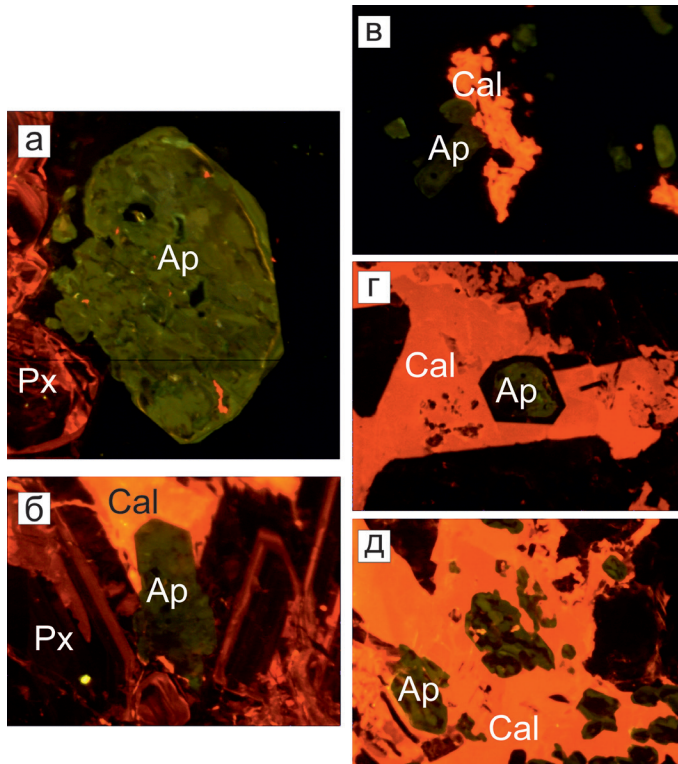


Рис. 3. Катодолуминесцентное изображение апатита в скарнах Тарутинского месторождения: а, б – обр. Tar-3712-187.5; в – обр. Tar-3712-163.1; г – обр. Tar-506-127; д – обр. Tar-506-153.6. Px – пироксен.

Зерна апатита характеризуются зеленым цветом в катодолюминесцентном излучении (рис. 3), что отличает их от апатита месторождений других генетических типов [Жиличева, 2010]. Подобный желто-зеленый оттенок имеет апатит из медно-порфировых месторождений [Bouzari et al., 2016]. Зерна имеют мозаичную зональность, а у части зерен наблюдаются каймы с более слабой люминесценцией. Зависимость между цветом люминесценции и составом апатита установить не удалось.

Таким образом, зональное строение зерен апатита и его состав в скарнах Тарутинского месторождения указывают на их образование в результате многостадийного процесса с перекристаллизацией и переотложением.

*Исследования выполнены в рамках базовой темы ИГЕМ РАН.*

## Литература

*Грабежев А.И., Белгородский Е.А., Сотников В.И., Гмыра В.Г.* Скарны Тарутинского скарново-медно-порфирового месторождения (Южный Урал) // Петрология. 2002. Т. 10. № 1. С. 46–59.

*Грабежев А.И., Гмыра В.Г., Вигорова В.Г., Пальгуева Г.В.* Гранаты из скарнов Гумешевского и Тарутинского скарново-медно-порфировых месторождений // Вестник Уральского отделения. 2005. Т. 4. С. 55–60.

*Грабежев А.И., Воронина Л.К., Чацухина В.А.* Фтор и хлор в апатитах медно-скарновых и скарново-медно-порфировых месторождений Урала // Ежегодник-2010а. Вып. 158. Екатеринбург: Труды ИГГ УрО РАН, 2011. С. 91–94.

*Грабежев А.И., Смирнов В.Н., Воронина Л.К., Гмыра В.Г.* Галогены в апатитах рудно-магматических медно-порфировых систем Среднего Урала // Ежегодник-2010б. Вып. 158. Екатеринбург: Труды ИГГ УрО РАН, 2011. С. 95–99.

*Жиличева О.М.* Люминесцентные свойства минералов по данным импульсной катодолюминесценции / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва: ИГЕМ РАН, 2010.

*Коржинский М.А.* Поведение растворенного солевого вещества в хлоридно-углекисловодном флюиде. Система  $H_2O-HCl-CO_2$  // Геохимия. 1991. № 6. С. 755–768.

*Холоднов В.В., Серавкин И.Б., Косарев А.М. и др.* Распределение галогенов и серы в апатитах медно-порфировых месторождений Южного Урала (новые данные) // Минералогия. 2016. № 1. С. 54–65.

*Bouzari F., Hart Craig J.R., Bissig T., Barker S.* Hydrothermal alteration revealed by apatite luminescence and chemistry: a potential indicator mineral for exploring covered porphyry copper deposits // Economic Geology. 2016. Vol. 111. P. 1397–1410.

*Peng G., Luhr J.F., McGee J.J.* Factors controlling sulfur concentrations in volcanic apatite // American Mineralogist. 1997. Vol. 82. P. 1210–1224.