



НОВОЕ В МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД МАССИВА ТОМТОР, СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Приводятся новые данные по минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд Томторского массива, включая главные и второстепенные оксидно-силикатные минералы, сульфидные и карбонатные редкие минералы, в том числе акцессорные редкоземельные фазы. Впервые для массива в карбонате апатит-магнетитовых руд и в пирите из нефелиновых сиенитов обнаружено рудное золото. В апатит-магнетитовых рудах установлены повышенные концентрации U, Th, Sc, позволяющие считать их источником высоких концентраций в карбонатах и их корах выветривания. На основании результатов изучения текстурно-структурных особенностей, минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд предложена последовательность образования минералов в магматический и постмагматический этапы, синхронные с главной фазой формирования карбонатитов массива Томтор.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Томтор, ультраосновной щелочной карбонатитовый комплекс, камафориты, фоскориты, апатит, магнетит, карбонат, редкоземельные элементы (РЗЭ), золото, платина.

Томторский массив имеет округлую форму диаметром ~20 км и концентрически-зональное строение, центральное ядро которого поперечником 5 км сложено карбонатитами и карбонатно-силикатными породами. Карбонатиты окаймляются с западной и восточной сторон нефелин-пироксеновыми породами (фоидолитами) в виде неполного кольца шириной до 2 км, включающими серповидные тела апатит-магнетитовых руд (рис. 1). Внешняя периферийная часть массива (шириной 3–7 км) сложена щелочными и нефелиновыми сиенитами. Все эти породы прорываются наиболее поздними дайками и трубками взрыва пикритов и альнеитов [15, 17, 24]. Комплексы пород, слагающие массив, наряду с высоко- и низкотемпературными метасоматическими процессами, в предпермское время претерпели мощные гипергенные преобразования, и на породах карбонатитового комплекса сформировались мощные рудоносные коры выветривания [12, 15].

В составе Томторского массива, представленного полихронными комплексами щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, содержащими уникальные редкоземельно-редкометалльные руды, известны жильные и линзовидные тела силикатно-магнетит-apatитовых пород. Ещё первыми исследователями в северо-восточной части массива среди якупирангит-ийолитовой серии пироксен-нефелиновых пород, окаймляющих карбонатитовое ядро, выявлена и околонтурена железорудная залежь камафоритов [19] с прогнозными ресурсами железа >1 млрд т [15, 17,

**Баранов
Леонид Николаевич^{1, 2}**

лаборант
baranovln95@gmail.com

**Толстов
Александр Васильевич^{1, 3}**

доктор геолого-минералогических наук
директор³
TolstovAV@alrosa.ru

**Округин
Александр Витальевич⁴**

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
okrugin@diamond.ysn.ru

**Слепцов
Афанасий Петрович⁵**

начальник геологической службы
объекта «Томтор»

¹ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск

² ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск

³ Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

⁴ ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

⁵ АО «Якутскгеология», г. Якутск

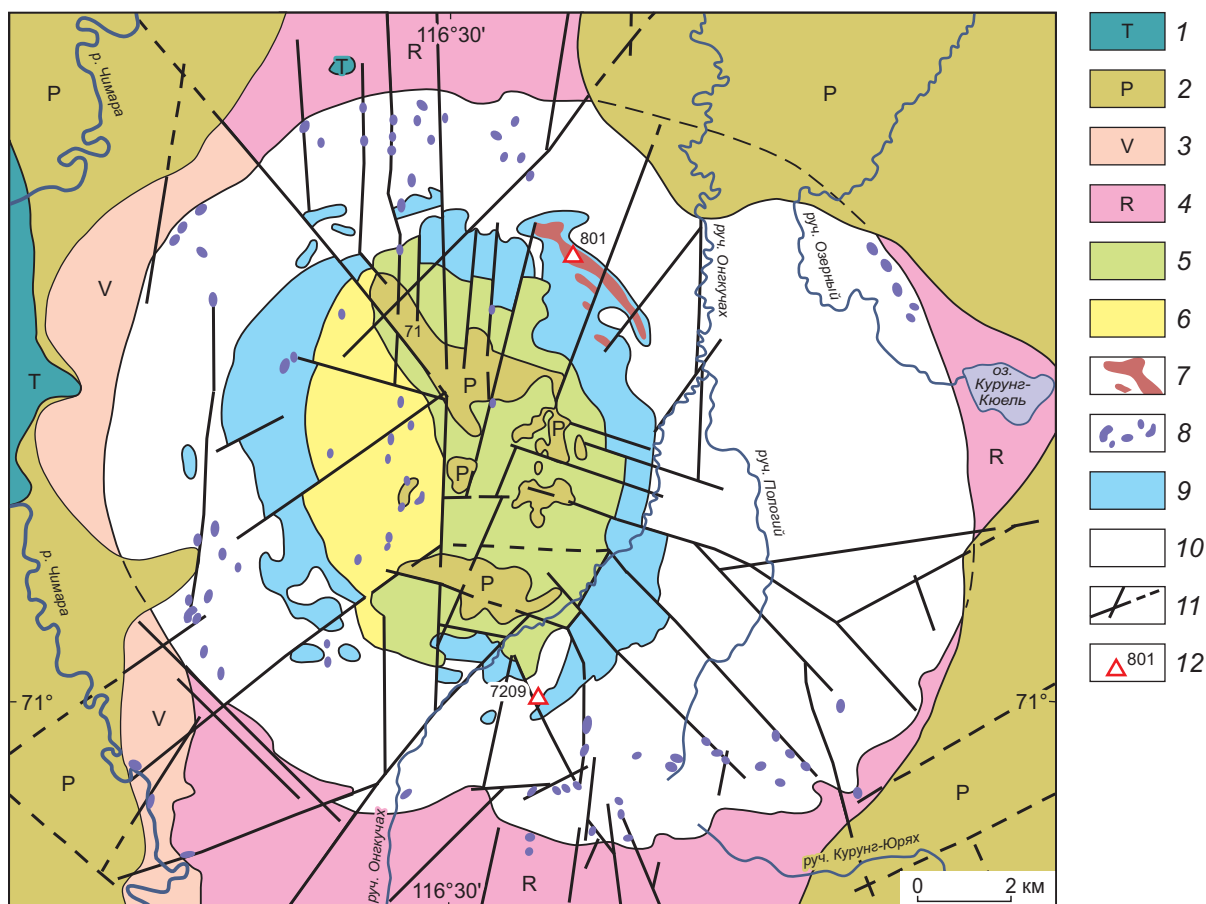


Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ТОМТОРСКОГО МАССИВА ПОСТРОЕНА НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ ДОЮРСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ МАССИВА ТОМТОР, СОСТАВЛЕННОЙ А.В.ТОЛСТОВЫМ (1998 г.) ПО МАТЕРИАЛАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ 1974–1983 гг. И РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ ЭБЕЛЯХСКОЙ ГРП:

1 – нижнетриасовые туфы, лавы платобазальтов; 2 – пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли; 3 – песчаники, гравелиты, алевролиты венда; 4 – доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники рифея; 5–7 – карбонатитовый комплекс: редкометалльные (5), безрудные карбонатиты (6) и камафориты (7); 8–10 – комплекс силикатных пород: мелкие секущие тела щёлочно-ультраосновных пород (8), фойдолиты (9), щелочные и нефелиновые сиениты (10); 11 – тектонические нарушения; 12 – местоположение скважин 801 и 7209

22, 24], параметры которой по изолинии аэромагнитной съёмки 400 кА/м составляют 4х0,2 км (см. рис. 1). Глубина залегания кровли рудного тела, перекрытого юрскими морскими отложениями, от 25 до 40 м, угол падения 75–80° на юго-юго-запад. Скважинами вскрыты магнетитовые руды и вмещающие породы, среди которых оконтурен блок размером 3500х(75–100) м.

В контурах магнитной аномалии существует серия сближенных крутопадающих рудных тел, разделённых блоками ийолитов, нефелиновых сиенитов, секущихся пострудными дайками. В пределах железорудной залежи камафоритов установлены

промышленные запасы апатит-магнетитовых руд, образующие месторождение Онкучах (участок Рудный). На участке Южный при оценочных работах также выявлены окисленные апатит-магнетитовые руды [18].

Первые данные о минералогических и геохимических особенностях апатит-магнетитовых руд Томторского массива приведены в работе А.В.Толстова [19]. Обнаружение в этих породах ощутимых количеств U, Th, TR, Y, Sc и Au [1, 18] диктует необходимость проведения дополнительных минералого-геохимических исследований, чему и посвящена настоящая работа. В связи с освоением

богатых руд Томторского месторождения актуальность изучения сопутствующих железо-фосфорных компонентов несомненна.

Специфические породы силикат-кальцит-магнетит-апатитового состава известны среди щёлочно-ультраосновных комплексов с карбонатами как фоскориты [26], нельсониты [25] или породы рудного комплекса [10]. Позднее для них был предложен новый термин «камафориты», т.е. породы, содержащие кальцит, апатит, магнетит и форстерит [2]. Хотя некоторые исследователи предпочитают первое историческое название «фоскорит», считая, что термин «камафорит» накладывает определённые минеральные парагенные ограничения [8]. Все синонимы отражают специфические составы отличающихся друг от друга рудных тел из разных месторождений. По классификации А.Г.Булаха и В.В.Иванникова [3], камафориты по минеральному составу делятся на четыре группы: с форстеритом, с пироксенами и амфиболами, со слюдами и без силикатов. К каждой группе относятся некоторые разновидности. Согласно упомянутой классификации, по преобладающим минералам апатит-магнетитовые породы массива Томтор можно отнести к группе камафоритов со слюдами, разновидность – флогопит-магнетит-кальцитовые с апатитом. Важно отметить, что апатит-магнетитовые руды Томтора содержат карбонатитовые обособления и реликты метасоматизированных вмещающих пород, а условия образования апатит-магнетитовых руд до конца не ясны. Соответственно вопрос о том, относятся ли исследуемые породы к камафоритам, остаётся дискуссионным. Для удобства описания, авторы сохранили название «камафорит», которым пользовались и ранее [1, 16, 19], за исключением тех случаев, когда речь идёт о карбонатитовых обособлениях и реликтах вмещающих пород.

Камафориты слагают как линзовидные тела, приуроченные к контакту фойдолитов и сиенитов, так и жилы, тела неправильной формы в ассоциации с карбонатами. Их становление началось в докарбонатитовый этап и продолжалось на протяжении формирования и изменения карбонатитов. Возраст камафоритов, полученный по флогопиту, колеблется от 800 ± 2 до 699 ± 31 млн лет. U-Pb датирование цирконов, выполненное С.Г.Скубловым (ГУП ВСЕГЕИ, публикация в печати) из наших образцов, показало возраст 400 Ма, что позволяет предположить более молодой возраст камафо-

ритов или, учитывая зональность цирконов, говорить о многоэтапности их формирования.

Результаты изучения массива Томтор приводятся в трудах многих исследователей, в том числе и в наших публикациях последних лет [4, 16, 21, 23 и др.]. Находки самородного золота непосредственно в породах массива [20], а также выявление в ближайшей к нему россыпи р. Маят железистой платины с силикатным включением, которое по минералого-химическому составу идентично мельтейгиту [9], показывают, что Томторский рудно-магматический комплекс может обладать вполне продуктивным благороднометалльным потенциалом, требующим дальнейшего внимательного рассмотрения.

Фактический материал и методы исследования. Анализировался преимущественно оригинальный керновый материал, отобранный авторами из скв. 801 глубиной 177 м, пройденной при оценочных работах, выполненных предприятием «Якутскгеология» в пределах Северного участка массива Томтор [18]. Для сравнения исследовались отдельные образцы из проб других скважин. Всего было изготовлено и изучено 225 шлифов и 225 аншлифов. Используются традиционные методы текстурно-структурного анализа минеральных ассоциаций в проходящем и отражённом свете.

Аналитические исследования выполнялись в Центре коллективного пользования ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Состав минералов определялся при помощи электронного сканирующего микроскопа с полевой эмиссией TESCAN MIRA 3, оборудованного энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с детектором XMax-80. Методом сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии проанализировано 10 образцов (аналитики Н.С.Карманов, Е.В.Лазарева). Химический состав проб пород из ядра скв. 801 (табл. 1) определён методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (аналитик Н.Г.Карманова).

Минералого-геохимические особенности апатит-магнетитовых руд. Состав пород и руд, слагающих главное тело камафоритов месторождения Онкучах и изученных нами, приводится в табл. 1. В породах установлено наличие РЗЭ до 1%, ThO₂ до 0,1%, Y₂O₃ до 0,4%. Максимальные их концентрации характерны для массивных апатитовых руд из камафоритов. Содержание Nb₂O₅ достигает 0,23%,

1. СОСТАВ ПОРОД И РУД ПО РАЗРЕЗУ СКВ. 801, масс. %

Глубина, м	Породы, руды	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ.}	MnO	MgO	CaO	BaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	п.п.п.	Σ
26,4	Камафориты	37,55	2,01	18,70	13,41	3,03	3,42	8,12	0,77	0,10	0,65	3,70	0,70	0,09	7,58	99,85
27,4	Апофидолиты	42,27	1,53	22,68	10,19	0,26	3,14	7,40	1,92	0,09	1,01	2,45	0,94	0,27	5,67	99,81
35,2	Апатитовые руды	15,19	0,69	5,40	2,62	0,23	0,22	39,34	0,10	0,59	0,16	3,73	23,46	1,48	3,80	97,00
41,9	Камафориты	36,79	2,02	19,05	10,89	0,32	5,13	10,65	0,41	0,25	3,48	4,83	2,22	0,94	2,85	99,84
48,0	Карбонатиты	7,08	0,13	2,55	15,33	0,46	9,81	27,35	0,06	0,12	0,01	1,43	0,22	0,12	35,29	99,95
59,5	Камафориты	25,59	5,15	8,97	16,71	0,46	7,22	14,41	0,10	0,30	0,12	5,43	3,99	0,43	10,79	99,69
61,6	Магнетитовые руды	20,56	3,69	8,48	45,38	0,68	9,01	3,21	0,08	0,08	0,54	3,51	1,51	2,74	0,23	99,70
62,9	Камафориты	20,41	2,38	4,93	12,82	0,44	12,41	17,67	0,24	0,15	0,90	2,88	0,07	0,49	23,88	99,68
63,95	Камафориты	31,14	3,17	11,12	22,64	0,43	10,99	5,31	0,26	0,19	0,41	6,93	0,90	5,27	0,91	99,69
102,8	Апофидолиты	49,70	0,80	19,71	7,39	0,16	1,90	3,12	0,74	0,17	1,41	11,45	0,21	0,61	2,57	99,93
111,1	Карбонатиты	11,33	1,80	4,43	8,44	0,47	6,51	31,68	0,05	0,50	0,01	2,86	8,11	0,42	23,07	99,67
111,9	Апофидолиты	37,52	2,16	19,04	11,19	0,28	5,48	11,43	0,31	0,25	3,16	5,22	2,24	0,84	0,12	99,25
112,6	Апатитовые руды	0,61	0,49	0,33	4,30	0,63	2,98	50,38	0,06	1,08	0,21	0,09	23,16	0,90	12,61	97,83
119,6	Магнетитовые руды	6,67	4,19	2,65	73,38	1,18	1,82	2,48	0,05	0,13	0,13	0,85	0,58	5,54	0,24	99,90
124,6	Магнетитовые руды	28,65	3,51	10,41	37,20	0,69	9,52	2,37	0,10	0,03	0,11	5,45	0,58	1,32	0,08	100,04
134,6	Камафориты	37,41	7,08	14,62	19,30	0,16	5,45	4,57	0,10	0,15	0,85	1,40	2,30	0,57	5,78	99,72
144,9	Апофидолиты	36,37	2,22	15,09	9,86	0,23	3,70	10,96	0,18	0,45	2,20	7,63	1,35	0,16	9,28	99,68
166,4	Карбонатиты	8,62	2,16	5,64	1,41	0,17	0,36	43,22	0,77	5,65	2,80	0,13	0,15	0,18	28,38	99,65
176,6	Камафориты	28,04	1,36	10,11	11,43	0,35	8,54	19,52	0,18	0,52	0,24	6,05	2,03	0,51	10,97	99,84

Примечание. Апофидолиты – метасоматически изменённые и карбонатизированные фидолиты.

максимальные концентрации отмечены в массивных магнетитовых рудах с большим количеством сульфидов. Содержание TiO₂ в массивных магнетитовых рудах с обилием сульфидов достигает 7%, но снижается до полного отсутствия в массивных апатитовых рудах и интенсивно карбонатизированных участках. Повсеместно отмечается присутствие V₂O₅, ZrO₂, ZnO, CuO, SrO, Cr₂O₃ и NiO от 0,0n до 0n%, изредка встречаются MoO₃ и WO₃ в количествах от 0,00n до 0,0n%.

Главные минералы апатит-магнетитовых руд – титаномagnetит, апатит, карбонаты, биотит, второстепенные и акцессорные – пироксен, нефелин, анальцит, хлорит, амфибол, мусковит, меланитовый гранат, кварц, рутил, различные сульфиды, хлорит-слюдистые агрегаты, карбонаты редкоземельных элементов и др.

Минеральный состав изучаемых пород значительно варьирует, в основном в пределах (в объёмных %): 30–70 магнетита, 10–50 карбонатов, 5–

60 апатита, 5–15 биотита, 5–15 сульфидов, 1–2 гидроксидов железа и 1–5 прочих минералов. Состав изменяется в зависимости от пространственного расположения – они могут быть в различной степени карбонатизированными, проработанными гидротермально и подвержены гипергенным процессам. Для них характерно большое количество реликтовых минералов силикатных пород – нефелиновых и щелочных сиенитов, ультраосновных щелочных пород, а также карбонатитовых обособлений.

Форма зёрен минералов в апатит-магнетитовых рудах варьирует от идиоморфных изометрично-полигональных (пирит, магнетит, титанит, циркон, апатит, гранат, нефелин) и призматических (пироксен, барит, миллерит) до игольчато-волокнистых (стронцианит, паризит, соли галогенов) и пластинчато-чешуйчатых (биотит, мусковит, хлорит).

По относительному размеру зёрен преобладают порфирокластические структуры, в меньшей

степени распространены порфиробластическая, неравнозернистая, редко встречается равномернозернистая. Размеры зёрен основных минералов камафоритов (магнетит, апатит, биотит) достигают первых сантиметров (до 5 см), а редкие выделения рудных и аксессуарных минералов могут иметь очень мелкие размеры до нескольких микрометров (рис. 2–5).

Для граната, титанита, полевых шпатов, циркона, пироксенов, амфибола, мусковита, хлорита, скаполита, нефелина, ильменита, ульвошпинели, армалколита, рутила, псевдорутила, карбонатов,

пирита, галенита, сфалерита, халькопирита, роксбеита, барита, баритоцелестина характерны размеры индивидов преимущественно от 1 мм до 5 мкм, для солей галогенов, золота, пирохлора, миллерита, пирротина – <5 мкм. По кристалличности камафориты представлены в основном аллотриоморфнозернистыми, идиоморфно- и гипидиоморфнозернистыми структурами. В апатит-магнетитовых рудах преобладают массивные и брекчиевидные текстуры, которые могут содержать признаки вкрапленной, пятнистой и прожилковой текстур.

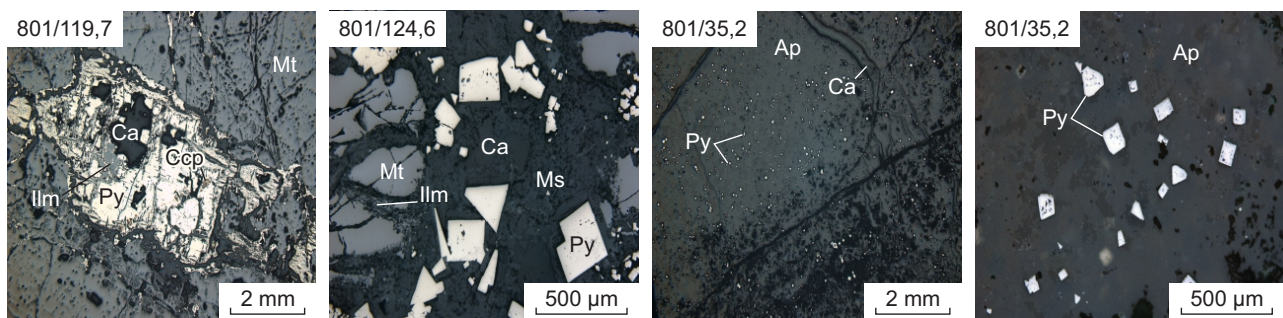


Рис. 2. КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНОЕ ГНЕЗДО И КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНЫЕ ПРОЖИЛКИ В МАССИВНОМ ТИТАНОМАГНЕТИТЕ, ОБР. 801/119,7; ИДИОМОРФНЫЕ И ГИПИДИОМОРФНЫЕ КРИСТАЛЛЫ ПИРИТА В КАЛЬЦИТ-СЕРИЦИТОВОМ АГРЕГАТЕ, ОБР. 801/124,6; ВКРАПЛЕННОСТЬ ПИРИТА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ С КАРБОНАТНЫМИ ПРОЖИЛКАМИ, ОБР. 801/35,2; ВКРАПЛЕННОСТЬ ИДИОМОРФНОГО ПИРИТА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ, ОБР. 801/35,2. ФОТО В ОТРАЖЁННОМ СВЕТЕ, НИКОЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫ:

Ap – апатит, Ca – кальцит, Ilm – ильменит, Mt – магнетит, Ms – мусковит, Py – пирит, Ccp – халькопирит

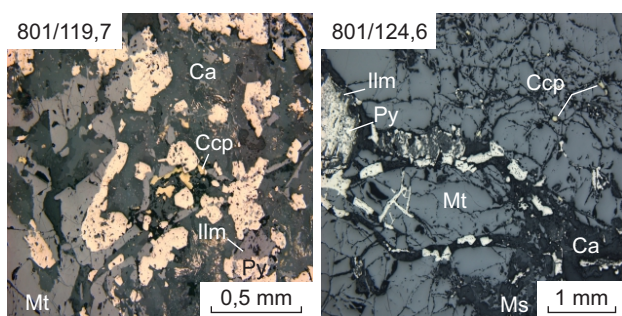


Рис. 3. КСЕНОМОРФНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ В КАРБОНАТНОЙ ЖИЛЕ С РЕЛИКТАМИ МАГНЕТИТА, ОБР. 801/119,7; КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНЫЕ ПРОЖИЛКИ, СЕКУЩИЕ МАССИВНЫЙ ТИТАНОМАГНЕТИТ, ОБР. 801/124,6. ФОТО В ОТРАЖЁННОМ СВЕТЕ, НИКОЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫ:

обозн. см. на рис. 2

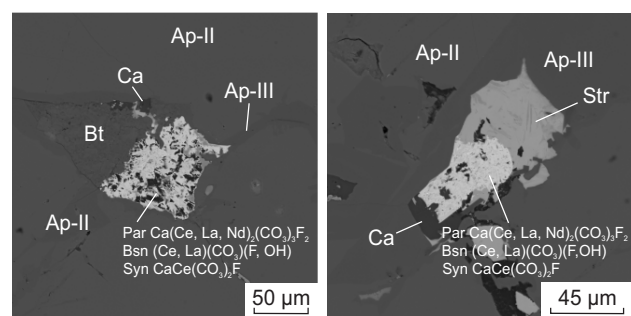


Рис. 4. КАРБОНАТНЫЕ ГНЁЗДА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ, ОБР. 801/62,9. СКАНИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП, СЪЁМКА В РЕЖИМЕ ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Ap – апатит, Bt – биотит, Ca – кальцит, Str – стронцианит, Par – паризит, Bsn – бастнезит, Syn – синхизит

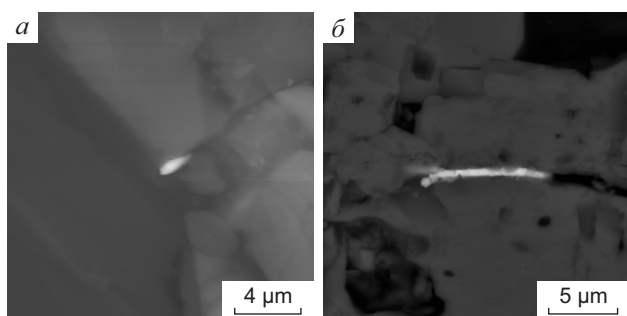


Рис. 5. САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В КАРБОНАТЕ КАМАФОРИТОВ (а) И ПИРИТЕ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ СИЕНИТОВ МАССИВА ТОМТОР (б). КАРТИНЫ В ОТРАЖЁННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Титаномагнетит – один из основных минералов камафоритов и магнетитовых руд – по данным микрозондового анализа постоянно содержит примесь TiO_2 в пределах первых процентов, редко достигая 10–20%. Как правило, отмечаются также примеси Al_2O_3 , MnO и V_2O_5 – первые десятые процента, иногда 1%. В титаномагнетитах с высоким содержанием TiO_2 нередко наблюдаются продукты твёрдофазного распада, представленные тонкопластинчатыми и веретенообразными выделениями ильменита. По сравнению с вмещающим титаномагнетитом в ильмените (51–52% TiO_2 , 40–47% $FeO_{общ.}$) понижено содержание V_2O_5 , редко достигающее 0,5%, но повышено количество примеси MnO (0,3–2, реже до 4–6%), а также Nb_2O_5 – от первых десятых до 1,8%. Иногда ильменит образует самостоятельные зёрна пластинчатой, округлой или неправильной формы (см. рис. 2, 3).

В ассоциации с титаномагнетитом и ильменитом встречаются мельчайшие выделения рутила пластинчатой или игольчатой формы и неправильные микрозёрна псевдобрукита. В рутиле постоянно содержится примесь FeO (0,3–1,9%) и Nb_2O_5 (0,7–2,3%), спорадически присутствуют Al_2O_3 , CaO и V_2O_5 – не более 0,5%. Псевдобрукит, состоящий из 59–62% TiO_2 и 30–34% Fe_2O_3 , содержит незначительное количество примесей Al_2O_3 , MgO , CaO , V_2O_5 до 0,5% и значительное – MnO и Nb_2O_5 , достигающее в некоторых зёрнах 7 и 4% соответственно.

Anatit представлен гипидиоморфными кристаллами, часто образующими тесные их сращения, которые занимают до 10–15% от объёма камафоритов, в апатитовых рудах – значительную часть породы. По составу апатит из камафоритов

массива Томтор представлен стронциевым фторапатитом, в котором по 23 микрозондовым анализам постоянно присутствуют F (3,4–5,2%), SrO (1,7–5,7%), а также определены Ce_2O_3 (до 0,5%), La_2O_3 (до 0,3%), а в отдельных зёрнах и Nd_2O_3 до 0,24%. Как было показано ранее [19], наиболее стронциевые фторапатиты характерны для магнетитовых руд месторождения Онкучах и ийолитов, в то время как апатиты из пикритов и карбонатитов менее обогащены стронцием. Вариации элементов примесей РЗЭ и фтористости апатитов отражают полистадийное преобразование камафоритов и карбонатитов в результате автотермометаморфического гидротермального наложения редкоземельной минерализации и их последующего гипергенного изменения [7].

Биотит является одним из наиболее распространённых минералов камафоритов Томторского массива. По химическому составу слюды камафоритов занимают промежуточное положение в ряду флогопит – аннит с существенной долей сидерофиллитового минала (рис. 6, а), по номенклатуре отвечают биотитовой серии слюд [14]. Среди них можно выделить две разрозненные разности: флогопит (залитые кружки на диаграмме) и аннит (незалитые кружки). Флогопит отличается не только высокой магниальностью (12–16% MgO), но и устойчивым повышенным содержанием MnO , которое всегда $>0,7\%$ и достигает 1,15%, в то время как в анните его количество не превышает 0,35% (табл. 2). Обе разновидности биотита характеризуются повышенной титанистостью от 0,4 до 3,6% TiO_2 . Часто его пластинки имеют зональное строение – магниальное ядро и более железистые края. Железистость повышена и вдоль карбонатных прожилков.

Помимо слюд биотитовой серии, в камафоритах встречается мусковит. Последний, кроме FeO (0,6–5,6%), не содержит каких-либо других примесей, доступных микрозондовому определению. В отличие от биотитовых слюд мусковит представлен мелкочешуйчатым серицитовым агрегатом. Ассоциирует с биотитом, хлоритом, каолинитом.

Андрадит в камафоритах образует тёмно-бурые округлые зёрна с реликтами кристаллических форм и плотные аллотриоморфнозернистые скопления. Гранат представлен титанистыми разновидностями, которые традиционно разделяются на меланит (залитые кружки на рис. 6, б) и шорломит (незалитые кружки). В меланите содержится менее

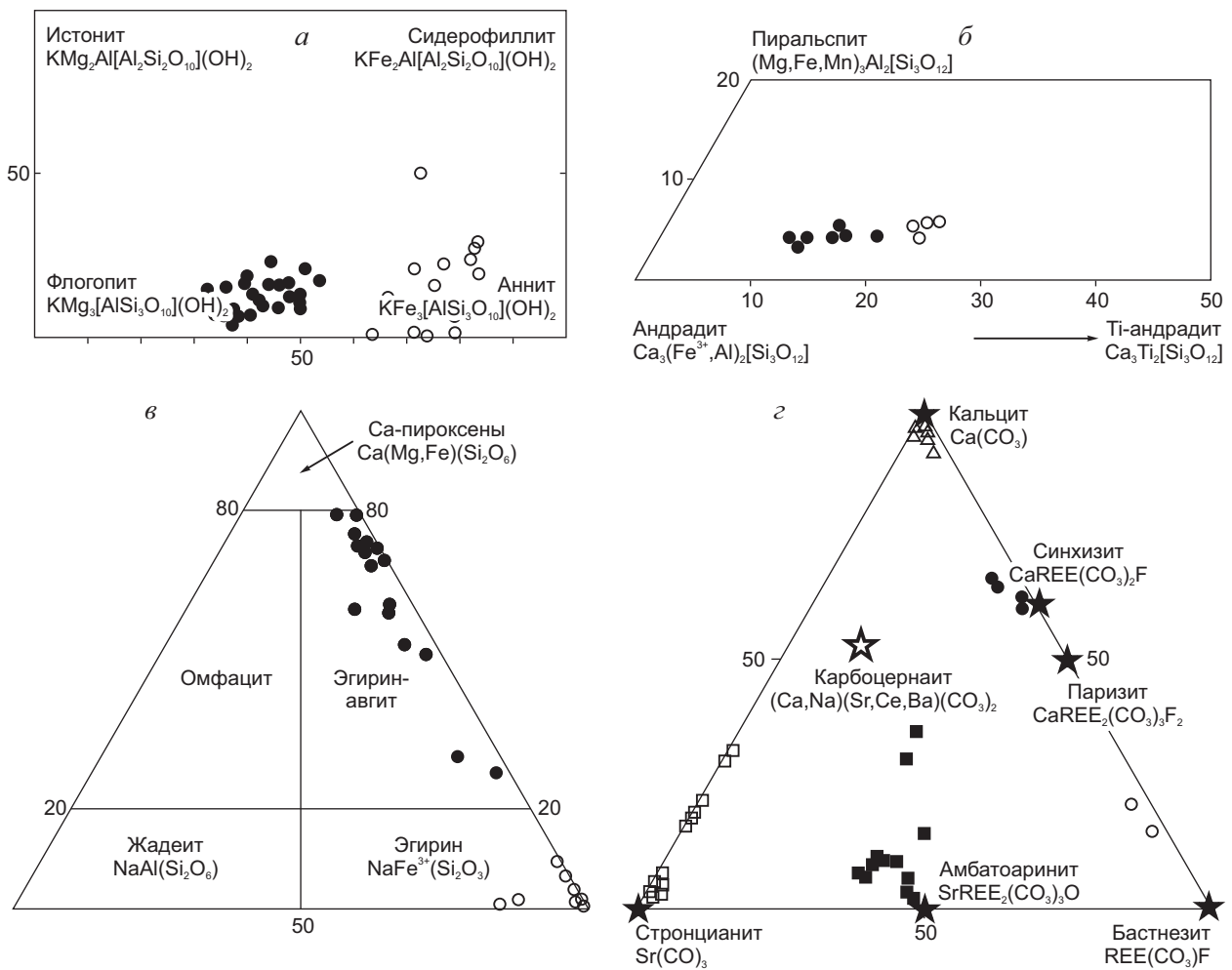


Рис. 6. ДИАГРАММЫ МИНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ БИОТИТОВ (а), ГРАНАТОВ (б), ПИРОКСЕНОВ (в), КАРБОНАТОВ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (г)

6% TiO_2 , в шорломите – от 6 до 8% (см. табл. 2), что соответствует 22–24% Тi-андрадитового минала.

Сфен встречается в виде сплошных масс и зернистых агрегатов, реже в виде гипидиоморфных кристаллов размером до 1 см. В сфене микрозондовым анализом установлены примеси (вес. %): Al_2O_3 (0,2–0,5), FeO (1,5–2,6), V_2O_5 (до 0,4), ZrO_2 (до 1,1), Nb_2O_5 (до 1), т.е. по содержанию он близок к минералу из карбонатитов [11].

Пироксен в камафоритах, по-видимому, является реликтовым минералом первичных фойдолитов и представлен непрерывной серией от эгирин-авгитов до практически чистого эгирина (см. рис. 6, в). Пироксены содержат <19% CaO, не более 3% Al_2O_3 , повышенное количество Na_2O (см. табл. 2) и согласно классификации Ca-Mg-Fe и Na-пироксенов [13] попадают в поле эгирин-авгитов

(при содержании 2,8–9,9% Na_2O). Пироксены с большим количеством натрия занимают поле эгирина.

Нефелин также, вероятно, – реликтовый минерал от пироксен-нефелиновых материнских пород. По химическому составу нефелин из камафоритов Томторского массива (см. табл. 2) содержит в мол. %: $NaAlSiO_4$ 76,7, $KAlSiO_4$ 23, SiO_2 0,3, т.е. минерал близок к идеальной формуле нефелина $Na_3K[Al_4Si_4O_{16}]$ с незначительным дефицитом кремнезёма. Чаше встречается минерал, по составу близкий к *анальциму* (см. табл. 2). Следовательно, появление этого минерала здесь вполне закономерно, так как он может образовывать эгирин-анальцим-нефелиновую ассоциацию в щелочных породах.

Ортоклаз в камафоритах содержит небольшое количество Na_2O и CaO – не более первых десятых долей процента, но в нём часто повышена

2. СОСТАВ СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД ТОМТОРСКОГО МАССИВА, масс. %

Глубина, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Σ
<i>Биотиты</i>											
26,4	39,40	2,27	11,84	0,00	17,31	0,80	14,81	0,27	0,00	8,27	94,96
26,4	35,10	2,84	13,58	0,00	31,71	0,35	5,36	0,00	0,00	8,87	97,80
62,9	35,10	2,74	11,20	0,00	32,51	0,21	3,98	0,17	0,00	9,37	95,28
62,9	37,84	2,35	10,71	0,42	19,21	0,66	14,33	0,00	0,13	9,88	95,53
124,6	37,45	1,42	11,88	0,00	28,96	0,00	8,16	0,14	0,00	9,33	97,34
124,6	37,73	2,85	10,88	0,36	22,05	0,89	12,34	0,00	0,00	9,80	96,90
144,9	37,35	2,27	10,79	0,53	22,38	1,03	12,48	0,00	0,00	9,86	96,68
<i>Мусковиты</i>											
26,4	44,88	0,00	35,42	5,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	95,84
102,8	45,09	0,00	37,61	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	11,40	95,27
<i>Андрадиты</i>											
26,4	33,49	7,31	0,57	26,03	0,71	0,56	0,33	31,50	0,28	0,00	100,77
26,4	35,14	3,59	0,49	27,61	1,02	0,52	0,28	31,48	0,30	0,00	100,42
62,9	32,15	6,86	0,74	25,43	0,65	0,59	0,51	30,96	0,38	0,00	98,27
<i>Пироксены</i>											
26,4	52,26	0,22	0,51	8,00	7,07	0,57	8,89	18,03	3,41	0,12	99,07
59,6	50,89	2,12	0,23	31,26	0,00	0,00	0,63	0,74	12,75	0,06	98,68
61,6	53,13	0,30	0,57	5,89	8,14	0,68	9,37	19,08	2,80	0,02	99,99
62,9	53,88	0,12	2,95	28,00	0,00	0,00	0,46	0,27	14,26	0,07	100,01
62,9	53,41	0,00	0,45	7,85	6,02	0,72	9,62	18,48	3,46	0,09	100,11
144,9	53,35	0,00	0,66	21,69	2,00	0,43	3,38	8,22	9,38	0,22	99,32
<i>Нефелин</i>											
61,6	41,77	0,00	33,08	0,00	1,90	0,00	0,00	0,15	16,31	7,42	100,64
<i>Анальцим</i>											
144,9	50,32	0,00	27,16	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	17,04	0,00	95,20

Примечание. Содержание Fe₂O₃ рассчитано по стехиометрической формуле минерала.

концентрация BaO до 1–2%, в редких случаях 5–10%, что составляет 11–21 мол. % цельзианового компонента BaAl₂Si₂O₈, т.е. они относятся к бариевому полевому шпату гиалофану – (K, Ba)AlSi₃O₈.

Циркон образует идиоморфные тетрагональные кристаллики или ксеноморфные интерстициальные выделения небольших размеров. В нём фиксируется незначительное содержание примесей петрогенных элементов – TiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, обычно не превышающее первых десятых процента. В таком же количестве присутствуют примеси BaO, SrO, Sc₂O₃, Pr₂O₃ и Nd₂O₃, а Ce₂O₃, ThO₂, UO₂, HfO₂ и Nb₂O₅ устанавливаются в наиболее ощутимых количествах, часто в пределах 0,5–1, реже 1–2%.

Карбонаты в камафоритах и содержащихся в них карбонатитовых обособлениях в основном сложены кальцитом, реже доломитом, анкеритом, встречаются мелкие и микроскопические выделения карбонатов Sr, PЗЭ. В кальците, кроме петрогенных примесей, часто фиксируется наличие ощутимых количеств Sr, PЗЭ (табл. 3), причём сумма PЗЭ может достигать 7–14%. В камафоритах Томторского массива довольно часто отмечаются отдельные мелкие выделения фторкарбонатных минералов PЗЭ (см. рис. 4) и барийсодержащих стронцианитов. Поэтому авторы вынесли составы этих парагенетически взаимосвязанных минералов на тройную диаграмму Ca–REE–Sr (см. рис. 6, з), где видно, что недалеко от состава кальцитов, содер-

жащих РЗЭ, располагаются точки синхизита и фаз, попадающих в промежуточное положение между паризитом и бастнезитом.

Паризит характеризуется составом, близким к формуле $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$, но с более низким содержанием CaO , обусловленным, возможно, изоморфным замещением кальция другими петрогенными элементами. Суммы РЗЭ и количество F в паризите из камафоритов (см. табл. 3) совпадают с данными анализов подобных минералов из других известных объектов карбонатитов [11].

Амбатоаринит объединяет большую группу микроскопических фаз, состав которых на диаграмме (см. рис. 6, 2) распределяется между бастнезитом и стронцианитом. По мере увеличения содержания кальция их состав постепенно приближается к точке карбоцернаита, т.е. можно предположить, что между амбатоаринитом и карбоцернаитом существует непрерывный твёрдый раствор. Следует отметить повышенное содержание в амбатоарините Y_2O_3 и ThO_2 , достигающее 1 и 1,3% соответственно.

Стронцианит характеризуется значительным содержанием кальция и бария, что выражается в появлении вытянутого кальцио-стронцианитового поля при небольшой молекулярной доле примесей РЗЭ. Таким образом, можно заключить, что в камафоритах Томторского массива широко развита редкометалльная фторкарбонатная минерализация, выраженная в образовании трёх прерывистых серий твёрдых растворов между кальцитом – бастнезитом, амбатоаринитом – карбоцернаитом и стронцианитом – кальцитом.

Сульфиды в камафоритах широко распространены и представлены преимущественно пиритом, халькопиритом, сфалеритом, в меньшей степени галенитом, пирротинном, миллеритом, роксбеитом.

Пирит встречается в виде трёх разновидностей: идиоморфных кубоктаэдрических и кубических кристаллов и их сростков; аллотриоморфно-зернистых агрегатов; массивного жильного пирита (см. рис. 2, 3). В отношении примесей идиоморфный пирит чист, для ксеноморфного характерна примесь Co (до 5%), для жильного – примесь Ni (до 0,6%).

Халькопирит присутствует в виде ксеноморфных выделений в сульфидных прожилках, апофизах и зальбандах карбонатных прожилков (см. рис. 2, 3). Образует едва заметную эмульсионную структуру распада в сфалерите.

Сфалерит представлен вкрапленностью идиоморфных зёрен размером до 10 мкм, которая локализуется на границах зёрен магнетита в сидеритовых прожилках на контакте с титанитом, приурочен к границам структур распада ильменита в магнетите. Для сфалерита характерны примеси Fe до 7, Cd до 1,5 и Cu до 1,2%, в меньших количествах встречаются разновидности без примесей.

Галенит образует вкрапленность небольших (в среднем 5–10 мкм) изометричных зёрен в сульфидах (пирите и халькопирите), цирконе, карбонатах и гранате.

Пирротин крайне редко фиксируется в виде реликтов в пирите, которым практически полностью замещается. Характерно наличие примесей Co и Ni .

Миллерит обнаружен в кальците, имеет вытянутый облик и кристаллографические очертания. Длина зёрен 2 мкм, ширина 1 мкм. Установлены примеси Co от 0,6 до 5,6%.

Роксбеит по составу отвечает формуле $\text{Cu}_{1,78}\text{S}$, представлен зёрнами длиной до 0,4 мм, шириной 0,1 мм, отмечающимися в пиритовых жилках.

Сульфаты в камафоритах представлены баритом и баритоцелестином. Барит находится в виде идиоморфных кристаллов до 20 мкм, баритоцелестин образует тонкие каёмки в хлорите толщиной до 3 мкм на контакте кристалликов барита и каолинит-хлорит-серицитового агрегата.

В камафоритах также присутствуют *соли галогенов*, однако к настоящему времени их точный состав достоверно не определён ввиду их маленького размера и, как следствие, большой погрешности измерений. Достоверно выяснено лишь то, что в карбонате камафоритов присутствуют соли хлора и бора. Соли имеют игольчато-волоконистый облик или образуют вкрапленность зёрен неправильной формы.

Полученные данные позволили предположить, что силикатно-магнетит-апатитовые руды массива Томтор образовались в три этапа: магматический, гидротермальный и гипергенный. Начало формирования изучаемых пород связано с внедрением фойдолитов (нефелин-пироксеновых пород уртитякупирангитового ряда). При последующем внедрении щелочных и нефелиновых сиенитов происходило их метасоматическое преобразование, в результате чего появились скопления массивного титаномагнетита, апатита и крупнопластинчатые агрегаты флогопита. При этом в апатит-магнети-

3. СОСТАВ КАРБОНАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД ТОМТОРСКОГО МАССИВА, масс. %

Глубина, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SiO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pt ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	Nb ₂ O ₅	F	Σ
<i>Кальцит</i>																						
59,6	0,47	0,58	0,00	0,31	1,10	0,73	42,59	0,00	0,00	0,00	0,78	1,69	0,59	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	50,08
59,6	0,26	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	51,76	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,44	1,56	0,00	56,23
59,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,44	0,00	0,00	0,00	2,16	7,78	2,73	0,53	1,33	0,00	0,28	1,17	0,00	0,00	0,00	55,43
124,6	0,00	0,00	0,00	2,57	0,58	0,12	50,65	0,00	0,12	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	54,86
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	49,98	0,00	0,00	0,54	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,50
<i>Синхизит</i>																						
124,6	0,36	2,10	0,00	8,36	0,00	0,00	12,80	0,00	0,00	0,00	1,08	22,90	14,46	2,06	5,60	0,00	0,29	0,40	0,00	0,00	5,63	76,04
124,6	0,21	2,59	0,00	6,74	0,00	0,00	13,27	0,00	0,00	0,00	0,84	23,13	14,62	2,15	5,71	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	5,18	74,86
124,6	0,34	0,00	0,43	2,60	0,00	0,00	17,04	0,00	0,00	0,00	2,61	23,14	16,76	2,25	4,59	0,41	0,36	0,00	0,00	0,00	8,24	78,77
<i>Паризит</i>																						
124,6	0,77	0,58	0,38	1,18	0,00	0,00	3,16	0,00	0,00	0,00	1,08	33,31	22,72	2,94	7,40	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	7,67	81,65
124,6	0,56	1,82	0,47	1,90	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00	0,00	0,67	33,13	22,77	2,77	7,15	0,56	0,00	0,48	0,00	0,00	7,56	82,07
<i>Амбатоаринит</i>																						
59,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,63	0,00	0,00	1,02	17,29	23,09	10,18	2,11	10,04	0,00	0,77	1,27	0,00	0,00	2,38	75,78
62,9	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	3,29	0,00	0,00	0,50	16,53	24,95	19,48	2,01	5,08	0,42	0,43	0,99	0,00	0,00	1,14	75,18
62,9	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	22,58	22,05	12,94	2,13	6,70	0,59	0,62	0,00	0,00	0,00	0,41	70,01
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	22,72	24,64	11,50	2,69	5,94	0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	1,14	70,79
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	18,41	28,56	13,14	2,35	7,31	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	71,20
<i>Стронцианит</i>																						
62,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,22	0,23	66,22	1,10	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,86
62,9	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	7,57	0,00	0,00	0,59	59,69	0,59	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,24
144,9	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,95	0,42	0,39	0,00	61,39	3,71	1,08	0,00	1,21	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	70,35
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,63	0,00	0,00	3,15	50,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,19

Примечание. Результаты приведены без учёта CO₂, что отражается в низкой сумме анализов.

товых рудах наблюдаются реликтовые минералы первичных силикатных нефелин-пироксеновых пород. В дальнейшем, во время становления карбонатитов, интенсивная карбонатизация сформировавшихся ранее пород постепенно переходит в гидротермальный этап. При воздействии карбонатитового флюида апатит частично или полностью замещается карбонатом (см. рис. 4), причём, вблизи новообразованного карбоната апатит отличается по составу от массивного камафоритового апатита. Массивный камафоритовый апатит (Ap II) является стронциевым редкоземельным фторапатитом, а апатит вблизи карбонатных гнёзд (Ap III) практически не содержит стронция, TR и F. В то же время, карбонат в гнёздах содержит примеси TR, Y и Sr, вплоть до образования карбонатов этих элементов. Согласно А.Г.Булаху и В.В.Иванникову [3], для полного замещения апатита карбонатом нужны низкая активность H_2PO_4 ($Ig_a(PO_4)^{-3} < 10^{-6}$), максимальные для процесса карбонатизации температуры (550–600°C), высокощелочная среда ($Ig_a(H^+) < 10^{-7}$) и высокая активность CO_2 ($Ig_a(CO_2) > 10^{-1}$). Ограниченность этих условий крайними указанными значениями приводит к тому, что в пределах массива не весь апатит замещается кальцитом. Значительная его доля сохраняется в виде реликтовых, не полностью резорбированных зёрен и их агрегатов.

Как уже отмечалось, апатит из камафоритов является Sr-фторапатитом с высокими содержаниями Y, TR и Th. Процесс замещения апатита карбонатом обуславливает специфический состав карбонатных прожилков и гнёзд, обнаруженных внутри апатита. Установлено повышение содержания Sr, Y, TR, Th (см. рис. 4) для карбонатов внутри апатита вплоть до появления среди них стронцианита и фторкарбонатов РЗЭ (бастнезита, синхизита, паризита).

После карбонатизации начался гидротермальный этап, который разделяется на карбонатно-сульфидную и нефелин-скаполитовую стадии. В этот этап возникли карбонатные, сульфидные, карбонатно-сульфидные прожилки, которые затем секутся нефелиновыми и скаполитовыми образованиями. В течение заключительного гипергенного этапа появились гидрослюдь, глинистые минералы, оксиды и гидроксиды Fe и Mn [1]. Авторы не исключают участие в формировании апатит-магнетитовых руд процессов ликвационного разделения расплавов. Для полного объяснения

условий формирования пород необходимо проведение дополнительных исследований.

В карбонате с повышенным содержанием Sr и РЗЭ при помощи электронного сканирующего микроскопа наблюдается наличие мельчайших включений, содержащих щёлочи, F, Cl, Br и S, хотя не удаётся установить их качественный минеральный состав. В одном из таких включений камафорита (скв. 801, глубина 59,5 м) обнаружено зерно самородного золота размером 1 мкм (см. рис. 5). По данным микрозондового анализа в нём содержатся, вес. %: Au 74,67, Ag 5,53, Cu 2,33, Si 0,26, Al 0,1, Fe 0,22, Mg 0,03, Ca 7,03, Na 0,26, K 0,13, Ba 1,27, Sr 2,5, Cl 0,05, O 5,61. Можно предположить, что элементы, помимо Au, Ag и Cu, заимствованы в связи с малым размером зерна золота из вмещающего карбоната при захвате электронным зондом окружающего субстрата. В таком случае нормализованный состав самородного золота будет $Au_{90,5}Ag_{6,7}Cu_{2,8}$. Подобное тончайшее микровключение золота пластинчатой формы длиной ~5 мкм при толщине 0,5 мкм найдено также в одном образце щелочных сиенитов [20] из скв. 7209 в трещине пирита (см. рис. 5). В этом зерне золота микрозондовым анализом определены, вес. %: Au 44,47, Ag 27,55, Fe 15,41, S 26,52. Очевидно также, что значительное количество Fe и S заимствовано из вмещающего субстрата – пирита, т.е. при пересчёте содержания золота и серебра на 100% получим примерный состав $Au_{62}Ag_{38}$.

Принимая во внимание первые находки золота, насыщенность, судя по анализу включений в карбонате, карбонатитового флюида HCl и учитывая высокие содержания сульфидов в камафоритах и карбонатитах [6], можно предположить наличие золотого оруденения в породах массива Томтор. При этом, вероятнее всего, золотое оруденение приурочено к карбонатитам, пространственно и генетически связанным с камафоритами [5].

В результате проведённых комплексных исследований образцов пород из скв. 801 месторождения апатит-магнетитовых руд Онкучах было установлено, что тело силикатно-магнетит-apatитовых пород, названное ранее камафоритами [1, 16, 19], содержит обособления карбонатитов, метасоматически изменённых карбонатизированных фойдитов, фойдолитов, щелочных и нефелиновых сиенитов. Данное наблюдение свидетельствует о сложном и долговременном формировании изучаемых пород. На основании текстурно-структурного ана-

лиза, минералогии и геохимии силикатно-магнетит-апатитовых пород месторождения Онкучах предложена последовательность образования минералов и показано, что апатит-магнетитовые руды массива Томтор – полигенные образования, становление которых происходило в собственно магматический и постмагматический этапы, синхронные с образованием главных фаз массива.

Силикатно-магнетит-апатитовые руды являются комплексной рудой на Fe и P с попутными TR. Кроме того, они – важный источник информации для определения причин образования уникальных концентраций полезных компонентов в карбонатитовых массивах. Для пород данного комплекса массива Томтор впервые выявлено наличие U, Th, Sc. В карбонатах и апатите обнаружены существенные концентрации TR, Th, Y.

Выдвинуто предположение, что наиболее вероятным источником золота в пределах массива Томтор служат ранние рудные карбонатиты и нефелиновые сиениты, которые, по нашему мнению,

могут содержать также минералы платиновой группы, что требует дальнейшего специализированного изучения.

Авторы выражают искреннюю благодарность Лазаревой Елене Владимировне и Карманову Николаю Семёновичу за помощь в проведении анализов и за конструктивные советы.

Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (проекты № 0381-2016-0003 и 0381-2016-0004), проекта «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие её производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 гг., а также при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00390.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Л.Н., Толстов А.В., Лазарева Е.В., Карманов Н.С. Минералогия и геохимия апатит-магнетитовых руд массива Томтор // Мат-лы VII Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 5–7 апреля 2017 г. Якутск, 2017. Т. I С. 223–226.
2. Бородин Л.С., Лапин А.В., Харченков А.Г. Редкометалльные камафориты. – М.: Наука, 1973.
3. Булах А.Г., Иванников В.В. Проблемы минералогии и петрологии карбонатитов. – Л.: Недра, 1984.
4. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) / Е.В.Лазарева, С.М.Жмодик, Н.Л.Добрецов и др. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 6. С. 1080–1115.
5. Гусев А.И., Гусев Н.И. Золотоносные карбонатиты // Успехи современного естествознания. Пенза, 2014. № 11. С. 25–28.
6. Гусев А.И., Гусев Н.И. Мантийно-коровое взаимодействие в процессах генерации карбонатитов по изотопным данным стронция и неодима // Успехи современного естествознания. Пенза, 2011. № 4. С. 23–26.
7. Егоров Л.С. Редкоземельность и фтористость апатита как отражение условий образования, изменения и потенциальной рудоносности пород фоскорит-карбонатитовой группы в ийолит-карбонатитовых комплексах // Геохимия. 1984. № 1. С. 10–25.
8. Егоров Л.С. Фоскориты Маймеча-Котуйского ийолит-карбонатитового комплекса // ЗВМО. 1992. № 3. С. 13–26.
9. Золото-платиноносные россыпи бассейна р. Анабар и их возможная связь с щелочно-ультраосновными магматитами севера Сибирской платформы / А.В.Округин, А.И.Зайцев, А.С.Борисенко и др. // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 11–20.
10. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / А.А.Кухаренко, М.П.Орлова, А.Г.Булах и др. – М.: Недра, 1965.
11. Капустин Ю.Л. Минералогия карбонатитов. – М.: Наука, 1971.
12. Лапин А.В., Толстов А.В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 81–91.
13. Номенклатура пироксенов. Доклад подкомитета по пироксенам Комиссии по Новым минералам и названиям минералов ММА / М.Моримото, И.Ф.Гинзбург, Ф.А.Зайферт и др. // Минералогический журнал. 1989. № 5. С. 67–84.

14. Номенклатура слюд: заключительный доклад подкомитета по слюдам Комиссии по Новым минералам и названиям минералов ММА / М.Ридер, Г.Гавацини, Ю.С.Дьяконов и др. // ЗВМО. 1998. № 5. С. 55–65.
15. О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (северо-западная Якутия) / А.Р.Энтин, А.И.Зайцев, Н.И.Ненашев и др. // Геология и геофизика. 1990. Т. 31. № 12. С. 42–51.
16. Округин А.В., Толстов А.В. Петрогеохимическая характеристика сиенит-щелочно-ультраосновного силикатного комплекса пород Томторского массива (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 56–66.
17. Поршнев Г.И., Степанов Л.Л. Геология и минерагения Уджинской провинции (северо-запад Якутской АССР) // Советская геология. 1981. № 12. С. 103–106.
18. Слепцов А.П., Толстов А.В., Баранов Л.Н. Новый взгляд на полезные ископаемые Томторского рудного поля // Мат-лы VI Всерос. научн.-практ. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 6–8 апреля 2016 г. Якутск, 2016. С. 271–275.
19. Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 91–100.
20. Толстов А.В., Баранов Л.Н., Лазарева Е.В., Карманов Н.С. Первые данные о благороднометальном оруденении массива Томтор // Мат-лы VII Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 5–7 апреля 2017 г. Якутск, 2017. Т. I. С. 462–467.
21. Толстов А.В., Коноплев А.Д., Кузьмин В.И. Особенности формирования уникального редкометалльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 20–26.
22. Толстов А.В., Тянь О.А. Геология и рудоносность массива Томтор. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999.
23. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России. – М.: НИИ «Природа», 2003.
24. Эрлих Э.Н. Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // ЗВМО. 1964. Т. 93. № 6. С. 682–693.
25. Philpotts A.R. Origin of certain iron titanium oxide and apatite rocks // Economic Geology. 1967. Vol. 62. N 3. P. 303–305.
26. Russel H.D., Hiemstra S.A., Groenveld D. The mineralogy and petrology of the carbonatite at Loolekop, Eastern Transvaal // Transactions of the Geological Society of South Africa. 1954. Vol. 57. P. 197–208.

NEW DATA ON MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF APATITE-MAGNETITE ORES OF THE TOMTOR MASSIF, NORTHEAST OF THE SIBERIAN PLATFORM

L.N.Baranov^{1,2}, A.V.Tolstov^{1,3}, A.V.Okругin⁴, A.P.Sleptsov⁵
 (1V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, 2Novosibirsk state university, 3PJSC «Alrosa», Mirnyy, 4Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, 5Co Ltd Yakutskgeologia, Yakutsk)

New data is given on mineralogy and geochemistry of kamaforites (apatite-magnetite ores) of Tomtor massif, including oxide-silicate main and secondary minerals, sulfide and carbonate rare minerals including accessory rare-earth phases. Ore gold was for the first time found in the carbonate of apatite-magnetite ores and in the pyrite of nepheline syenites within Tomtor massif. Elevated U, Th and Sc concentrations allowing to consider them as the source of high concentrations in carbonatites and their crusts of weathering were found in apatite-magnetite ores. Based on study results of texture-structure features, mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores, the sequence of complex ores mineral formation at the magmatic and post-magmatic process stages synchronous with the main carbonatite phase of Tomtor massif formation is offered.

Keywords: Siberian platform, Tomtor, ultrabasic alkaline carbonatite complex, kamaforites, foskorites, apatite, magnetite, carbonate, rare-earth elements (REE), gold, platinum.