

Л. Г. ФЕЛЬДМАН, И. Б. КОНОПЛЕВА

**О ГАДОЛИНИТЕ ИЗ АМАЗОНИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ
ОДНОГО ИЗ РАЙОНОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Альбитизированные амазонитовые пегматиты, содержащие берилл, гадолинит и редкоземельные ниоботанталаты (приорит, самарскит, фергусонит), залегают среди докембрийских гранитогнейсов и магматитов, вмещающих маломощные тела ортоплагио-амфиболитов и нарушенных зонами тектонического расщепления и диафтореза, к которым, собственно, и тяготеют пегматитовые жилы. Подробнее они будут охарактеризованы нами в другой статье. Здесь целесообразно лишь упомянуть о том, что альбитизация пегматитов протекала в две стадии, причем ранняя стадия выразилась в развитии призматического или пластинчатого альбит-олигоклаза № 8—12, тогда как на поздней стадии происходило образование агрегата «сахаровидного» альбита и кварца. Ранняя альбитизация приводит к образованию в пегматитах различных текстур и структур замещения, из которых наиболее распространены апографические структуры и (при полном замещении) массивные текстуры. С ранней альбитизацией связана основная часть редкометальной (берилл-левовой, редкоземельной, тантало-ниобиевой) минерализации пегматитов, тогда как поздняя альбитизация вызывает в основном растворение, частичное переотложение и существенный вынос ранее образованных минералов редких элементов.

Следует отметить присутствие в пегматитах необычно высоких концентраций флюорита, образование которого связано преимущественно с поздней альбитизацией, в меньшей степени — с более ранними стадиями замещения (образованием кварц-мусковитового замещающего комплекса и пластинчатого или призматического альбит-олигоклаза). Из прочих геохимических особенностей пегматитов укажем на высокое, хотя и очень неравномерное содержание в них бериллия, иттрия и редких земель, тантала, ниобия, титана и отчасти олова при практически полном отсутствии лития и весьма низком за отдельными редкими исключениями содержании бора.

Гадолинит встречается в этих пегматитах довольно редко. Отсутствуя в большинстве жил пегматитового пояса, он оказывается весьма характерным для одной из его ветвей, в жилах которой образует иногда значительные скопления. Гадолинит здесь встречается среди апографического кварц-альбит-олигоклазового пегматита и в примыкающих к нему участках жил, целиком сложенных агрегатом пластинчатого альбит-олигоклаза (полностью замещенных на стадии ранней альбитизации). Зоны интенсивной альбитизации с приуроченным к ним гадолинитом обычно

тяготеют к висячим бокам жил. Кристаллы гадолинита, как правило, ориентированы вкрест контакта (рис. 1). Обычный парагенезис гадолинита — пластинчатый альбит-олигоклаз, связанная с ним генерация берилла, более редко — самарскит и фергусонит. Характерно отсутствие в ассоциации с гадолинитом таких (главных для пегматитов пояса) редкоземельных титано-тантало-ниобатов, как ильменорутил и приорит. В свою очередь в жилах, богатых ими (т. е. в большинстве жил), отсутствует гадолинит, который, таким образом, можно считать антагонистом этих минералов. Наоборот, фергусонит (в аксессуарных количествах) появляется, по-видимому, лишь в жилах, содержащих гадолинит. Особенно замечательна тесная ассоциация гадолинита с бериллом — случай, довольно редко описываемый в литературе. В этом отношении рассматриваемые пегматиты аналогичны некоторым пегматитам Южной Норвегии — Оннерод, Олестад, отчасти Хиттерё (Brögger и. а., 1922; Björlikke, 1935, 1937). Интересно отметить, что в участках, сложенных сахаровидным альбитом, который в виде прожилков пронизывает апографический пегматит, образуя местами массивные линзовидные скопления, гадолинит исчезает.

В одной жиле нами было встречено берилл-гадолинитовое гнездо (с примесью самарскита и аксессуарным фергусонитом) размером около 3×5 м.

Гадолинит обычно выделяется в форме плохо образованных, криволинейных, со сглаженными ребрами, удлинённых по (001) кристаллов грубопризматического габитуса, с поверхности всегда покрытых коркой желто- и красно-бурых продуктов гипергенного изменения, у которых в шлифе часто обнаруживается колломорфное строение (рис. 2). Эти продукты представляют собой сложную смесь гидроокислов и карбонатов переменного состава типа $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{BeO} \cdot q\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot r\text{TR}_2\text{O}_3 \cdot s\text{H}_2\text{O} \cdot t\text{CO}_2$. В составе смеси преобладают гидроокислы железа и, по-видимому, присутствует Y-бастнезит. Размеры таких кристаллов гадолинита — от 0,5 до 1,5 см по длинной оси; в сечении они имеют то ромбовидную, то близкую к прямоугольной форму.

Гораздо реже встречаются более крупные (до 3 см) и сравнительно хорошо образованные, слабо изменённые, с блестящими гранями, призматические кристаллы с пирамидальными концевыми гранями; в основном развиты формы (110), (110), (011), (011), (111), (111). Кристаллы подобного типа описаны Я. Шетелигом из пегматитов Хиттерё в Южной Норвегии (Brögger и. а., 1922).

Как и в кристаллах гадолинита из Хиттерё, внутри описываемых кристаллов гадолинита встречаются включения кварца и полевого шпата (альбит-олигоклаза). Такое строение некоторых крупных кристаллов гадолинита («фаршированных», «футлярообразных») указывает на их метасоматическое образование. Крупные кристаллы гадолинита располагаются в альбитизированном блоковом пегматите центральных частей жил. Цвет минерала бархатно-чёрный, в тонких осколках — бутылочно-зелёный. Блеск смолистый. Излом полураковистый. Твёрдость 6,5—7,0. Спайность отсутствует. Удельный вес измерен методом С. А. Руденко — М. М. Василевского из навесок порядка 10 мг; в зависимости от степени

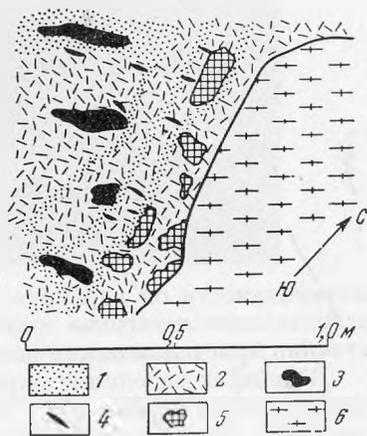


Рис. 1. Гадолинит в альбитизированном пегматите

1 — сахаровидный альбит, 2 — пластинчатый альбит-олигоклаз, 3 — кварц, 4 — кристаллы гадолинита, 5 — амазонит, 6 — вмещающие гранитогнейсы

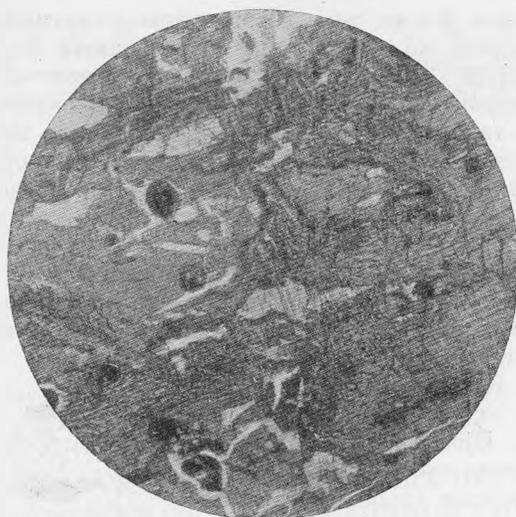


Рис. 2. Колломорфные продукты изменения гадолинита

Увел. 37, с одним николем

метамиктности он варьирует от 4,15 до 4,66. Крайние высокие значения, встречающиеся весьма редко, по-видимому, характеризуют уже собственно кристаллические разности (см. ниже).

В шлифах гадолинит окрашен в серо-зеленоватый цвет, обнаруживает слабую анизотропию ($N_g - N_p = 0.005 - 0.01$) и косое погасание ($cN_g = 7 - 8^\circ$); (+) $2V = 85^\circ$. Показатели преломления минерала: $N_g = 1.786$, $N_p = 1.780$.

Интересна отчетливо наблюдаемая в шлифах зональность роста (рис. 3). Иногда она отчетливо различима и макроскопически — на выветрелой поверхности кристаллов, благодаря соответствующему развитию описанных выше продуктов изменения (рис. 4).

Обычно минерал в естественном состоянии (без прокаливания) рентгеноаморфен. Однако он не полностью метамиктный. Об этом, помимо оптических свойств и наличия разностей с весьма высоким удельным весом (отвечающим удельному весу гадолинитов после прокаливания, т. е. более 4,60), свидетельствует также колебательный спектр гадолинита — более чувствительный индикатор степени метамиктности, чем рентгенограмма (Александрова и др., 1966). Инфракрасная спектроскопия гадолинита выполнена М. В. Ахмановой в ГЕОХИ им. В. И. Вернадского АН СССР. Съемка производилась на двулучевом ИК-спектрометре UR-10 Zeiss в области призм NaCl и KBr ($400 - 4000 \text{ см}^{-1}$). На инфракрасном спектре исследованного образца гадолинита (рис. 5), помимо обычных для любых (метамиктных и кристаллических) гадолинитов сильных полос поглощения 950 и 520 см^{-1} *, появляется, хотя и очень слабо выраженная, частота поглощения 700 см^{-1} , близкая к полосе поглощения ($705 - 720 \text{ см}^{-1}$), весьма характерной для гадолинита (по-видимому, связанной с валентными колебаниями связи Be—O), но присутствующей только в ИК-спектрах кристаллических (или прокаленных) разностей этого минерала.

* Эти частоты поглощения находятся соответственно в области колебаний валентной связи Si—O (950 см^{-1}) и в области деформационных колебаний $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдра (520 см^{-1}), где фиксируются также колебания связи кислорода (Александрова и др., 1966).



Рис. 3. Зональность роста в монокристалле гадолинита
Увел. 18, николи+. Светлое — продукты изменения гадолинита

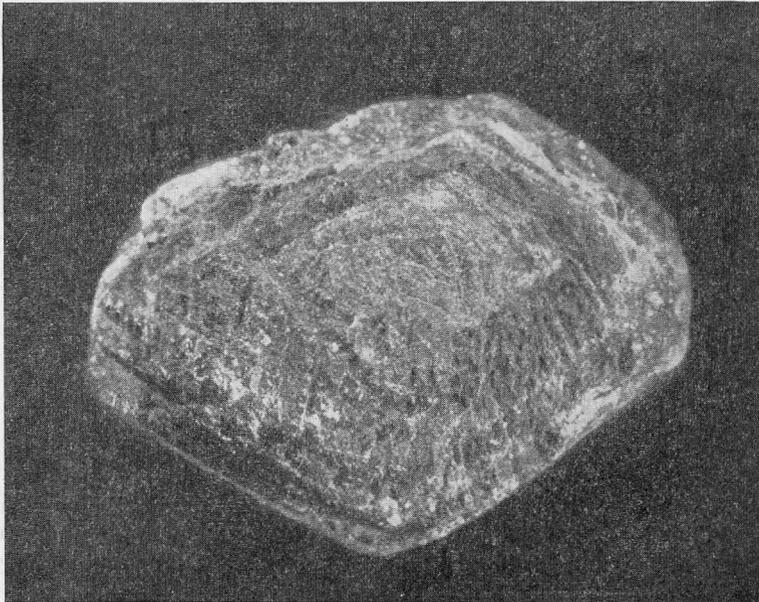


Рис. 4. Кристалл гадолинита зонарного строения
Увел. 6

И. Т. Александровой изучена температурная зависимость величины диэлектрической проницаемости гадолинита в интервале 100—960°. Выяснено, что в данном случае диэлектрическая константа минерала не изменяется до 400°, а с 500° начинает расти. Этот рост связан преимущественно с потерей воды, заканчивающейся, согласно кривой нагревания (см. ниже), при 400—500°. Следует отметить также наблюдаемое при

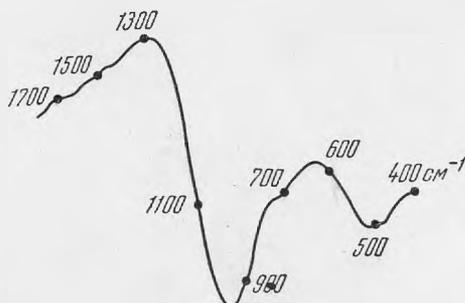


Рис. 5. Инфракрасный спектр поглощения гадолинита

500° изменении окраски гадолинита с зеленой на красно-бурю, что указывает на происходящее при этой температуре окисление железа. Это, вероятно, тоже влияет на величину ϵ . Ниже приведены зависимости диэлектрической константы гадолинита от температуры

t°	100	200	300	400	500	600	700	800	900	960
ϵ			4,69		5,07		4,90	5,07	6,15	6,38

Перепад величины ϵ при 700°, по-видимому, обусловлен началом рекристаллизации гадолинита. Переход из метамиктного состояния в кристаллическое, в основном завершающийся в интервале 750—800°, вызывает дальнейшее повышение диэлектрической константы.

Дифференциальная кривая нагревания гадолинита (рис. 6) получена в термической лаборатории ВИМС под руководством Л. И. Рыбаковой. На этой кривой отмечается слабый прогиб в интервале 200—400° (даже до 500°), обозначающий эндотермическую реакцию дегидратации. Более



Рис. 6. Дифференциальная кривая нагревания гадолинита

резко выражен экзотермический эффект, представленный двумя небольшими сближенными максимумами (при 732 и 753°) и отражающий переход минерала из метамиктного состояния в кристаллическое. Соответственно рентгенометрическое исследование гадолинита фиксирует при температурах 700—750° только начало его рекристаллизации (обычно при температурах выше первого, но ниже второго максимума минерал еще остается почти рентгеноаморфным — дает лишь несколько слабых отражений на дебаеграмме). Дальнейшее нагревание до 800° увеличивает число и интенсивность линий. После прокалывания при 900° в течение 30 мин. получается дифракционная картина, аналогичная таковой кристаллического гадолинита (табл. 1).

Значения межплоскостных расстояний гадолинита

Гадолинит из амазонитовых пегматитов Восточной Сибири (900°)			Кристаллический гадолинит (Александрова и др., 1966)		
<i>hkl</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d : n</i>	<i>I</i>
001	4,77	2	001	4,65	4
—	—	—	210	4,07 *	1
—	—	—	111; 020	3,66 *	1
120	3,51	1	120	3,49	1
—	—	—	—	(3,38)	3
211	3,11	8	211	3,13	9
—	—	—	310; 220	2,98	2
021	2,94	1	021	2,93	2
121; 121	2,81	9	121; 121	2,814	10
221	2,55	10	221	2,540	9
—	—	—	130	2,44	1
—	2,425	1	—	(2,415)	1
002; 410	2,37	2	002; 410	2,34	4
—	—	—	012	2,23	2
031	2,206	3	031	2,20	2
—	—	—	411; 202	2,10	2
—	—	—	040; 312	(2,05)	2
—	—	—	212; 420	2,001	2
—	1,825	1	—	—	—
511	1,761	5	511	1,752	8
214; 600	1,657	5ш	214; 600	1,645	7
610	1,633	3	610	1,633	3
530; 003	1,571	2	530; 003	1,564	6
—	—	—	502	1,511 *	1
—	—	—	512	1,474	1
—	—	—	213; 023; 621	1,440	3
441; 700	1,418	3	441; 700	1,413	3
—	1,402	3	—	—	—
—	—	—	—	1,372	2
—	1,281	2	—	1,277	4
930; 060	1,244	3	930; 060	1,243	5
—	—	—	—	1,197	3
—	1,188	1	—	1,182	3
—	1,177	4	—	1,173	3
004	1,161	3	004	1,162	2
—	—	—	—	1,139	1
—	—	—	—	1,122	6
—	1,104	6	—	1,099	6
—	1,085	6	—	1,080	2
—	1,067	6	—	1,067	2
—	1,047	5	—	1,045	3
—	1,036	5	—	1,035	4
—	—	—	—	1,023	2
—	1,013	4	—	1,011	3

* Эти линии часто отсутствуют.

Дифрактограмма гадолинита получена в лаборатории ВИМС под руководством Г. А. Сидоренко. Съемка производилась в камере РКД диаметром 57,3 мм на неотфильтрованном Fe-излучении, при напряжении 35 кВ и силе тока 12 мА. Межплоскостные расстояния промерялись миллиметровой линейкой с точностью $\pm 0,2$ мм. Оценка интенсивности отражений — визуальная, по 10-балльной шкале. Минерал прокаливался в муфельной печи при свободном доступе воздуха.

Как видно из табл. 2, расхождения в порошкограммах прокаленного при 900° образца гадолинита и кристаллического гадолинита (Александрова и др., 1966) незначительны.

Приведенная в табл. 1 дебаеграмма проиндцирована И. Т. Александровой графическим методом Л. С. Палатника. На основе полученных индексов найдены следующие параметры кристаллической решетки гадолинита: $a = 9,881 \text{ \AA}$, $b = 7,547 \text{ \AA}$, $c = 4,679 \text{ \AA}$, $\beta = 90^\circ 36'$ ($V = 349,12 \text{ \AA}^3$). И. Т. Александровой (Александрова и др., 1966) показано, что некоторое непостоянство параметров a и c решетки гадолинита закономерно связано с изменением состава минерала, в первую очередь содержания железа, бора, кальция и редких земель цериевой группы. Наблюдаемые в данном случае изменения параметров хорошо укладываются в устанавливаемые И. Т. Александровой зависимости.

Состав гадолинита определен в микрохимической лаборатории ВИМС Т. И. Столяровой (табл. 2).

По сравнению с гадолинитами из других районов в анализированном образце установлено несколько повышенное содержание кремнезема.

Таблица 2

Химический состав гадолинита из некоторых пегматитовых месторождений (вес. %)

Окислы	Восточная Сибирь, амазонитовые пегматиты	Кольский п-ов, амазонитовые пегматиты			Хиттерё, Южная Норвегия (Brogger u. a., 1922)	Фрикстад Ивеланд, Южная Норвегия (Brogger u. a., 1922)	Теоретический состав
		(Бельков, 1958)	(Бельков, 1958)	(Семенов, 1963)			
SiO ₂	25,20	24,68	24,05	24,75	24,28	24,56	22,20
FeO	6,55	11,52	5,71	12,27	11,16	10,23	13,20
Fe ₂ O ₃	0,98	0,21	8,17	0,57	0,84	0,40	—
MgO	0,17	0,01	0,04	—	0,22	0,13	—
MnO	—	0,33	—	0,29	0,19	0,19	—
BeO	9,18	10,30	10,97	10,13	9,65	9,69	9,20
Al ₂ O ₃	4,94	—	0,08	1,22	—	0,49	—
Σ TR ₂ O ₃	48,52	50,59 ¹	49,39 ²	48,56 ³	51,98 ⁴	51,73 ⁵	55,40
(Zr, Ti)O ₂	—	—	0,06	—	—	Сл.	—
ThO ₂	1,65	0,10	0,38	0,60	0,39	0,34	—
CaO	1,35	0,53	0,82	0,99	0,42	0,45	—
U ₃ O ₈	—	0,10	0,30	—	—	—	—
K ₂ O	—	0,07	—	—	—	0,12	—
Na ₂ O	—	0,18	0,30	0,07	0,17	0,42	—
B ₂ O ₃	0,57	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,18	1,20	—	0,16	} 0,54	—	—
H ₂ O ⁻	—	0,10	0,04	0,05		0,83	—
Сумма	99,29	100,09	100,31	99,66	99,84	99,60 ⁶	100,00
Уд. вес	4,66	4,15	4,12	—	4,51	4,35	

Аналитики Т. И. Столярова, З. М. Гилева, U. Petterson, З. И. Горощенко, М. Е. Казакова, A. Rödland.

¹ В оригинале: Ce₂O₃ 0,67%; Σ La₂O₃ 0,86%; Σ Y₂O₃ 49,06%.

² В оригинале: Ce₂O₃ 2,22%; Σ La₂O₃ 4,94%; Σ Y₂O₃ 42,23%.

³ В оригинале: Ce₂O₃ 2,27%; Σ La₂O₃ 3,71%; Σ Y₂O₃ 42,58%.

⁴ В оригинале: Ce₂O₃ 1,21%; (La, Di)₂O₃ 4,26; Σ Y₂O₃ 46,51%.

⁵ В оригинале Σ Y₂O₃ 43,85%; Σ Ce₂O₃ 7,88%.

⁶ Включая 0,02% P₂O₅; сл. PbO.

Не исключено, по-видимому, некоторое загрязнение примесью кварца. Обращает на себя внимание также необычно высокое (~5% против обычных 0,5—1,5%) для гадолинитов содержание глинозема. Более высокое содержание Al_2O_3 в гадолините, равное 6,93%, указывается только в статье М. А. и В. С. Кудриных (1961) и для гадолинита из КНР (Александрова и др., 1966). С высоким содержанием глинозема, несомненно, связана низкая железистость минерала (7,53% $FeO + Fe_2O_3$ против обычных 11—13%). Последнее указывает на то, что глинозем действительно входит в состав минерала, а не является чужеродной примесью. Следует отметить также несколько повышенные по сравнению с большинством анализов содержания тория и кальция (впрочем, в гадолините, описанном Кудриными, содержание обоих этих элементов значительно выше). В геохимическом отношении весьма интересно присутствие в составе гадолинита 0,57% B_2O_3 .

Таблица 3

Состав редкоземельных элементов в гадолините

(в процентах к сумме, принятой за 100)

По данным рентгеноспектрального анализа

La_2O_3	Ce_2O_3	Pr_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Gd_2O_3	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3	Tu_2O_2	Yb_2O_3	Lu_2O_3	Y_2O_3
—	5,6	1,8	6,2	2,9	2,6	5,9	1,5	5,3	1,2	7,8	0,6	58,6
5,86	19,3	—	14,3	4,4	5,6	6,15	—	4,4	—	3,37	—	36,6

Первая строка — аналитик К. М. Шмелева, вторая строка — аналитик Н. В. Туранская.

По данным хроматографического анализа

La_2O_3	Ce_2O_3	Pr_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Gd_2O_3	$(Y + Dy)_2O_3$	Er_2O_3	$(Tu + Yb + Lu)_2O_3$
5,0	6,8	1,0	9,1	4,5	2,7	57,7	5,4	7,7

Аналитик Л. А. Стегнухина.

Как упоминалось, низкая концентрация бора — вообще характерная геохимическая особенность пегматитов района, в том числе и содержащих гадолинит. Турмалин, в частности, для них большая редкость. Тем не менее в гадолините все же отмечается присутствие, пусть небольшого количества, бора, т. е. гадолинит выступает в качестве минерала-концентратора бора даже в неблагоприятных условиях его общего дефицита. Это связано, очевидно, с хорошо известным фактом изоструктурности гадолинита с другими минералами группы датолита, в частности с гомилитом $Ca_2FeB_2Si_2O_{10}$, вследствие чего решетка гадолинита оказывается исключительно благоприятной для вхождения в нее бора.

В гадолинитах из других месторождений содержание бора может быть и значительно более высоким: например, в гадолините из пегматитов Иттерби (Швеция) указывается (Doelter, 1931) 2,32% B_2O_3 . Полуколичественный спектральный анализ устанавливает в гадолините присутствие порядка $n \cdot 10^{-1}\%$ Na, Li, Zn; $n \cdot 10^{-2}\%$ Sc, Cu, Pb; $n \cdot 10^{-3}\%$ Sn, Bi, Ga. Расшифровка состава редких земель в гадолините (табл. 3) выполнена рентгеноспектральным методом в лабораториях ВИМС (К. М. Шмелевой) и ГЕОХИ (Н. В. Туранской), а также методом хроматографии на бумаге в лаборатории ВИМС (Л. А. Стегнухиной).

Используя результаты химического (хроматографического) анализа в качестве контрольных, следует признать более удовлетворительной рентгеноспектральную расшифровку, выполненную К. М. Шмелевой, как

лучше совпадающую с данными хроматографии (учитывая вообще невысокую точность анализа). График распределения редких земель в гадолините построен на основании рентгеноспектрального анализа, выполненного К. М. Шмелевой (рис. 7). На графике вырисовываются два практически одинаковых максимума — неодимевый и диспрозиевый и несколько больший третий максимум — иттербиевый.

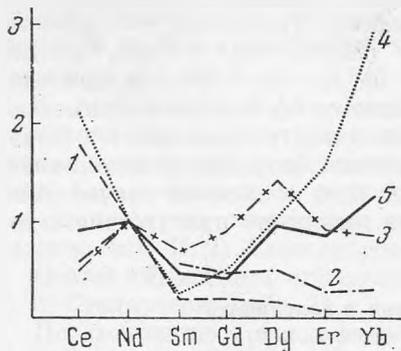
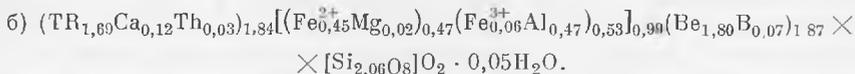
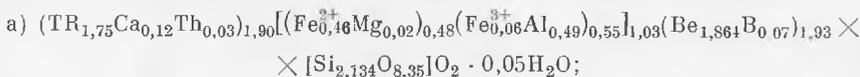


Рис. 7. Состав редкоземельных элементов в гадолините

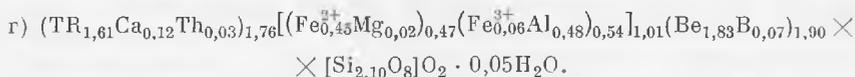
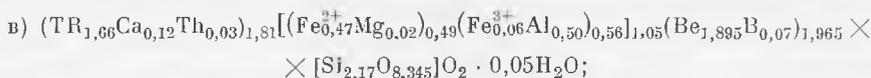
1—4 — типы распределения редкоземельных элементов в гадолинитах из различных месторождений по Вайнштейну и др. (1960), 5 — гадолинит из пегматитов Восточной Сибири

Интересно высокое содержание в анализируемом минерале редких земель цериевой группы, которое по существу равно содержанию иттриевых земель (без иттрия, на долю которого приходится больше, чем на все редкие земли, вместе взятые). Столь высокое (близкое к 1:1) отношение цериевых и иттриевых редких земель необычно для нормальных гадолинитов (в которых чаще преобладает иттриевая группа) и приближает описываемый минерал к церогадолиниту (точнее, этот минерал занимает близкое к среднему положение в намечающемся изоморфном ряду гадолинит-церогадолинит)*.

Расчет химической формулы гадолинита сделан по предложенному П. В. Павловым и Н. В. Беловым (1957, 1959) варианту структурной формулы: $Y_2FeBe_2[SiO_4]_2O_2^{**}$. Средний молекулярный вес окислов редких земель рассчитан в двух вариантах: по анализу К. М. Шмелевой и по анализу Н. В. Туранской. Расчет формулы по первому варианту выполнен: а) на сумму катионов, равную 7, и б) на $O = 10$. В результате получены следующие формулы:



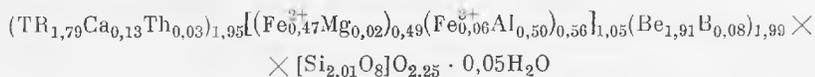
Обе формулы получаются не вполне удовлетворительными, причем первая все же лучше второй, несмотря на больший избыток кремнезема. Попытка избавиться от этого избытка расчетом формулы на $Si = 2$ существенно ухудшает ее, так как создает большой дефицит катионов. Установив, что лучшим способом расчета формулы является расчет на сумму катионов, мы все же рассчитали формулу по второму варианту также обоими способами (причем расчет на сумму катионов опять дал лучшие результаты):



* Согласно определению Н. В. Туранской, отношение $\Sigma Ce_2O_3 : \Sigma Y_2O_3$ (без Y) достигает 3,5:1, а $\Sigma Ce_2O_3 : \Sigma Y_2O_3$ (с Y) $\approx 1:1$, т. е. этот вывод подтверждается.

** А. А. Беус (1960) предлагает включать бериллий в состав радикала, записывая формулу в виде $Y_2Fe[BeSiO_4]_2O_2$.

Эти формулы при увеличившемся избытке SiO_2 в формуле «в» оказались хуже предыдущих и по величине члена, содержащего редкие земли. Результаты пересчета показывают, что, по-видимому, правильнее в данном случае базироваться на расшифровке состава редких земель, выполненной К. М. Шмелевой, а не Н. В. Туранской*. Избыток SiO_2 , по всей вероятности, следует просто исключить как образовавшийся за счет примеси кварца. Таким путем может быть получена более удовлетворительная формула (по первому варианту):



или $(\text{TR}, \text{Ca}, \text{Th})_{1,95}(\text{Fe}, \text{Al})_{1,05}(\text{Be}, \text{B})_{1,99}[\text{SiO}_4]_{\text{O}_{2,25}} \cdot 0,05\text{H}_2\text{O}^{**}$.

Такие особенности состава описанного минерала, как повышенное содержание цериевых редких земель и тория, по-видимому, обусловлены петрохимическими особенностями пегматитов, отличающихся повышенной щелочностью.

Устанавливаемая для них связь образования гадолинита с явлениями альбитизации отмечается и для других месторождений, в частности для амазонитовых пегматитов Кольского полуострова (Бельков, 1958) или пегматитов Баринджер Хилл (Техас, США), а также, по-видимому, Южной Норвегии (Хиттерё, Ивеланд) и Швеции (Иттерби, Кимита). На рассмотренном материале уточняется положение гадолинита в ходе развития явлений замещения в пегматитах, именно связь его с ранней стадией альбитизации, выраженной в образовании пластинчатого или призматического альбит-олигоклаза, тогда как поздняя альбитизация («сахаровидный» альбит) вызывает растворение и вынос гадолинита, становящегося на этой стадии неустойчивым. Гадолинит образуется, по всей видимости, в конце ранней стадии альбитизации, развиваясь метасоматическим путем по пластинчатому альбит-олигоклазу. В этом отношении наши данные подтверждают данные А. Я. Лунца (1961) для пегматитов Кольского полуострова, хотя с главным выводом этого автора — об образовании гадолинита на позднем гидротермальном этапе формирования пегматитов — мы согласиться не можем, учитывая наблюдаемые в нашем случае взаимоотношения гадолинита и поздней альбитизации, которые свидетельствуют о несомненно более позднем развитии сахаровидного альбита. Скорее всего образование гадолинита в конце стадии ранней альбитизации связано с происходящим в это время в связи с понижением температуры изменением щелочности растворов, вызывающим распад фторкомплексов бериллия и редких земель — наиболее вероятных форм нахождения этих элементов в высокотемпературных растворах.

Авторы весьма признательны И. Т. Александровой за предоставленную возможность использовать полученные ею данные и А. И. Гинзбургу за ценные советы и замечания.

* Это можно было бы и не отмечать, если бы анализ Н. В. Туранской уже не цитировался широко в литературе (Вайнштейн и др., 1960; Семенов, 1963; Александрова и др., 1966).

** Проверка формулы с использованием эмпирических значений удельного веса (4,66) и объема элементарной ячейки (349,12) дала (после исключения из анализа избытка SiO_2 в 1,54%) несколько заниженные сумму катионов (6,72) и количество атомов кислорода (9,84), что не удивительно, учитывая частичную метамиктность минерала (расчет формулы тем же способом непосредственно по анализу, без избытка SiO_2 , дает аналогичный дефицит суммы катионов).

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова И. Т. Физические свойства некоторых силикатов редких земель и методы их диагностики. Автореф. канд. дисс., 1964.
- Александрова И. Т., Гинзбург А. И., Куприянова И. И., Сидоренко Г. А. Редкоземельные силикаты. — Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 26. Госгеолтехиздат, 1966.
- Бельков И. В. Иттриевая минерализация амазонитовых пегматитов щелочных гранитов Кольского п-ова. — Сб. «Вопросы геол. и минерал. Кольского п-ова», вып. 1, 1958.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. Изд-во АН СССР, 1950.
- Беус А. А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. Изд-во АН СССР, 1960.
- Вайнштейн Э. Е., Александрова И. Т., Туранская Н. В. Состав редких земель в гадолинитах из месторождений различных генетических типов. — Геохимия, 1960, № 6.
- Вайнштейн Э. Е., Сидоренко Г. А., Тугаринов А. И., Туранская Н. В. О соотношении индивидуальных редких земель в гадолините. — Геохимия, 1958, № 3.
- Дворкин-Самарский В. А. Генезис и закономерности пространственного размещения редкоземельных пегматитов одного из районов Восточной Сибири. — Геология и геофизика, 1962, № 4.
- Кудрина М. А., Кудрин В. С. Гадолинит из щелочных пегматитов Сибири. — Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 9. Госгеолтехиздат, 1961.
- Луцц А. Я. О природе гадолинита в амазонитовых пегматитовых жилах. — Записки Всес. мин. об-ва, 1961, 90, вып. 6.
- Павлов П. В., Белов Н. В. Кристаллическая структура гердерита, датолита и гадолинита. — Докл. АН СССР, 1957, 114, № 4.
- Павлов П. В., Белов Н. В. Кристаллическая структура гердерита, датолита, гадолинита. — Кристаллография, 1959, 4, № 3.
- Петрова Е. А., Сидоренко Г. А., Иванова Т. И. О кристаллическом гадолините. — Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 9. Госгеолтехиздат, 1961.
- Семенов Е. И. Минералогия редких земель. Изд-во АН СССР, 1963.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. I. Гранитные пегматиты. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- Черник Г. П. Результаты исследования химического состава нескольких образцов скандинавских гадолинитов. — Записки Имп. мин. об-ва, 1906, 43, вып. 2.
- Штрунц Х. Минералогические таблицы. Госгортехиздат, 1962.
- Bjørlikke H. The mineral paragenesis and classification of the granite pegmatites of Iveland Setersdal. S. Norway. — Norsk. geol. tidsskr., 1935, 14, N 3—4.
- Bjørlikke H. Mineral paragenesis of some granite pegmatite near Kragerø, Southern Norway. — Norsk. geol. tidsskr., 1937, 17, N 1.
- Brögger W. C., Vogt Th., Shetelig J. Die Mineralien der Südnorwegischen Granitpegmatitgänge. II. Silikate der seltenen Erden (Y-Reihe und Ce-Reihe). — Norske Videnskaps-Selskabets Skr., I. Mat.-naturv. Kl., 1922, N 1, Kristiania.
- Chudoba K., Lange H. Rekrystallisationsversuche an autoisotropisierten Gadolinit, Samarskit und Euxenit. — Neues Jahrb. Miner., A, 1949.
- Doelter C. Handbuch der Mineralchemie. Bd. IV. Leipzig, 1931.
- Hidder W. E. Results of late Mineral Research in Llano County, Texas. — Amer. J. Sci., 1905, Ser. 4, 19.
- Parker R. J., Quervain F. Gadolinite aus den Schweizeralpen. — Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitteil., 1940, 20, N 1.
- Pellas P. Sur l'établissement de l'état metamicté dans le gadolinite. Bilan énergétique de la recristallisation. — C. R. Acad. Sci., Paris, 1952, 236, N 6.