

В. В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, М. И. ТУЛОХОНОВ

**ГАДОЛИНИТ ИЗ ЭКЗОКОНТАКТА  
МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОИДОВ  
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Еще недавно гадолинит считался относительно редко встречающимся минералом в гранитах и главным образом в гранитных пегматитах. В последние годы он был обнаружен в щелочных пегматитах (Кудрина, Кудрин, 1961), а также в альбититах и флюоритовых жилах — дериватах щелочных метасоматических пород гранитоидного состава (Александрова и др., 1966). Находки гадолинита в связи со щелочными породами пока единичны. Поэтому каждый новый факт его обнаружения в такой ассоциации представляет определенный интерес, особенно в генетическом отношении.

Породы, содержащие гадолинит, были обнаружены в Восточной Сибири еще в 1949 г. О. А. Розенцвитом (Александрова и др., 1966). Авторами статьи они обследовались в 1961 и в 1967 гг. Это мелкие гнездообразные скопления альбита, флюорита, реже натриевого ярозита; альбит-полевошпатовые жилы и желвакообразные обособления тонкозернистых агрегатов амфибол-альбит-флюорит-эпидот-циркон-гадолинитового состава; альбитовые жилы с кристаллами амфибола, эпидота, гадолинита. Все они залегают в экзоконтакте тел редкометаллических метасоматических пород гранитоидного состава среди слабо метасоматически измененных гнейсов и кристаллических сланцев и представляют собой генетически связанные с метасоматическими породами гидротермальные образования.

Метасоматические породы сложены микроклином, щелочным амфиболом, эгирином, кварцем, альбитом, не всегда биотитом и содержат вкрапления акцессорных пироклора, циркона, малакона, ильменита, криолита, гагаринита, а на отдельных участках — торита, колумбита, фергусонита, монацита, пахнолита и других минералов. В секущих их поздних кварцевых и кварцево-полевошпатовых жилах встречаются сульфиды железа, цинка, меди, молибдена, астрофиллит, бастнезит, кальцит, гематит и другие минералы. Нами установлено, что метасоматические породы образовались в процессе многостадийного щелочного метасоматоза за счет и на месте гнейсов и кристаллических сланцев. Они окружены мощной (2—3 км) зоной неполностью метасоматически замещенных пород субстрата: гнейсами и кристаллическими сланцами с жилами гранит-аплитов и пегматитов. В пределах зоны метасоматические минералы развиты пойкилитически, порфиробластически, пятнами и нитевидными прожилками и представлены микроклином, гадингситом, биотитом, флюоритом, торитом и некоторыми другими минералами.

Низкотемпературные продукты процесса щелочного метасоматоза развиты в основном в контактовой зоне тел щелочных метасоматических гранитоидов и представлены в гранитоидах жилами альбититов и кварц-полевошпатовыми жилами с сульфидами и карбонатами, а в слабо метасома-

тически измененных гнейсах и кристаллических сланцах экзоконтакта — выше охарактеризованными образованиями с гадолинитом. Последние прослеживаются главным образом вдоль трещин межслоевых нарушений, их мощности достигают нескольких метров при протяженности первые километры.

Гадолинит в зонах гидротермального преобразования слабо метасоматически измененных гнейсов и кристаллических сланцев образует то массы мелких неправильных зерен, тонко червеобразно прорастающих выделения гастингсита, то более крупные (до 1 см) кристаллы призматического и таблитчатого облика. Они вытянуты по (001), имеют прямоугольные и удлиненно-ромбовидные поперечные сечения. Кроме того, наблюдаются скелетные (футлярообразные) кристаллы гадолинита с многочисленными включениями апатита, полевого шпата и других минералов, что указывает на его метасоматическое происхождение.

Крупные кристаллы гадолинита располагаются, как правило, в центральных участках альбитовых жил, тонкоагрегатные его массы, прорастающие гастингсит, и скелетные кристаллы встречаются преимущественно в зальбандах этих жил и в желвакообразных скоплениях гастингсит-флюоритового состава.

С поверхности гадолинит покрыт корочкой продуктов изменения желтовато-бурого или красного цвета, имеющей коллоидное строение. Она представляет собой смесь гидроксидов железа и карбонатов (в том числе редкоземельных, типа бастнезита). На свежем сколе кристаллы гадолинита имеют бархатно-черный цвет, смолистый блеск, раковистый и полураковистый излом. Твердость минерала 6,1. Удельный вес, определенный Н.К. Финягиной из навесок 10 мг методом С.А. Руденко и М.М. Василевского, 3,89. Минерал слабомагнитен, электромагнитен, скапливается в электромагнитной фракции. В тонких осколках он просвечивает бутылочно-зеленым цветом.

В шлифах гадолинит серо-зеленоватый, плеохроизм отсутствует или весьма слабый, показатель преломления по  $N_p$  — 1,781, спайности нет, изотропен, иногда слабо двупреломляет (до 0,02),  $2V = +80^\circ$ .

Минерал неполностью метамиктный, в естественном состоянии дает очень слабую дифракционную картину, после прокаливания в муфельной печи в течение получаса при  $900^\circ\text{C}$  и свободном доступе воздуха восстанавливает кристаллическую структуру. Восстановление решетки начинается при  $750^\circ\text{C}$  и происходит постепенно без фазовых превращений.

Межплоскостные расстояния гадолинита приведены в табл. 1.

На кривой нагревания гадолинита наблюдается небольшой эндотермический минимум в температурном интервале  $650\text{—}800^\circ\text{C}$ , соответствующий температуре перехода его из метамиктного состояния в кристаллическое.

Физико-оптические свойства гадолинита близки свойствам гадолинита из щелочных пегматитов.

Химический состав гадолинита определен микрохимическим методом из навески 300 мг И. Т. Столяровой (табл. 2). Для анализа был отобран свободный от механических примесей чистый гадолинит в виде кристаллов величиной до 0,5 см, очищенных от корочек и взятых из центральных частей жилы существенно альбитового состава.

Ранее определялся (Александрова и др., 1966) химический состав гадолинита тех же альбититов из образцов О. А. Розенцвита (табл. 2, анализ 1). Анализ отличается от нашего главным образом меньшим содержанием тория и фтора и большим редких земель. Подобные данным этого анализа содержания редких земель характерны для гадолинита из зальбандовых частей альбититовых жил (табл. 3, анализ 2). Поэтому вероятно, что образец О. А. Розенцвита был взят из зальбандов жилы.

Химически (высокие содержания тория, кальция, закисного железа; заметные количества калия, алюминия; относительно низкое содержание

Таблица 1

## Значения межплоскостных расстояний гадолинита

<i>hkl</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>hkl</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>
—	7,935	6	031	2,18	1	—	1,318	2
001	4,69	5	040, 312	2,07	10	—	1,270	3
—	3,997	2	—	1,970	3	—	1,219	3
111, 020	3,71	3	—	1,934	3	—	1,195	2
120	3,495	3	—	1,771	2	—	1,158	1
211	3,13	7	—	1,729	2	—	1,099	1
121, 121	2,804	9	—	1,607	7	—	1,058	2
—	2,77	3—4	—	1,543	3	—	1,036	6
221	2,56	8	—	1,483	10	—	1,045	5
221	2,516	10	—	1,456	10	—	1,017	6
002, 410	2,39	3	—	1,392	1	—	1,000	5
—	2,29	5—6	—	1,340	5	—	—	—

Примечание: дебаэграмма снималась в камере РКД (железное нефилтрованное излучение, 36 кВ, 12 мА). Межплоскостные расстояния промерялись миллиметровой линейкой с точностью  $\pm 0,2$  мм, оценка интенсивности отражений визуальная.

Таблица 2

## Химический состав гадолинита

Окислы	Вес, %	Мол. колич.	Атомн. колич.	На семь катионов	$W_h$	Анализы для сравнения			
						1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	30,17	5 028	5 028	2,421	9,681	23,50	23,93	24,70	24,05
TiO <sub>2</sub>	Следы	—	—	—	—	—	—	0,14	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,77	378	756	0,364	1,092	3,30	—	9,76	8,17
FeO	7,50	1 042	1 042	0,501	1,002	9,55	12,25	3,72	5,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,21	119	238	0,114	0,342	3,01	6,93	—	0,08
MnO	Следы	—	—	—	—	—	—	0,17	—
MgO	1,02	253	253	0,121	0,242	0,44	2,91	0,10	0,04
CaO	6,54	1 168	1 168	0,563	1,126	3,80	7,15	0,64	0,82
ThO <sub>2</sub>	9,80	371	371	0,178	0,712	4,15	4,17	1,48	0,38
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,90	1 137	2 274	1,099	3,297	41,45	30,17	43,15	49,39
BeO	7,86	3 144	3 144	1,512	3,024	8,65	7,42	9,70	10,91
Na <sub>2</sub> O	0,30	48	96	0,046	0,046	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,03
K <sub>2</sub> O	0,79	84	168	0,080	0,080	»	4,34	»	Не опр.
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Не опр.	—	—	—	—	0,12	Не опр.	»	0,3
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3,10	1 721	2 842	—	—	2,20	»	2,00	0,4
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	0,44	»	4,20	Не опр.
F	1,22	642	642	0,276	—	0,12	»	Не опр.	»
Сумма	101,18					100,17	99,27	99,76	100,31
—O <sub>2</sub> =F	—0,51								
Сумма . . .	100,67		14 538		19,655				

Примечание: общий делитель 2079. Анализы для сравнения: 1 — Александрова и др. (1966); 2 — Кудрина, Кудрин (1961); 3 — Корнетова и др. (1966); 4 — Бельков (1958).

Таблица 3

Состав редких земель в гадолините (в % к их сумме, принятой за 100%) и содержание в нем тория

№ обр.	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	0,91	7,25	—	1,9	—	0,58	—	10,24	7,17	4,0	0,64
2	1,03	6,4	—	1,57	—	0,3	—	8,69	10,05	4,0	0,6

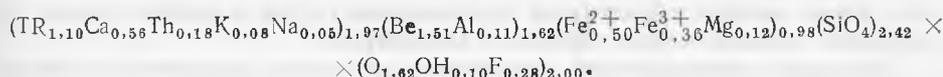
№ обр.	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΣTR <sub>Ce</sub>	ΣTR <sub>Y+Y</sub>	ΣTR	ThO <sub>2</sub>
1	3,14	—	64,17	14,64	85,36	100,00	19,0
2	1,70	—	65,66	9,30	90,70	100,00	15,0

Обр. 1 — гадолинит из центральных частей альбитовой жилы, крупные кристаллы; обр. 2 — гадолинит из зальбандов той же жилы, мелкие скелетные кристаллы. На графике под № 1 показано содержание редких земель в обр. 1 этой таблицы.

Содержание редких земель в гадолините определено спектральным количественным методом, анализатор А. Н. Замотина.

редких земель) наш гадолинит сходен с гадолинитом из щелочных пегматитов (табл. 2, анализ 2) и отличается от гадолинита из гранитов и их пегматитов (табл. 2, анализы 3, 4).

Расчет формулы минерала сделан по предложенному Е. В. Павловым и Н. В. Беловым (1959) варианту структурной формулы гадолинита: Y<sub>2</sub>FeBe<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, или в более общем виде A<sub>2</sub>BX<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Расчет (табл. 2) произведен на семь катионов с учетом реального состава редких земель (табл. 3, анализ 1). В связи с метамиктным состоянием минерала и сложностью его состава расчет формулы минерала относительно сложен. Так, при «традиционном» распределении катионов по группам (в группе А — TR, Ca, Th, Na, K; в группе В — Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mg; в группе X — Be, Al) формула гадолинита получается далеко не стандартной и имеет вид:



При таком написании формулы у минерала большой дефицит катионов в группе В и избыток кремния.

И. Т. Александрова и др. (1966), изучая гадолиниты различных регионов, из различных месторождений, пришли к выводу о том, что этот минерал характеризуется наличием широкого изоморфизма как в анионной, так и в катионной частях и что кроме ранее установленного в нем гетеровалентного Be<sup>2+</sup>←Al<sup>3+</sup>, Th<sup>4+</sup>←TR<sup>3+</sup>←Ca<sup>2+</sup>←K<sup>+</sup> и изовалентного Fe<sup>2+</sup>←Mg<sup>2+</sup> изоморфизма имеется изоморфизм и некоторых других элементов, а также изоморфизм вышеприведенных элементов с другими, здесь не указанными. В частности, такие элементы, как Al, Mn, Fe<sup>3+</sup>, возможно Be, могут играть в структуре минерала двойную роль, занимая две различные позиции. Так, алюминий может находиться в изоморфных соотношениях не только с бериллием, но и с двухвалентным железом, занимая октаэдрические позиции. Be в незначительном количестве может замещать Si, а при пониженном содержании Be в минерале последний может частично замещаться кремнием. Кремний может частично замещать алюминий, а часть трехвалентного железа может замещать редкие земли.

Учитывая эти соображения, формулу нашего гадолинита можно написать в виде:

