

В. В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, Т. И. СТОЛЯРОВА

НОВАЯ НАХОДКА ГАГАРИНИТА В СССР

Гагаринит — недавно открытый минерал: он был обнаружен в 1961 г. в рибекит-альбит-кварц-микроклиновых метасоматических гранитоидах Казахстана (Степанов, Северов, 1961). Позднее присутствие гагаринита было установлено в щелочных метасоматических гранитоидах Тувинской автономной области (Акелин, Казакова, 1963; Кудрин и др., 1966), где он является типоморфным аксессуарным минералом.

Нами изучен гагаринит, присутствующий в аксессуарных количествах в эгирин-арфведсонит-рибекитовых метасоматических породах гранитоидного состава Восточной Сибири. Эти породы образуют мощную полого залегающую межпластовую залежь среди гнейсов и кристаллических сланцев докембрия, приуроченную к региональной ослабленной субширотной зоне интенсивного развития явлений диафтореза, палингенеза, дислокационного метаморфизма, гранитизации, разновозрастного магматизма и щелочного метасоматоза. Залежь расчленена эрозией на два тела: восточное расположено в области замыкания пликативных структур, осложненной субширотными разрывными нарушениями, и имеет сложное блоковое строение. Залежь образовалась в результате проявления многостадийного процесса щелочного метасоматоза, переработавшего как гнейсы и кристаллические сланцы, так и прорывающие их жильные образования гранитного состава. Реликты тех и других в виде более или менее сохранившихся ксенолитов и ксеногенных минералов прослеживаются на отдельных участках залежи.

Породы, содержащие гагаринит, по составу соответствуют щелочным гранитам, сиенитам и кварцевым сиенитам, обладают псевдогнейсовидными, такситовыми, пятнистыми и коррозийными текстурно-структурными особенностями и слагаются микроклином, микроклин-пертитом, кварцем альбитом, арфведсонитом, рибекитом, не всегда биотитом, эгирином. Аксессуарные минералы — пироксид, циркон, криолит, гагаринит, фергусонит, колумбит, торит, астрофиллит, ильменит и некоторые другие. Отдельные стадии метасоматического процесса в разных участках развития этих пород проявились с неодинаковой интенсивностью, что обуславливает неравномерное распределение в них главным образом темноцветных и аксессуарных минералов.

Гагаринит в метасоматических гранитоидах встречен в виде двух генераций. Гагаринит I наблюдается в ассоциации с амфиболом и образует мелкие (миллиметры — доли миллиметра) неправильные ксеноморфные зерна в интерстициях между породообразующими минералами. Гагаринит II обнаружен в поздних кварц-микроклин-амфиболовых обособлениях среди гранитоидов и в экзоконтактовых участках последних. В таких обособлениях он слагает иногда почти мономинеральные выделения размером в несколько квадратных сантиметров, но большей частью их размер ко-

леблется в пределах первых миллиметров. Гагаринит II образует зернистые массы и сростки более или менее идиоморфных гексагонально-призматических кристаллов, иногда сноповидной и неправильной формы.

Цвет гагаринита обеих генераций бело-розовый, розовый до кирпично-красного. Окраска неравномерная, пятнистая, обусловлена тонкодисперсной примесью гематита. В мелких осколках, особенно светлоокрашенных, минерал прозрачен или полупрозрачен. Блеск стеклянный и матовый, излом неровный. Минерал хрупкий. Твердость его, измеренная Н. К. Финягиной на микротвердометре ПМТ-3, соответствует примерно 4,7 по классу Хрущева. Удельный вес, определенный ею же методом Руденко — Василевского из малых навесок, 4,29. Минерал слабомагнитен и совместно с амфиболом и пирохлором скапливается в электромагнитной фракции.

В шлифе гагаринит обеих генераций прозрачный, бесцветный, одноосный, положительный, $n_e=1,493$; $n_o=1,472$; $n_e-n_o=0,028$, но часто опускается до 0,012 и ниже. В минерале иногда наблюдаются мельчайшие включения какого-то темноокрашенного минерала, возможно эгирина или арфведсонита.

Т а б л и ц а 1

Межплоскостные расстояния гагаринита
Fe_{Ca}-излучение, 35 кв, 10 ма, промер миллиметровой линейкой

1			2			1			2		
hkl	d/n	I	hkl	d/n	I	hkl	d/n	I	hkl	d/n	I
1010β	5,68	3	1010β	(5,62)	2	2240	1,492	4	2240	1,498	4
1010	5,11	6	1010	5,14	7	2022	1,462	2	2022	1,459	3
	4,77	3		4,52	2		1,434	1	2241	1,442	3
	3,84	1		3,74	2	341	1,327	4	341	1,331	5
	3,49	5				1332	1,310	3	1332	1,312	4
1120β	3,27	2	1120β	(3,27)	2		1,281	3	4040	1,298	2
1011β	3,18	4	1011β	(3,19)	4	2242	1,262	2	2242	(1,261)	1
1120	2,985	7	1120	2,97	8				1450	1,244	1
1011	2,911	7	1011	2,90	8	3032	1,232	4	3032	1,234	7
	2,826	6	—	—	—	4041	1,222	1	4041	1,219	1
2020	2,570	1	2020	2,57	2				2350	1,192	1
	2,406	1	—	2,46	1		1,666	1		1,165	1
1121	2,297	5	1121	2,29	6				1013	1,148	1
1230	1,198	2	1230	2,15	1	2242	1,143	6	2242	1,142	3
2021	2,080	10	2021	2,08	10	1450	1,126			(1,33	7
	2,027	3	—	—	—				1450	1,127	9
1230	1,988	4	1230	1,995	4	1342	1,114	3	1342	1,117	6
	1,952	3	—	—	—	5051β	1,099	3	5051β	1,097	1
1231β	1,878	4	1231β	(1,883)	3				2352β	1,089	1
	1,825	2	1012β	(1,845)	1	2023	1,073	1	2023	1,072	6
0002	1,761	4	0002	1,761	3		1,058	1	4042	1,050	3
3031	1,720	5	3031	1,725	7		1,044	1		1,045	4
1231	1,699	7	1231	1,707	10		1,029	2			
1012	1,675	3	1012	1,669	4	3360	1,011	3	3360	1,010	9
	1,557	2	(2022β)	(1,607)	1		—			0,999	3
1122	1,514	3	1122	1,520	4		—		5051	0,997	6
							—			0,994	3
							—		2352	0,998	5

— анализировавшийся гагаринит; 2— гагаринит из Тувы (Кудрин и др., 1966).

Химический состав гагаринита

Оксиды	Вес. %	Вес. % без Fe ₂ O ₃ и приведенные к 100%	Мол. колич.	Атомн. колич. катионов	Коэффициент при расчете		W _h	Анализы для сравнения		
					на F=6	на три катиона		1	2	3
TR ₂ O ₃	53,70	55,19	1892	3784	1,32	1,2	3,6	51,63	54,80	56,75
ThO ₂	1,95	2,11	80	80	0,03	0,03	0,12	1,84	—	—
Fe ₂ O ₃	2,17	—	—	—	—	—	—	2,02	0,15	0,33
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—	1,27	0,5	—
Al ₂ O ₃	0,81	0,83	81	162	0,06	0,05	0,15	Сл.	0,60	Сл.
CaO	11,35	11,66	2078	2078	0,73	0,66	1,32	12,67	14,80	8,79
MgO	1,38	1,42	352	352	0,12	0,11	0,22	—	—	—
SiO ₂	0,43	0,44	—	—	—	—	—	—	0,15	—
Na ₂ O	8,79	9,03	1500	3000	1,03	0,95	0,95	7,88	7,50	10,64
K ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	0,10	Сл.
F	31,71	32,59	17 153	17 153	6,0	5,44	—	35,21	33,0	33,0
H ₂ O [±]	0,44	0,45	—	—	—	—	—	—	0,07	—
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	3,79	—
H. о.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,34
Сумма	112,73	113,72	—	—	—	—	—	—	114,34	111,85
—F=O ₂	13,31	13,72	—	—	—	—	—	—	14,73	13,88
Сумма	99,42	100,00	—	—	—	—	—	—	99,61	97,97

Примечание. Молекулярное количество редких земель рассчитывалось, исходя из их реальных содержаний в минерале. Содержания Fe₂O₃ и SiO₂ не учитывались, так как они обусловлены механической примесью, причем анализ пересчитывался только без учета Fe₂O₃, поскольку примесь SiO₂ незначительна. При расчете на F=6 общий делитель 2859, сумма валентностей катионов 6,79. При расчете на три катиона общий делитель 3152, сумма валентностей катионов 6,36, результаты этого расчета более удовлетворительны. Отношения катионов составляют: в анализировавшемся образце 1—1 : 0,85 : 1; обр. 2—0,8 : 0,8 : 1,2; обр. 3—1,2 : 0,5 : 1,3. 1—гагаринит из Тувы (Кудрин и др., 1966); 2—гагаринит из Казахстана (Степанов, Северов, 1961); 3—гагаринит из Тувы (Акелин, Казакова, 1963).

Межплоскостные расстояния гагаринита приведены в табл. 1. Дебаеграмма гагаринита, снятая в камере РКД-57,3, расшифрована Г. А. Сидоренко.

Параметры гексагональной ячейки минерала $a_0=5,97\pm 0,03$; $c_0=3,55\pm 0,03$ Å. Разница в дебаеграммах гагаринита I и II не обнаружена. На кривой нагревания минерала наблюдается эндотермический пик при температуре 750° С.

Химический анализ был выполнен микрохимическим методом из навески 300 мг кирпично-красного гагаринита I (табл. 2). Пересчет анализа произведен по формуле, предложенной А. А. Воронковым и др. (Воронков и др., 1962; Пятенко, Воронков, 1962), из расчета $F=6:Na_x(Ca_xTR_{2-x})_2F_6$, где $x\sim 0,8$, а также на три катиона по формуле $Na_x(Ca_xTR)_2F_6$.

Рассчитанные формулы минерала: при $F=6$ $Na_{1,03}(Ca_{0,73}Mg_{0,12}TR, Th, Al_{1,41})_{2,26}F_6$; при трех катионах $Na_{0,95}(Ca_{0,66}Mg_{0,11}Al_{0,05}Th_{0,03}TR_{1,2})_{2,05}(F_{5,44}O_{,46})_{5,9}$.

По особенностям химического состава (относительно большое содержание тория и железа) анализировавшийся гагаринит близок к гагариниту из Тувы (Кудрин и др., 1966), но отличается от него наличием магния и алюминия, несколько меньшими количествами кальция и фтора и большими—натрия. Полуколичественным спектральным анализом в гагарините обнаружены следующие примеси (в%): титан 0,03; цирконий 0,01; марга-

Таблица 3

Состав редких земель в гагарините

(1 — абсолютное содержание в %, 2 — относительные содержания в % к сумме редких земель, принятой за 100%)

№ образца	La ₂ O ₃		Ce ₂ O ₃		Pr ₂ O ₃		Nd ₂ O ₃		Sm ₂ O ₃	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2,10	3,42	10,0	16,5	2,6	4,3	5,4	9,0	5,5	9,0
2	2,50	3,1	14,0	17,93	3,3	4,23	7,0	9,0	5,3	6,79
3	2,4	—	14,0	—	3,0	—	6,8	—	5,9	—

№ образца	Eu ₂ O ₃		Gd ₂ O ₃		[Tb ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃]		Dy ₂ O ₃		Ho ₂ O ₃	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0,1	0,17	2,80	4,6	22,0	36,1	6,4	10,5	1,0	1,65
2	0,1	0,13	3,50	4,49	31,0	40,0	7,0	9,0	1,0	1,3
3	0,1	—	3,50	—	31,0	—	7,1	—	1,6	—

№ образца	Er ₂ O ₃		Tm ₂ O ₃		Yb ₂ O ₃		Lu ₂ O ₃		Σ TR _Y +Y	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2,30	3,8	0,21	0,34	0,38	0,62	—	—	32,29	53,01
2	2,10	2,69	0,23	0,29	0,82	1,05	—	—	42,15	54,33
3	2,20	—	0,24	—	0,75	—	—	—	42,29	—

№ образца	Σ TR _{Ce}		Σ TR _{Ce} : Σ TR _Y +Y		Σ TR ₂ O ₃	
	1	2	1	2	1	2
1	28,5	46,99	0,88	0,89	60,79	100,00
2	35,7	45,67	0,85	0,85	77,85	100,00
3	35,7	—	0,85	—	77,99	—

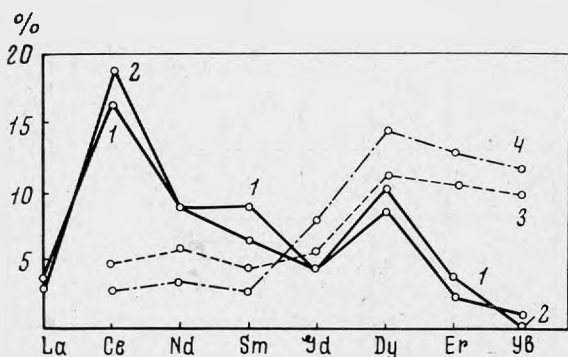
1 — гагаринит I генерации; 2, 3 — гагаринит II генерации. Микрохимический (см. табл. 2) и спектральный анализы гагаринита I выполнены из одной навески, разница в содержании редких элементов за счет неточности спектрального анализа.

нец 0,01; ниобий 0,03; свинец 0,01; олово 0,0001; бериллий меньше 0,1; скандий 0,001 и фосфор 0,1.

Состав редких земель гагаринита I и II определен Т. Замогиной спектрально-количественным методом (табл. 3). По их составу минерал отличается от гагаринитов других районов Советского Союза примерно равными количествами цериевых редких земель и иттрия и редких земель иттриевой группы, в то время как в других гагаринитах резко преобладают иттрий и редкие земли иттриевой группы. Кроме того, для этих гагаринитов характерен небольшой диспрозиевый максимум, а у анализированного гагаринита он выражен более отчетливо (см. рисунок). Такой состав редких земель, возможно, объясняется образованием гагаринита из растворов, богатых редкими землями именно цериевой группы, поскольку в парагенезисе с ним наблюдается селективно цериевый пирохлор (отношение ΣTR_{Ce}:

: $\Sigma TR_Y + Y$ в пирохлоре около 15). Гагаринит II содержит несколько большее количество редких земель, чем гагаринит I. При этом увеличивается содержание редких земель иттриевой группы и иттрия и соответственно несколько уменьшается отношение $\Sigma TR_{Ce} : \Sigma TR_Y + Y$.

Таким образом, по составу и некоторым свойствам (уд. вес, двупреломление) изученный гагаринит отличается от известных ранее. В отношении состава он характеризуется наличием изоморфизма по схеме: $Ca \leftarrow Mg$, $Ca \leftarrow TR, Th$; $Ca \leftarrow Na$ и тонкодисперсным распределением в нем гематита, обуславливающим неравномерно-пятнистую красноватую окраску минерала. Отношение общего числа катионов в формуле минерала, рассчитанной на три катиона, равно теоретическому, а отношение отдельных катионов — $0,95:0,77:1,28 = \sim 1:0,8:1,3$ по сравнению с таким же отношением в теоретической формуле гагаринита ($0,8:0,8:1,2$) характеризуется некоторым дефицитом кальция и избытком натрия и редких земель. Вообще соотношение катионов в гагаринитах непостоянно, что обусловлено наличием изоморфизма.



Сравнение состава редких земель в различных гагаринитах
1, 2 — анализовавшиеся образцы, Восточная Сибирь; 3 — из Восточного Казахстана; 4 — из Тувы. Состав сравнивается в отн. % (к сумме редких земель, принятой за 100%)

Образование двух генераций гагаринита в щелочных метасоматических гранитоидах Восточной Сибири представляется нам следующим. В процессе многостадийного метасоматоза из замещаемых пород выносятся магний и кальций, а привносятся калий, затем натрий и в виде фтор-комплексных соединений фтор, редкие земли, цирконий, тантал, ниобий, бериллий и некоторые другие элементы. Вступая во взаимодействие с привнесенными натрием и редкими землями и с находящимися в породах субстрата алюминием, фтор переходит в твердую фазу в виде гагаринита. На стадии окварцевания минерал становится неустойчивым и растворяется. В стадию поздней альбитизации происходит частичное переотложение фторидов в поздних кварц-полевошпатовых жилах и неправильной формы кварц-амфибол-полевошпатовых обособлениях среди метасоматитов. Но так как в эту стадию метасоматизирующие растворы характеризовались относительно значительным содержанием иттрия и редких земель иттриевой группы (по сравнению с цериевыми), гагаринит II обогащен этими элементами более, чем гагаринит I.

ЛИТЕРАТУРА

- Акелин Н. А., Казакова М. Е. О новой находке гагаринита. — Докл. АН СССР, 1949, № 3.
Воронков А. А., Шумяцкая Н. Г., Пятенко Ю. А. Кристаллическая структура гагаринита. — Структ. химия, 1962, № 6.
Кудрин В. С., Кудрина М. А., Столярова Т. И. Гагаринит — типоморфный минерал постмагматических метасоматических образований щелочно-гранитоидного состава. — Геол. месторожд. редких элементов, 1966, вып. 30.
Пятенко Ю. А., Воронков А. А. О формуле гагаринита. — Структ. химия, 1962, № 6.
Степанов А. В., Северов Э. А. Гагаринит — новый редкоземельный минерал. — Докл. АН СССР, 1961, 141, № 4.