

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 422 (2017), 37 – 45

A. O. Baisalova<sup>1</sup>, A. V. Dolgoplova<sup>2</sup>, R. Seltmann<sup>2</sup>, A. V. Stepanov<sup>1</sup>, G. K. Bekenova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satpaev institute of geological sciences, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Natural History Museum, London, Great Britain.

E-mail: baisalova73@mail.ru

VARIATIONS OF CHEMICAL COMPOSITION OF GAGARINITE  
FROM THE VERKHNEE ESPE DEPOSIT,  
AS INDICATOR OF MINERAL FORMING CONDITIONS  
AND POSITION IN METASOMATIC COLUMN

**Abstract.** We describe physical and optical properties of gagarinite  $\text{NaCa}(\text{Y,REE})\text{F}_6$ . The chemical composition of gagarinite from different locations within the Verkhnee Espe rare-metal deposit and from point of mineralization of the Zailiisky Alatau (28 analyses) is provided. Due to partial change in the valence of yttrium and REEs, *apfu* of the elements was used to quantify concentrations. The even-numbered REEs, including cerium, neodymium, samarium *etc.*, are constantly present in the composition of gagarinite. From the odd-numbered REEs, praseodymium, terbium, holmium *etc.* were identified. The ratio of FU of yttrium and the sum of FU of rare earths in gagarinite from different locations were analysed. Variations in the chemical composition of gagarinite allow estimation of the relative location within the metasomatic column.

**Key words:** gagarinite, albitite, yttrium, rare-earth element (REE), metasomatic process, chemical composition, electron-probe analysis.

УДК 552.54

A. O. Байсалова<sup>1</sup>, A. В. Долгополова<sup>2</sup>, R. Seltmann<sup>2</sup>, A. В. Степанов<sup>1</sup>, Г. К. Бекенова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Музей Естественной Истории, Лондон, Великобритания

ВАРИАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГАГАРИНИТА  
ВЕРХНЕЭСПИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, КАК ИНДИКАТОР  
УСЛОВИЙ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ  
В МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ КОЛОНКЕ

**Аннотация.** Дано описание физических и оптических свойств гагаринита  $\text{NaCa}(\text{Y,REE})\text{F}_6$ . Приведен химический состав гагаринита из разных мест Верхнеэспинского редкометального месторождения и точки минерализации Зайлийского Алатау (28 анализов). В связи с возможной частичной переменной валентности иттрия и других редкоземельных элементов в составе гагаринита для оценки их количественного содержания использован формульный коэффициент (ФК) элементов. В составе гагаринита постоянно присутствуют преимущественно четные редкоземельные элементы: церий, неодим, самарий и др.; из нечетных встречены празеодим, тербий, гольмий и др. Проанализировано соотношение формульного коэффициента иттрия к сумме формульного коэффициента редких земель гагаринита из разных мест. На основе вариаций химического состава минерала определялось его относительное место в соответствующих метасоматических колонках.

**Ключевые слова:** гагаринит, альбитит, иттрий, РЗЭ, метасоматический процесс, химический состав, электроннозондовый микроанализ.

**Гагаринит**  $\text{NaCa}(\text{Y,REE})\text{F}_6$ . Сложный фторид редких земель, кальция и натрия. Обнаружен А. В. Степановым в 1958 г. [1] и был условно назван накалифитом по составу, согласно имевшимся в то время первым анализам. В 1961 г. после уточнения химического состава минерал получил свое окончательное название в честь первого летчика-космонавта Ю. С. Гагарина.

Гагаринит, один из распространенных на месторождении минералов редких земель, концентрирует в себе заметную долю иттрия и редкоземельных элементов (РЗЭ). Минерал встречается в пегматоидных телах, в сильно катаклазированных кварцевых жилах, блоковом пегматоидном кварце (рисунок 1а) и сопровождающих его альбититах, в метасоматических породах экзоконтакта в шлирах и полосах гранитов, обогащенных рибекитом, эгирином, эльпидитом и, даже в «обычных» альбитизированных гранитах, вблизи пегматитовых жил. В пегматитах гагаринит образует шестигранные призматические кристаллы (рисунок 1б) размером до 3х15 см, прорастающие кварц или полевые шпаты и роговые обманки. В альбититах он чаще ксеноморфен, но изредка встречаются мелкие призмочки. В метасоматитах обычно ксеноморфен. В пегматоидном блоковом кварце гагаринит обычно распределяется вдоль трещинных зон. Несмотря на идиоморфизм его выделений в блоковом кварце очень редки формы с правильно ограниченными головками. Обычно это клиновидные или футлярообразные призмы (рисунок 1б), иногда с кварцевыми сердечниками. Сравнительно хорошо образованные шестигранные призмы с тупыми бипирамидами на концах встречены пока лишь в блоковом микроклине.

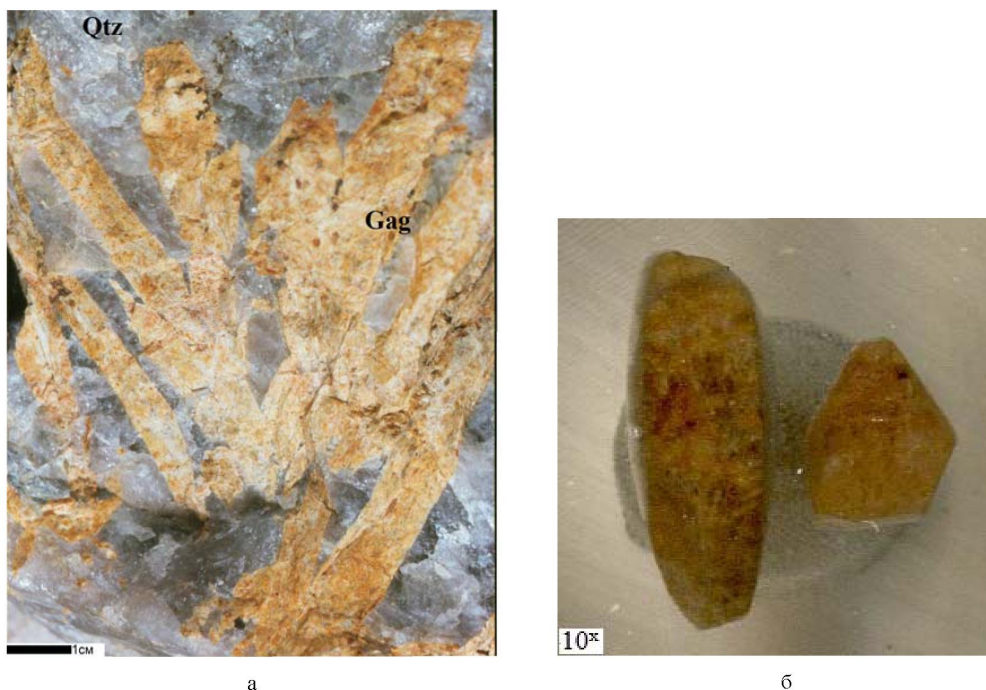


Рисунок 1 – Светло-желтоватые удлинённо-призматические кристаллы гагаринита в кварце (а); призматический шестигранный монокристалл гагаринита (б). Большой выход. Ув. 10<sup>х</sup>

Figure 1 – Light yellowish elongated-prismatic crystals of gagarinite in quartz (a); prismatic hexahedral single crystal of gagarinite (b). Great cupol. Magnification 10<sup>x</sup>

Кристаллы гагаринита, также как и всех других минералов месторождения, обычно сильно деформированы или разорваны поперечными трещинами и залечены кварцем (рисунок 1а). Совершенно лишённые вростков кристаллы гагаринита редки. По трещинкам очень часто развиваются минералы: бастнезит, монацит, ксенотим, фергусонит, иттрофлюорит, флюорит, циркон (рисунок 2) и др. Бастнезит-(Се) в гагарините часто образует обильную равномерную вкрапленность мелких округлых зерен (рисунок 3).

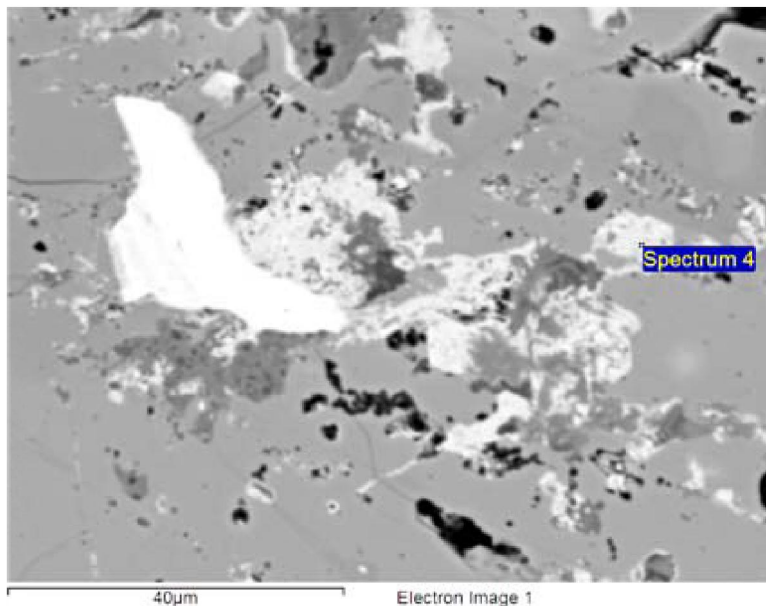


Рисунок 2 – В гагарините (серое) кристаллы бастнезита-(Ce) (белое), агрегаты флюорита (темно-серое) и иттрофлюорита (светло-серое). BEI-compo

Figure 2 – In gagarinite (gray) crystals of bastnesite- (Ce) (white), aggregates of fluorite (dark gray) and yttrifluorite (light gray). BEI-compo

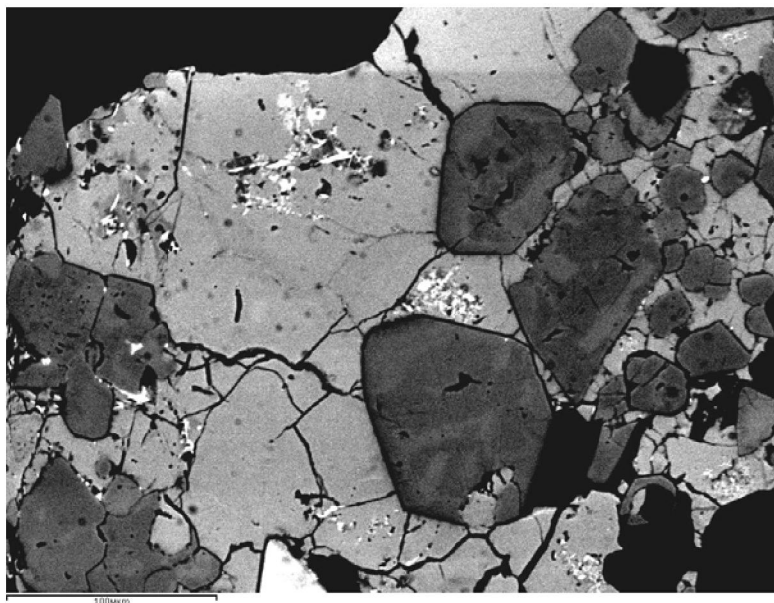


Рисунок 3 – В гагарините (серое) кристаллы циркона (темно-серое), микровкрапления бастнезита-(Ce) (белое). BEI-compo

Figure 3 – In gagarinite (gray) crystals of zircon (dark gray), microinclusions of bastnesite-(Ce) (white). BEI-compo

Цвет гагаринита белый со слабым розоватым оттенком, однако, за счет многочисленных тонких включений бастнезита, синхизита (иттросинхизита) и тончайших пленочных налетов гидроксидов и оксидов железа по трещинкам нередко – желтоватый, буровато-желтый. Прозрачен. В случае наличия примесей мутноватый, полупрозрачный или непрозрачный. Блеск стеклянный, слегка матовый. Спайность средняя до несовершенной по шестигранной призме. Хрупок. Черта белая. Твердость 4–4,5 по шкале Мооса. Гагаринит нерадиоактивен или очень слабо радиоактивен в

случае загрязнения. В ультрафиолетовых и катодных лучах не светится. По магнитным свойствам близок к таким минералам как рибекит, эгирин, астрофиллит.

При нагревании в муфеле сначала (до температуры 800°C) образец минерала спекается без заметного разложения и изменения формы, затем выше температуры 1050° происходит быстрое спекание с выделением газов и вспучиванием с образованием пористой шлакообразной массы розоватого или буроватого цвета. Полного расплавления не происходит.

В концентрированной серной кислоте разлагается при нагревании, при этом выделяются уменьшающиеся в размере пузырьки газа. Слабо растворим в воде, благодаря чему поверхностные выходы его обычно сопровождаются лунками и пустотами. Крупные штуфы чистого гагаринита имеют бугорчатую поверхность, напоминающую поверхность каменной соли. В связи с растворимостью плохо сохраняется в шлихах.

В шлифах минерал прозрачный, бесцветный или слегка мутновато-желтый в случае вторичных изменений. Одноосный положительный, но изредка аномально двуосный ( $2V$  от 0 до 20°), по видимому, за счет механических напряжений, возникающих при деформациях.

Показатели преломления для разных образцов варьируют в следующих пределах:  $N_e$  от 1,492 до 1,501;  $N_o$  от 1,472 до 1,474. Двупреломление от 0,020 до 0,027, а для тувинского образца гагаринита – 0,015 [1-4].

Плотность минерала для различных образцов колеблется от 4,420 до 4,452 г/см<sup>3</sup>.

Термограмма гагаринита имеет один резко выраженный эндоэффект с минимумом при температуре 720-750°C, обусловленный перестройкой кристаллической решетки из гексагональной в кубическую, аналогичную флюориту. Образцы минерала, содержащие неотделимую примесь бастнезита или иттротрихизита, дают на термограммах дополнительный эндоэффект (при температуре 450 °C) соответствующий разложению карбонатов.

Дебаграмма гагаринита имеет следующие наиболее интенсивные линии [ $d$  ( $\text{Å}$ ): 1,709 (10); 1,229 (10); 2,085 (9); 1,726 (9); 0,9967 (8); 2,98 (7); 1,012 (7). Параметры элементарной ячейки:  $a$  5,99(2) Å;  $c$  3,53(2) Å. Минерал кристаллизуется в гексагональной сингонии. Пространственная группа  $P6_3/m$  [1-4]. Кристаллическая структура гагаринита была расшифрована и уточнена в работах [5, 6].

В гипергенных условиях гагаринит сравнительно легко выщелачивается или замещается тонкозернистым агрегатом карбонатов: бастнезита-(Ce), тенгерита, синхизита, кайнозита, а также иттрофлюоритом, опалом и глинистым материалом. Иногда в таких продуктах присутствует стронций до 1,0%, бериллий до 1,0%.

Для изучения химического состава были отобраны образцы из разных мест месторождения, положение которых в соответствующих им метасоматических колонках, в настоящее время, трудно оценить.

Ксеноморфные зерна гагаринита (обр. №195) были встречены в альбитизированной породе с обильной вкрапленностью циркона, пироклора и др. минералов в эндоконтактной зоне вблизи центра большого выхода (рисунок 2).

Пальцевидные кристаллы (обр. №61а) диаметром до 3 см отобраны в кварце в центральной части крупного пегматоидного тела из большого выхода.

В 8 рудном теле на северо-востоке того же выхода непосредственно в экзоконтактной зоне гагаринит (обр. 116/61) находится в виде крупных блоков размером до 10 см с обильной вкрапленностью замещающих минералов: бастнезита, паризита, монацита, синхизита и реже рентгенита.

Следующий образец №125 был встречен и отобран из минеральной тонкозернистой «каши» преимущественно редкоземельных минералов в центральной части малого выхода.

*Химический состав* образцов гагаринита и присутствующих в них микровключений был изучен методом электроннозондового микроанализа на микроанализаторе JXA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе 25 нА, сфокусированном (диаметр 1–2 мкм) зонде. В качестве образцов сравнения использованы: альбит (Na), SiO<sub>2</sub> (Si); адуляр (K); CaSiO<sub>3</sub> (Ca);  $x(\text{PO}_4)$  ( $x$  - PЗЭ).

В связи с возможной частичной переменной валентности иттрия и PЗЭ для оценки количественного содержания элементов в минерале наглядно оперировать атомными количествами или формульными коэффициентами (ФК). В химическом составе гагаринита (таблица) рассчитанные

Таблица 1 – Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты образцов гагаринита из Верхнеэспинского месторождения и точки минерализации Заилийского Алатау  
 Table 1 – The chemical composition (wt.%) and calculated formulae (*apfu*) for gagarinite from the Verkhne-Espe deposit and the point of mineralization of the Zailiysky Alatau

Место выявления Элемент	Обр. №195 из альбитизированной породы с обильной вкрапленностью циркона, пироклора и др. минералов									Обр. №61а из пегматита						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Y	<b>18,21</b>	<b>17,34</b>	<b>17,92</b>	<b>16,92</b>	<b>17,10</b>	<b>19,26</b>	<b>19,72</b>	<b>19,80</b>	<b>19,93</b>	<b>27,55</b>	<b>30,27</b>	<b>29,53</b>	<b>30,33</b>	<b>28,69</b>	<b>27,67</b>	<b>25,54</b>
La	1,43	2,06	1,92	2,20	2,39	1,9	1,53	1,83	2,13							
Ce	6,03	6,68	6,69	6,70	6,90	5,13	5,38	4,91	5,18	1,98				1,32	1,26	2,22
Pr	0,74	0,84	1,24	0,87	0,77											
Nd	4,41	4,51	4,66	4,55	4,24	2,88	3,11	3,27	2,49	1,60		1,22		1,64	1,84	1,86
Pm																
Sm	2,15	2,04	2,55	2,14	2,02	2,16	1,46	1,15	1,22		1,38	1,29	1,27	1,10	1,37	1,15
Eu			0,52													
Gd	2,72	2,70	2,86	2,84	2,80	2,31	2,12	2,15	2,07	2,25	2,04	2,39	2,32	1,80	2,02	1,44
Tb	0,70		0,87							1,76						
Dy	3,27	3,30	3,27	3,25	3,24	3,44	3,56	3,02	3,40	3,72	4,14	4,29	4,24	3,56	3,65	4,30
Ho			0,27											1,49	0,91	0,64
Er	1,73	1,63	1,53	1,39	1,46	1,93	2,25	2,01	2,00		2,93	2,92	2,38	2,13	1,94	1,92
Yb		0,83		1,02	0,78	1,42	1,25	1,62	1,50		2,23	1,88	1,89	1,82	2,02	1,38
Si																
Ca	10,97	11,44	10,85	10,93	11,31	11,89	12,32	12,35	12,28	11,20	12,43	13,35	12,82	11,09	11,22	12,03
Na	<b>6,16</b>	<b>5,78</b>	<b>4,51</b>	<b>6,50</b>	<b>4,80</b>	<b>7,14</b>	<b>7,10</b>	<b>7,29</b>	<b>7,43</b>	<b>5,93</b>	<b>3,94</b>	<b>3,54</b>	<b>3,57</b>	<b>4,78</b>	<b>4,26</b>	<b>4,49</b>
F	42,13	45,35	41,85	42,62	45,14	41,18	41,98	40,75	41,32	51,37	50,51	49,51	50,07	41,66	42,12	41,69
$\Sigma$	<b>100,66</b>	<b>104,50</b>	<b>101,51</b>	<b>101,93</b>	<b>102,95</b>	<b>100,64</b>	<b>101,78</b>	<b>100,15</b>	<b>100,95</b>	<b>107,36</b>	<b>109,87</b>	<b>109,92</b>	<b>108,89</b>	<b>101,08</b>	<b>100,28</b>	<b>98,66</b>
Формульные коэффициенты в расчете (Na+Ca+Y+ $\Sigma$ REE)=3																
Y	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	<b>0,71</b>	<b>0,62</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>1,01</b>	<b>1,13</b>	<b>1,10</b>	<b>1,15</b>	<b>1,07</b>	<b>1,07</b>	<b>0,98</b>
La	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,05							
Ce	0,14	0,16	0,17	0,16	0,17	0,11	0,12	0,11	0,11	0,05				0,03	0,03	0,05
Pr	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02											
Nd	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,06	0,07	0,07	0,05	0,04		0,03		0,04	0,04	0,04
Pm																
Sm	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02		0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
Eu			0,01													
Gd	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03
Tb	0,01		0,02													
Dy	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09
Ho			0,01											0,03	0,02	0,01
Er	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04
Yb		0,02		0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
Lu																
$\Sigma$ REE	<b>0,51</b>	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	<b>0,56</b>	<b>0,58</b>	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,40</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,3</b>
Si																
Ca	<b>0,91</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,90</b>	<b>1,00</b>	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	<b>0,93</b>	<b>0,91</b>	<b>1,03</b>	<b>1,10</b>	<b>1,08</b>	<b>0,92</b>	<b>0,96</b>	<b>1,03</b>
Na	<b>0,89</b>	<b>0,84</b>	<b>0,7</b>	<b>0,93</b>	<b>0,74</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,84</b>	<b>0,57</b>	<b>0,51</b>	<b>0,52</b>	<b>0,69</b>	<b>0,64</b>	<b>0,67</b>
F	6,28	6,37	6,61	6,37	6,52	6,14	6,15	6,12	6,08	6,44	6,77	6,91	6,91	6,67	6,73	6,57

Продолжение таблицы 1  
Continuation of table 1

Место выявления Элемент	Обр. №116/61 из 8РТ, Большой выход						Обр. №125 Центр Малого выхода			Обр. №366 Зайлийский Алатау		
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Y	<b>25,29</b>	<b>26,74</b>	<b>24,65</b>	<b>24,89</b>	<b>25,04</b>	<b>25,88</b>	<b>32,89</b>	<b>30,61</b>	<b>30,85</b>	<b>24,39</b>	<b>23,07</b>	<b>26,07</b>
Ce	2,28	2,33	2,35	1,73	2,21	1,48	0,57	0,27	0,00			
Pr					0,51	0,57	0,30	0,00	0,00			
Nd	2,22	2,49	2,58	1,99	2,21; Pm 0,47	2,80	1,35	0,73	1,05	2,19	2,92	0,73
Sm	1,52	1,85	1,77	1,74	2,55	1,45	1,24	1,14	1,28	1,75	1,4	1,29
Eu					1,07	0,53						
Gd	2,60	3,07	2,61	1,89	2,75	3,25	2,14	3,51	3,68	2,88	2,52	2,78
Tb	0,83	1,02	0,37	0,63	0,74	0,82	0,39	0,95	0,85	0,73	0,53	1,04
Dy	5,16	5,23	4,83	5,14	4,58	4,78	3,17	6,44	5,35	4,45	4,25	4,53
Ho	0,96	0,37	0,77	1,32	0,46	0,60	0,00	0,65	0,00	0,80	0,73	0,96
Er	4,16	3,64	2,41	2,91	3,15	3,19	1,71	2,54	2,42	2,60	2,41	2,40
Yb	2,92	3,04	1,68	1,88	2,26	2,56	1,51	1,14	1,44	1,20	1,86	1,30
Lu		0,96	0,5	0,54		0,05	Si 0,59	Si 0,62	Si 0,47			
Ca	10,00	9,80	9,40	10,65	9,95	8,34	10,05	8,31	8,31	13,26	13,19	13,57
Na	<b>2,88</b>	<b>2,05</b>	<b>5,41</b>	<b>3,71</b>	<b>4,51</b>	<b>5,26</b>	<b>3,56</b>	<b>3,91</b>	<b>4,09</b>	<b>5,15</b>	<b>5,97</b>	<b>5,59</b>
F	40,34	37,14	39,95	39,11	37,51	39,61	39,68	39,09	39,21	41,00	43,07	41,42
$\Sigma$	<b>101,41</b>	<b>99,73</b>	<b>99,28</b>	<b>98,13</b>	<b>99,97</b>	<b>101,17</b>	<b>99,15</b>	<b>99,91</b>	<b>99,00</b>	<b>100,40</b>	<b>102,36</b>	<b>101,68</b>
Формульные коэффициенты в расчете (Na+Ca+Y+ $\Sigma$ REE)=3												
Y	<b>1,06</b>	<b>1,15</b>	<b>0,95</b>	<b>1,01</b>	<b>0,97</b>	<b>1,02</b>	<b>1,27</b>	<b>1,21</b>	<b>1,23</b>	<b>0,88</b>	<b>0,81</b>	<b>0,91</b>
Ce	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04	0,01	0,01				
Pr					0,01	0,01	0,01					
Nd	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05; Pm 0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,06	0,02
Sm	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
Eu					0,02	0,01						
Gd	0,06	0,07	0,06	0,04	0,06	0,07	0,05	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05
Tb	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Dy	0,12	0,12	0,10	0,11	0,10	0,10	0,07	0,14	0,12	0,09	0,08	0,09
Ho	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01		0,01		0,02	0,01	0,02
Er	0,09	0,08	0,05	0,06	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Yb	0,06	0,07	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
Lu	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00						
$\Sigma$ REE	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>0,44</b>	<b>0,46</b>	<b>0,49</b>	<b>0,43</b>	<b>0,28</b>	<b>0,38</b>	<b>0,36</b>	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>
Si							0,07	0,08	0,06			
Ca	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,81</b>	<b>0,96</b>	<b>0,85</b>	<b>0,73</b>	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,73</b>	<b>1,06</b>	<b>1,03</b>	<b>1,05</b>
Na	<b>0,47</b>	<b>0,34</b>	<b>0,81</b>	<b>0,58</b>	<b>0,67</b>	<b>0,80</b>	<b>0,53</b>	<b>0,60</b>	<b>0,63</b>	<b>0,72</b>	<b>0,82</b>	<b>0,75</b>
F	6,92	7,36	6,60	6,91	6,75	6,61	6,90	6,83	6,86	6,50	6,30	6,45

Примечание. Анализы 11–14 выполнены в отделе минералогии Музея Естественной Истории, Лондон (Великобритания).

ФК иттрия всегда больше суммы ФК редких земель. Приближение к равенству ФК указанных элементов зафиксировано лишь в образце №195 из альбитизированной породы; соотношение ФК 1:2 отмечено для образца из 8 рудного тела и 1:3 – из пегматоидной жилы. Аномально высокое содержание иттрия наблюдается в образце из минеральной «каши». Сумма ФК иттрия и РЗЭ приближается к 1,5; т.е. к сумме ФК натрия и кальция. Технологам, ранее изучавшим систему Na – Ca – Y, известно существование составов, в которых иттрий присутствует в избыточном количестве по сравнению с натрием и кальцием, вероятно, в двухвалентном состоянии.

В составе минерала постоянно присутствуют преимущественно четные редкоземельные элементы: церий, неодим, самарий, гадолиний, диспрозий, эрбий и иттербий; из нечетных же чаще встречаются празеодим, тербий и гольмий, а лантан, европий, тулий и лютеций – спорадически в минерале из разных мест месторождения.

В составе гагаринита зафиксированы кислород и кремний, что объяснимо постоянно присутствующими микроскопическими кварцевыми просечками по трещинкам катаклаза. Изредка в химическом составе отмечается только кислород, который, возможно, замещает фтор в виде гидроксидной группы.

Состав с достаточным содержанием натрия и кальция приближается к идеальному формульному составу гагаринита только в альбитизированной породе (обр. №195), которая пересыщена щелочными и щелочноземельными элементами в виду их наибольшей подвижности в голове колонки постмагматической деятельности. В остальных же местах месторождения в пегматоидных телах в составе минерала отмечается нехватка натрия, а наименьшее содержание указанных элементов наблюдается в образце №125 гагаринита из минеральной тонкозернистой «каши»: среднее значение ФК кальция здесь 0,77; натрия – 0,59. Тонкозернистая «каша» представляет собой, в основном, микроразмерные зерна фторидов: флюоцерита, иттрофлюорита, флюорита и недиагностируемой фазы, содержащей кислород и РЗЭ; силиката таленита; фторсиликата роуландита; фтортитаносиликатов: ифтисита и его разновидностей; фосфатов: апатита, монацита, ксенотима; ниобатов: пирохлора, ферсмита, фергусонита и фторкарбонатов: бастнезита-(Ce) и бастнезита-(Y). Пересыщенность иттрием и РЗЭ и недостаток щелочных и щелочноземельных элементов сказывается на составе гагаринита в форме аномального избытка иттрия и, в меньшей степени, РЗЭ. Вынос легкоподвижных щелочных и осаждение щелочноземельных элементов в виде флюорита, иттрофлюорита, флюоцерита, бастнезита и др. минералов приводит к накоплению тяжелых минеральных образований.

Для сравнительного анализа был отобран гагаринит (обр. №366), встреченный в выходах пегматоидных щелочных гранитов Заильского Алатау. Здесь кристаллы минерала растут в свободном пространстве миарол совместно с кварцевыми и полевошпатовыми (микроклин) кристалликами и представляют собой шестигранные короткие призмы (размером до 2 мм) в комбинации с одной или двумя бипирамидами и пинакоидом. Свободное пространство заполнено тонкочешуйчатой гидрослюдистой массой. Прозрачность кристаллов гагаринита обусловлена отсутствием большого количества микровключений в отличие от гагаринита из Верхнеэспинского месторождения. Химический состав минерала из Заильского Алатау (таблица) близок к составам гагаринита из пегматоидных тел Верхнеэспинского месторождения и отличается лишь меньшим количеством легких РЗЭ. В монокристалльном образце наблюдаются зоны с различным содержанием иттрия и РЗЭ (рисунк 4). Тяжелые участки при изучении выявляют более низкое содержание иттрия и, соответственно, повышенные – РЗЭ (таблица, анализ 28 (среднее по 3 точкам) в отличие от легких (анализ 29) (среднее по 3 точкам).

Точка минерализации в Заильском Алатау, где был встречен гагаринит, приурочена к ослабленной зоне, которая, несмотря на достаточно глубокий срез, проявилась появлением многочисленных мелких пустот-миаролок и более крупных шпир пегматоидного типа. Процесс минералообразования отнесен нами к ранней стадии накопления и дифференциации легко подвижных компонентов, таких как фтор, хлор, позже РЗЭ, Nb, Ti, Sn, Zr, Gf, Th, U и др.

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела минералогии Музея Естественной Истории Джону Спратту и сектора минералогии ИГН им. К. И. Сатпаева Левину В. Л., Котельникову П. Е. за проведение электроразнозондовых исследований.



Рисунок 4 – Зональное зерно гагаринита в эпоксидной смоле (черное): тяжелая разновидность минерала (светло-серое), легкая (темно-серое). Микровключения бастнезита-(Ce) (белое). BEI-компо

Figure 4 – Zone grain of gagarinite in epoxy resin (black): a heavy variety of mineral (light gray), light (dark gray). Microinclusions of bastnesite-(Ce) (white). BEI-compo

*Работа проведена по гранту 0302/ГФ4 «Создание базы данных по уникальным, редким и недостаточно изученным минералам месторождений благородных и редких элементов Казахстана для комплексного освоения минерального сырья» при финансовой поддержке комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан».*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Степанов А.В., Северов Э.А. Гагаринит – новый редкоземельный минерал // Доклады АН СССР. – 1961. – Т. 141, № 4. – С. 954-957.
- [2] Ерджанов К.Н. Гранитные интрузии и пегматиты Тарбагатая. – Алма-Ата, 1963. – С. 279.
- [3] Беус А.А., Северов Э.А., Ситнин А.А., Субботин К.Д. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). – М.: АН СССР, 1962. – С. 196.
- [4] Минеев Д.А. Геохимия апогранитов и редкометаллических метасоматитов северо-западного Тарбагатая. – М.: Наука, 1968. – С. 184.
- [5] Воронков А.А., Шумятская Н.Г., Пятенко Ю.А. Кристаллическая структура гагаринита // Структурная химия. – 1962. – № 3. – С. 665-669.
- [6] Hughes J.M., Drexler J.W. Refinement of the structure of gagarinite-(Y),  $\text{Na}_x(\text{Ca}_x\text{REE}_{2-x})\text{F}_6$  // Canadian Mineralogist. – 1994. – Vol. 32. – P. 563-565.

#### REFERENCES

- [1] Stepanov A.V., Severov E.A. Gagarinit – novyj redkozemel'nyj mineral // Doklady AN SSSR. 1961. Vol. 141, N 4. P. 954-957.
- [2] Erdzhanov K.N. Granitnye intruzii i pegmatity Tarbagataya. Alma-Ata, 1963. P. 279.
- [3] Beus A.A., Severov E.A., Sitnin A.A., Subbotin K.D. Al'bitizirovannye i grejzenizirovannye granity (apogranity). M.: AN SSSR, 1962. P. 196.
- [4] Mineev D.A. Geokhimiya apogranitov i redkometal'nykh metasomatitov severo-zapadnogo Tarbagataya. M.: Nauka, 1968. P. 184.
- [5] Voronkov A.A., Shumyatskaya N.G., Pyatenko Yu.A. Kristallicheskaya struktura gagarinita // Strukturnaya himiya. 1962. N 3. P. 665-669.
- [6] Hughes J.M., Drexler J.W. Refinement of the structure of gagarinite-(Y),  $\text{Na}_x(\text{Ca}_x\text{REE}_{2-x})\text{F}_6$  // Canadian Mineralogist. 1994. Vol. 32. P. 563-565.



А. О. Байсалова<sup>1</sup>, А. В. Долгополова<sup>2</sup>, R. Seltmann<sup>2</sup>, А. В. Степанов<sup>1</sup>, Г. К. Бекенова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Жаратылыстану Тарихи Мұражайы, Лондон, Великобритания

### **ЖОҒАРҒЫ ЕСПЕ КЕНОРНЫ ГАГАРИНИТТІҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ ВАРИАЦИЯСЫ, МИНЕРАЛ ТҮЗІЛУІ МЕН МЕТАСОМАТИТТІК БАҒАНАДА ОРНАЛАСУ КӨРСЕТКІШІ**

**Аннотация.** Гагаринит минералының (NaCa(Y,REE)F<sub>6</sub>) физикалық және оптикалық сипаттамасы берілген. Жоғарғы Еспе сирек металды кенорнның әр түрлі нүктелерінен, сол сияқты Іле Алатауы ауқымындағы өзге де минералдану нүктелерінен алынған гагаринит минералының (барлығы 28 талдама) химиялық құрамы нақтыланған. Гагаринит құрамындағы иттрий мен өзге де сирекжер элементтердің валенттілігі азды-көпті өзгеріп тұру мүмкіндігі ескеріліп олардың сандық мөлшерін бағалау мақсатында элементтердің формулалық коэффициенті пайдаланылған. Гагаринит құрамында тұрақты түрде көбінесе церий, неодим, самарий сияқты-жұп санды сирекжер элементтер ұшырасады, ал тақ санды элементтерден празеодим, тербий, гольмий т.с.с. кездеседі. Әр түрлі аймақтардан алынған гагаринит құрамындағы иттрийдің формулалық коэффициентінің сирек жер элементтері жиынтығының формулалық коэффициентіне қатынасы талқыланған. Минералдың химиялық құрамының вариациялары негізінде оның метасоматоздық бағанадағы өзіндік орны анықталды.

**Түйін сөздер:** гагаринит, альбитит, иттрий, сирекжер элементтер, метасоматоздық үдеріс, химиялық құрам, электронды зондтық микроталдау.