

Код МРНТИ 38.35.21:38.37.17

*Е. С. Ли¹, В. Г. Степанец², В. Л. Левин³, С. Б. Иманбаева¹¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²Astra Mining Kazakhstan (г. Лондон, Великобритания),³ТОО «Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БАРИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СЛЮДЫ

Аннотация. В статье проведен минералогический и петрографический анализ барийсодержащей слюды (барифенгита) из Северного Улытау, Казахстан. Химический состав изучен методом электроннозондового микроанализа. Показано, что минерал характеризуется высоким содержанием SiO_2 (49,31–53,31 мас. %) и BaO (1,90–5,32 мас. %), а также варьирующими концентрациями Na и Al . Сравнение с образцами из Швейцарии, США и Италии выявило больше FeO и MgO , чем у барифенгитов Беризала и Линкольн-Хилла, и более сложный химсостав, чем у фенгитов эклогитов Вольтри. Минерал демонстрирует уникальные кристаллохимические особенности, отражающие гидротермальную активность региона. Данные расширяют понимание формирования барийсодержащих слюд в различных геологических условиях.

Ключевые слова: барифенгит, барийсодержащая слюда, кварцит, сланец, альбит, Северный Улытау.

Құрамында барий бар слюданың минералогиялық және петрографиялық талдауы

Аңдатпа. Мақалада Солтүстік Ұлытаудан (Қазақстан) алынған барийлі слюда (барифенгит) минералогиялық және петрографиялық талданды. Минерал құрамын электронды-зондты микроанализ әдісімен зерттеді. Минералдың SiO_2 мөлшері жоғары (49,31–53,31 масс. %) және BaO (1,90–5,32 масс. %), сондай-ақ Na және Al концентрациялары әркелкі екені көрсетілді. Швейцария, АҚШ және Италиядан алынған үлгілермен салыстырғанда, Солтүстік Ұлытау барифенгитінде Беризал мен Линкольн-Хилл барифенгиттерінен көбірек FeO және MgO бар және Вольтри тобының эклогит фенгиттеріне караганда химиялық құрамы күрделірек. Минерал аймақтың гидротермальдық белсенділігін көрсететін ерекше кристаллохимиялық қасиеттерге ие. Алынған мәліметтер барийлі слюдалардың әртүрлі геологиялық жағдайларда қалыптасуын түсінуді кеңейтеді.

Түйінді сөздер: барифенгит, құрамында барий бар слюда, кварцит, тақтатаас, альбит, Солтүстік Ұлытау.

Mineralogical and petrographic analysis of barium-bearing mica

Abstract. The article presents a mineralogical and petrographic analysis of barium-bearing mica (bariophengite) from Northern Ulytau, Kazakhstan. The chemical composition was studied using electron probe microanalysis. It was shown that the mineral is characterized by high SiO_2 content (49.31–53.31 wt.%) and BaO (1.90–5.32 wt.%), as well as variable concentrations of Na and Al . Comparison with samples from Switzerland, the USA, and Italy revealed higher FeO and MgO contents than in the bariophengites from Berisal and Lincoln Hill, and a more complex chemical composition than in the phengites of the Voltri eclogite group. The mineral exhibits unique crystallochemical features reflecting the hydrothermal activity of the region. These data expand the understanding of the formation of barium-bearing micas under different geological conditions.

Key words: bariophengite, barium-containing mica, quartzite, schist, albite, Northern Ulytau.

Введение

Барийсодержащая слюда (барифенгит) представляет собой уникальный минерал, обнаруженный в альбито-кварцевых и графитизированных кварцевых флюидизатах Северного Улытау. Его минералогический состав, текстурные особенности и химические характеристики имеют важное значение для понимания геохимических и петрологических процессов, протекавших в данном регионе. В данной статье проводится всесторонний анализ барифенгита, включая его морфологию, химический состав и особенности кристаллохимии.

Краткое геологическое строение

В пределах Северного Улытау в бассейне реки Кара-Тургай традиционно выделяются три протерозойские серии [1] – бектурганская, аралбайская и карсакпайская, которые перекрыты кайнозойскими отложениями. Наибольшим распространением в среднем течении реки Кара-Тургай пользуются образования карсакпайской серии [2], которая представлена нерасчлененными образованиями – это серицито-кварцевые, хлорито-кварцевые сланцы, порфиroidы, амфиболово-плагноклазовые, хлорито-альбитовые, мусковито-альбит-кварцевые сланцы, мраморы, кварциты, железистые кварциты. Возраст карсакпайской серии условно принят верхнепротерозойским согласно положению в разрезе относительно пород аралбайской серии [2]. С породами карсакпайской серии сопряжены выходы пикрито-риолитового комплекса.

Методы исследования

Породообразующие минералы были идентифицированы в шлифах и аншлифах в Лаборатории минералогии ТОО ИГН им. К. И. Сатпаева (Алматы, Казахстан). Для изучения барифенгита использовались электроннозондовый микроанализ (ЕРМА) для определения химического состава минерала, включая концентрации Ba , K , Al , Si , Mg и Fe , проведенный при стандартных условиях: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток пучка 20 нА, диаметр пучка 1–2 мкм, точность ± 1 –2 мас. % и пределы обнаружения 0,01–0,05 мас. %; рентгенофазовый анализ (РФА) для установления кристаллической структуры и фазового состава минералов; оптическая микроскопия для изучения морфологии минералов и их текстурных особенностей (рис. 1); сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) для детального исследования микроструктуры и включений в минерале; ЭДРФА, проведенный с использованием лабораторного спектрометра РЛП-21Т (ТОО «АспапГЕО», Алматы, Казахстан). Применение этих методов позволило комплексно охарактеризовать химические, структурные и текстурные особенности барифенгита и породообразующих минералов.

Результаты и обсуждение

Химический состав барифенгита. Барифенгит характеризуется содержанием BaO от 1,90 до 5,32 мас. %, K_2O – от 9,78 до 11,10 мас. %, Na_2O – от 0,04 до 0,63 мас. %. Высокие концентрации SiO_2 (49,31–53,31 мас. %) свидетельствуют о кремниевой насыщенности минерала. Также

отмечены примеси **FeO** (2,10–6,16 мас. %) и **MgO** (2,25–3,01 мас. %), что может указывать на процессы перекри-

сталлизации и миграции элементов в ходе постмагматических процессов (таблица 1).

Таблица 1

Состав (мас. %) бариофенгита по данным электроннозондового микроанализа

Кесте 1

Электрондық зонд микроталдау деректеріне сәйкес бариофенгиттің құрамы (мас. %)

Table 1

Composition (wt. %) of baryophengite according to electron probe microanalysis data

БАКФ										
Проба	1					2				
Компоненты	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
SiO₂	50.50	50.88	50.19	51.15	49.31	51.29	51.97	50.01	50.08	49.90
TiO₂	0.07	0.16	0.38	0.28	0.18	0.22	0.07	0.13	0.37	0.10
Al₂O₃	29.00	28.44	28.42	28.89	30.58	28.55	28.51	30.14	30.45	28.42
FeO	3.58	3.75	4.16	3.24	2.60	3.56	3.38	3.37	2.10	4.57
MgO	2.90	3.00	2.04	2.93	2.63	2.81	2.74	2.24	2.53	2.55
MnO	0.00	0.34	0.11	0.18	0.19	0.22	0.07	0.19	0.22	0.07
K₂O	10.74	10.99	10.48	10.42	10.82	11.25	10.83	10.37	10.53	10.97
Na₂O	0.26	0.13	0.63	0.41	0.33	0.28	0.32	0.33	0.28	0.23
BaO	2.94	2.31	3.58	2.48	3.36	1.90	2.00	3.23	3.44	3.18
БАКФ										
Проба	3					4	5	6	7	8
Компоненты	1	2	3	4	5					
SiO₂	50.22	50.63	51.24	50.34	50.10	51.45	50.74	50.87	53.37	51.67
TiO₂	0.24	0.19	0.23	0.15	0.04					
Al₂O₃	28.59	28.66	28.45	28.78	29.79	28.51	27.35	27.84	26.40	28.20
FeO	3.85	3.89	3.52	3.87	3.11	3.68	3.61	4.51	4.05	3.54
MgO	2.55	2.79	2.81	2.46	2.78	2.28	3.31	2.75	2.68	2.24
MnO										
K₂O	10.98	10.93	10.78	10.76	10.86	9.8	10.48	10.36	10.01	9.93
Na₂O	0.25	0.21	0.33	0.44	0.46	1.03	0.18	0.40	0.20	1.01
BaO	3.32	2.70	2.65	3.20	2.86	3.19	4.09	3.26	3.30	3.41
ГКФ										
Компоненты	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
SiO₂	50.10	51.16	50.68	50.13	51.82	50.10	48.87	48.75	49.70	48.39
TiO₂	0.32	0.34	0.06	0.02	0.15	0.19	0.39	0.33	0.32	0.09
Al₂O₃	28.22	27.95	28.06	28.90	27.76	28.21	27.13	28.46	27.87	28.22
FeO	2.91	2.95	3.10	3.60	3.15	3.04	4.36	5.64	4.10	4.91
MgO	3.41	3.27	3.54	2.49	3.20	3.15	3.00	2.07	2.77	2.52
MnO										
K₂O	10.69	10.30	10.32	10.38	10.58	10.36	10.36	10.18	9.91	10.12
Na₂O	0.45	0.36	0.29	0.40	0.25	0.30	0.04	0.34	0.15	0.43
BaO	3.90	3.68	4.08	4.07	3.09	4.65	4.93	4.23	5.17	5.32

Примечание: БАКФ – бариофенгито-альбито-кварцевый флюидизат; ГКФ – графитизированный кварцевый флюидизат. Формульные коэффициенты вынесены в приложение.

Формульные коэффициенты

БАКФ										
Проба	1					2				
Компоненты	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Формульные коэффициенты в расчете на 11 атомов кислорода									
<i>Si a.p.f.u.</i>	3.308	3.327	3.316	3.329	3.234	3.340	3.364	3.274	3.267	3.300
<i>Al^{IV}</i>	0.692	0.663	0.687	0.671	0.766	0.660	0.636	0.726	0.733	0.700
<i>T site</i>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<i>Al^{VI}</i>	1.546	1.519	1.529	1.544	1.597	1.531	1.556	1.600	1.609	1.515
<i>Ti</i>		0.008	0.019	0.014	0.009	0.011	0.003	0.006	0.018	0.005
<i>Fe²⁺</i>	0.196	0.205	0.230	0.176	0.143	0.194	0.184	0.184	0.115	0.253
<i>Mg</i>	0.28	0.293	0.201	0.284	0.257	0.273	0.266	0.219	0.246	0.251
<i>Mn</i>		0.019	0.006	0.010	0.011	0.012	0.004	0.011	0.012	0.004
<i>M site</i>	2.029	2.043	1.984	2.028	2.016	2.020	2.014	2.020	2.00	2.028
<i>K</i>	0.897	0.917	0.883	0.865	0.905	0.934	0.901	0.866	0.88	0.925
<i>Na</i>	0.033	0.016	0.081	0.052	0.042	0.035	0.040	0.042	0.04	0.029
<i>Ba</i>	0.075	0.059	0.093	0.063	0.086	0.048	0.051	0.083	0.100	0.082
<i>I site</i>	1.006	0.992	1.057	0.980	1.033	1.018	0.993	0.991	1.000	1.037
Σ cations	7.035	7.036	7.041	7.008	7.049	7.039	7.007	7.011	7.000	7.065
<i>Fe + Mg</i>	0.476	0.498	0.431	0.460	0.400	0.467	0.450	0.403	0.361	0.504
<i>Fe + Mg + Si</i>	3.784	3.825	3.747	3.789	3.634	3.807	3.814	3.677	3.628	3.804
БАКФ										
Проба	3					4	5	6	7	8
Компоненты	1	2	3	4	5					
	Формульные коэффициенты в расчете на 11 атомов кислорода									
<i>Si a.p.f.u.</i>	3.310	3.318	3.345	3.312	3.277	3.363	3.357	3.353	3.481	3.380
<i>Al^{IV}</i>	0.690	0.682	0.655	0.688	0.723	0.637	0.643	0.647	0.519	0.620
<i>T site</i>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<i>Al^{VI}</i>	1.530	1.531	1.534	1.543	1.574	1.560	1.490	1.516	1.510	1.555
<i>Ti</i>	0.012	0.009	0.011	0.007	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Fe²⁺</i>	0.212	0.213	0.192	0.213	0.170	0.201	0.200	0.249	0.221	0.194
<i>Mg</i>	0.251	0.273	0.274	0.241	0.271	0.222	0.327	0.270	0.261	0.218
<i>Mn</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>M site</i>	2.005	2.026	2.011	2.004	2.017	1.983	2.016	2.034	1.991	1.967
<i>K</i>	0.923	0.914	0.898	0.903	0.906	0.817	0.885	0.871	0.833	0.829
<i>Na</i>	0.032	0.027	0.042	0.056	0.058	0.131	0.023	0.023	0.025	0.128
<i>Ba</i>	0.086	0.069	0.068	0.082	0.073	0.082	0.106	0.084	0.084	0.087
<i>I site</i>	1.041	1.010	1.007	1.042	1.038	1.029	1.014	0.978	0.942	1.044
Σ cations	7.046	7.07	7.019	7.045	7.055	7.012	7.030	7.013	6.964	7.011
<i>Fe + Mg</i>	0.463	0.486	0.466	0.454	0.441	0.421	0.527	0.519	0.482	0.412
<i>Fe + Mg + Si</i>	3.773	3.804	8.811	3.766	3.718	3.784	3.884	3.872	3.963	3.792
ГКФ										
Компоненты	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
	Формульные коэффициенты в расчете на 11 атомов кислорода									
<i>Si a.p.f.u.</i>	3.303	3.325	3.335	3.308	3.382	3.314	3.298	3.258	3.309	3.253
<i>Al^{IV}</i>	0.697	0.675	0.665	0.692	0.618	0.686	0.702	0.742	0.691	0.747

Продолжение приложения

<i>T</i> site	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<i>Al^{VI}</i>	1.495	1.508	1.511	1.555	0.618	1.513	1.456	1.500	1.496	1.489
<i>Ti</i>	0.016	0.017	0.003	0.001	0.007	0.009	0.020	0.017	0.016	0.005
<i>Fe²⁺</i>	0.160	0.164	0.171	0.199	0.172	0.168	0.246	0.315	0.228	0.276
<i>Mg</i>	0.335	0.323	0.347	0.245	0.311	0.311	0.302	0.206	0.275	0.253
<i>Mn</i>										0.00
<i>M</i> site	2.006	2.012	2.031	2.00	2.008	2.001	2.024	2.038	2.016	2.022
<i>K</i>	0.899	0.871	0.866	0.874	0.881	0.874	0.892	0.868	0.842	0.868
<i>Na</i>	0.058	0.046	0.037	0.051	0.032	0.038	0.005	0.044	0.019	0.056
<i>Ba</i>	0.101	0.096	0.091	0.105	0.079	0.121	0.130	0.111	0.135	0.140
<i>I</i> site	1.057	1.013	0.994	1.030	0.991	1.033	1.028	1.023	0.996	1.064
Σ cations	7.064	7.025	7.026	7.030	6.999	7.034	7.051	7.060	7.012	7.086
<i>Fe + Mg</i>	0.495	0.484	0.518	0.444	0.483	0.479	0.546	0.521	0.593	0.529
<i>Fe + Mg + Si</i>	3.798	3.809	3.853	3.752	3.865	3.793	3.844	3.779	3.902	3.782

Примечание: *a.p.f.u* – число атомов в формульной единице; БАКФ – бариофенгито-альбито-кварцевый флюидизит; ГКФ – графитизированный кварцевый флюидизит.

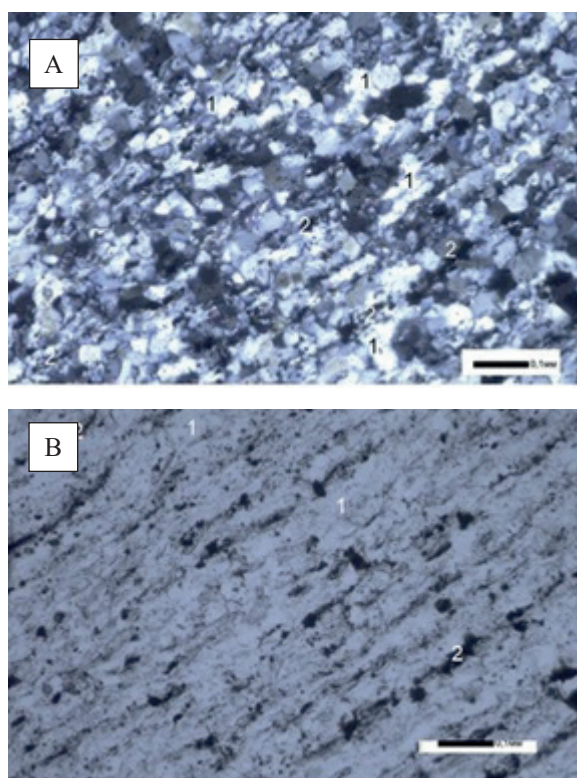


Рис. 1. Шлиф, увел 100. Ник +.

А) Слюдисто-альбито-кварцевая порода с кварцем (1) и белая слюда (2). В) Графитизированный кварц. Кварц (1), графитовое вещество (2).

Сурет 1. Жылтыратылған, ұлғайтылған 100. Ник +.

А) Кварцты (1) және ақ слюдамен (2) слюда-альбит-кварцты жыныс. В) Графиттелген кварц. Кварц (1), графит заты (2).

Figure 1. Section, magnification 100. Nick +.

А) Mica-albite-quartz rock with quartz (1) and white mica (2). В) Graphitized quartz. Quartz (1), graphite substance (2).

Морфология и текстурные особенности. Бариофенгит встречается в виде пластинчатых и игольчатых кристаллов, образующих текстуры в ассоциации с альбитом и кварцем. Кристаллы имеют тенденцию к образованию параллельных агрегатов, что характерно для гидротермально измененных пород. В некоторых образцах бариофенгит включает мелкие зерна циркона и монацита, что свидетельствует о сложной истории его формирования.

Проведенное сравнение бариофенгита из Северного Улытау с аналогами из других месторождений, таких как Беризал (Швейцария), Линкольн-Хилл (США) и Вольтри (Италия), показало его схожесть по содержанию бария, но отличия в содержании натрия и алюминия. В частности, исследуемый минерал демонстрирует более сложный химический состав, что может быть обусловлено специфическими геохимическими условиями формирования породы.

Для сопоставления пород и бариофенгита была использована трехкомпонентная диаграмма **Ba-Na-K** (Raith et al., 2014). Эта диаграмма позволяет рассматривать барийсодержащие слюды в системе координат мусковит-гантерит-парагонит, отражающую сложную систему тройного твердого раствора. Результаты электроннозондового микроанализа показали, что исследуемые слюды можно подразделить на две группы: первая содержит крайне низкие концентрации оксида натрия (0.04–0.18 мас. %), вторая группа – относительно высокие количества оксида натрия (> 0.20 мас. %) (таблица 1, рис. 2), что отличает их от ранее описанных барийсодержащих слюд, в упомянутых ранее опубликованной в работе (Raith et al., 2014).

Особо следует упомянуть о барийсодержащих слюдах гидротермального месторождения дюмортьерита Линкольн-Хилл около Ореаны, штат Невада, США [4]. Эти слюды содержат низкие, но постоянные концентрации *Na*, это дало основание С. Ма и Г. Р. Россману [4] высказать

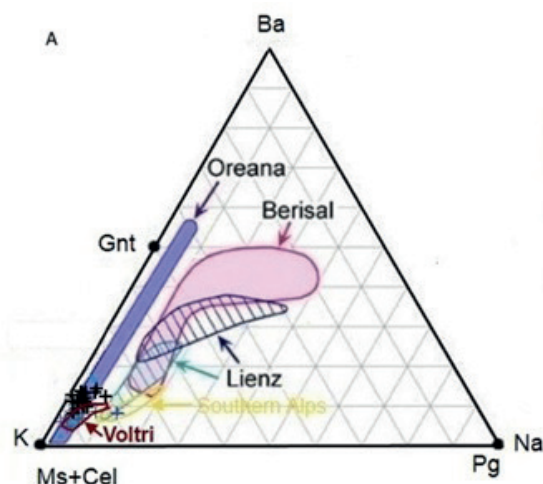


Рис. 2. Трехкомпонентная диаграмма Ba-Na-K (а.р.ф.у) для сопоставления Ва-фенгита карсакапской серии с таковыми: гранат-биотит-мусковитовых гнейсов комплекса Беризал (Berisal), Швейцария [3], думортьерита месторождения Линкольн-Хилл в Ореане (Oreana), США [4] и зоны контакта массива Лиенца (Lienz), Австрия [5], кварцево-полевошпатовых сланцев Южных Альп (Alps), Новой Зеландия [6], фенгитом эклогитов группы Вольтри (Voltri), Италия [7].

Фазовые компоненты: Ms – мусковит, Gnt – гантерит, Cel – селадонит, Pg – паргонит. Черным крестом обозначен бариофенгит графитизированного кварца, а синим крестом – бариофенгито-альбито-кварцевого флюидизата.

Сурет 2. Карсакапай тобындағы Ба-фенгитті салыстыратын үш компонентті Ва-На-К (а.р.ф.у) диаграммасы: Берисал кешенінің гранат-биотит-мусковит гнейстері, Швейцария [3], Ореанадағы Линкольн-Хилл кен орнының думортиериті және АҚШ-тың Линкольн-Хилл кен орнының думортиериті, Линц зонасы, АҚШ-тың байланыс аймағы [4]. [5], Оңтүстік Альпі, Жаңа Зеландиядағы кварцты дала шпаттары [6] және Вольтри тобының эклогиттерінің фенгиті, Италия [7].

Фазалық компоненттер: Ms – мусковит, Гнт – гунтерит, Cel – целадонит, Pg – паргонит. Қара крест графиттелген кварцтың бариофенгитін, ал көк крест бариофенгит-альбит-кварцты флюидизацияны көрсетеді.

Figure 2. Three-component Ba-Na-K diagram (a.p.f.u) for comparison of Ba-phengite of the Karsakpai series with those of: garnet-biotite-muscovite gneisses of the Berisal complex, Switzerland [3], dumortierite of the Lincoln Hill deposit in Oreana, USA [4] and the contact zone of the Lienz massif, Austria [5], quartz-feldspar schists of the Southern Alps, New Zealand [6], phengite of the eclogites of the Voltri group, Italy [7].

Phase components: Ms – muscovite, Gnt – gunterite, Cel – celadonite, Pg – paragonite. The black cross denotes baryophengite of graphitized quartz, and the blue cross – baryophengite-albite-quartz fluidizate.

мнение, что существуют чисто бинарные твердые растворы **К-Ва**. Изученные нами светлые белые слюды, содержащие барий, по содержанию оксида натрия подразделяются на две группы, обладающие неширокой амплитудой колебания – **BaO** (1.90–5.32 мас. %). Для них также характерны высокие концентрации **SiO₂** (49.31–53.31 мас. %) и примеси – **FeO** (2.10–6.16 мас. %), **MgO** (2.25–3.01 мас. %), что выше, чем в ранее исследованных барийсодержащих слюдах изоморфного ряда мусковит-гантерит-парагонит [3, 5, 6, 7]. По-видимому, исключение составляет богатый барием фенгит эклогитов группы Вольтри, Италия [7], имеющий относительно невысокие концентрации **Na₂O** и **TiO₂**, что характерно и для изученной нами барийсодержащей слюды. Фенгит [8], как и исследуемые нами светлые слюды, содержат относительно большое количество кремния с тетраэдрической координацией (3.26–3.47 а.р.ф.у). Эти пределы Si (а.р.ф.у.), К (< 0.923 а.р.ф.у.) диоктаэдрической (двухвалентными катионами – **Fe**, **Mg**, **Mn**, **Ti**) белой слюды указывают, что фенгит находится между соединениями мусковит-алюминоселадонита и мусковит-селадонита. Полученные значения а.р.ф.у (таблица 1) сближают изученный нами бариофенгит с идеальной формулой фенгита $KAl_{1.5}(Mg,Fe)_{0.5}Si_{3.5}Al_{0.5}O_{10}(OH)_2$ по С.В. Бейли [9]. В настоящее время фенгит дискредитирован Международной минералогической ассоциацией как самостоятельный минеральный вид (Номенклатура слюд, 1998). По отношению **Al₂O₃** к **MgO** (мас. %) бариофенгит отвечает глинозистой магматической серии по [10].

Основные выводы

1. Барийсодержащая слюда, идентифицированная как бариофенгит, образовалась в результате сложных магматических и гидротермальных процессов, что указывает на многостадийность эволюции пород Северного Улытау.

2. Морфологические и химические особенности минерала свидетельствуют о его генетической связи с газонасыщенными кислыми магмами, что позволяет использовать бариофенгит как индикатор магматической активности и минерагенических процессов.

3. Сравнение с аналогичными минералами из других регионов выявило уникальные химические признаки бариофенгита Северного Улытау, что расширяет базу данных для минералогической характеристики редкометалльных объектов.

4. Дальнейшие исследования механизма формирования и трансформации бариофенгита в природных условиях имеют важное прикладное значение: они могут повысить эффективность прогнозирования редкометалльного оруденения и использоваться в геологоразведочной практике для поиска перспективных месторождений.

Благодарность

Исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной, научно-технической программы ИРН № BR24993009.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вишневская И. И., Трусова И. Ф. Западно-Улытауский пояс ультраосновных и основных пород // Геология и разведка. – 1967. – № 11. – С. 32–43 (на русском языке)
2. Геологическая карта. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист М-(41), 42. Целиноград (Ақмола): объяснительная записка. – СПб.: Наука, 1993. – 145 с. (на русском языке)
3. Graeser S., Hetherington C. J., Gier R. Гантерит – новый барий-доминантный аналог мусковита из комплекса Беризаль, район Симплон, Швейцария // *The Canadian Mineralogist*. – 2003. – Т. 41. – С. 1271–1280 (на английском языке)
4. Green D. I., Cotterell T. F., Tindle A. G. Изоморфное замещение бария в мусковите с замечанием о гантерите // *Journal of the Russell Society*. – 2019. – Т. 22. – С. 48–58 (на английском языке)
5. Tribus M., Tropper P., Haefeker U. Акцессорные минералы при контактном метаморфизме II: кристаллохимия и рамановская спектроскопия барийсодержащих белых слюд из внутренней контактной ореолы Лиенц/Эденвальдского тоналита // Кристаллы, минералы и материалы: совместная конференция Немецкого кристаллографического общества, Немецкого минералогического общества, Австрийского минералогического общества: сб. тезисов. – Зальцбург: Ольденбург Ферлаг, Мюнхен, 2011. – С. 108 (на английском языке)
6. Grapes R. H. Бариевая слюда и распределение бария в метакертах и кварц-полевошпатовых сланцах Южных Альп, Новая Зеландия // *Mineralogical Magazine*. – 1993. – Т. 57. – С. 265–272 (на английском языке)
7. Динамика эксгумации высокобарических метаморфических пород из блока Вольтри, Западные Альпы: данные рубидий-стронциевой геохронологии по фенгиту / A. J. Smye [и др.] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2021. – Т. 176. – С. 14 (на английском языке)
8. Минеральная химия, ближняя и средняя инфракрасная спектроскопия отражения фенгита из месторождения Олимпик-Дэм типа IOCG, Южная Австралия / M. C. Tappert [и др.] // *Ore Geology Reviews*. – 2013. – Т. 53. – С. 26–38 (на английском языке)
9. Bailey S. V. Кристаллохимия истинных слюд // Слюды. Обзоры по минералогии / под ред. С. В. Бейли. – Вашингтон: Минералогическое общество Америки, 1984. – Т. 13. – С. 13–60 (на английском языке)
10. Современные достижения в изучении минералогии магматических и гидротермальных биотитов / P. Tang [и др.] // *Acta Geologica Sinica*. – 2019. – Т. 93. – № 6. – С. 1947–1966 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Вишневская И. И., Трусова И. Ф. Батыс Ұлытау ультраһегізгі және һегізгі жыһыһтары белдеуі // Геология және барлау. – 1967. – № 11. – Б. 32–43 (орыс тілінде)
2. Геологиялық карта. Масштаб 1:1 000 000 (жаңа серия). М-(41), 42 парағы. Целиноград (Ақмола): түсіндірме жазба. – СПб.: Ғылым, 1993. – 145 б. (орыс тілінде)
3. Graeser S., Hetherington C. J., Gier R. Гантерит – Швейцария, Симплон аймағындағы Беризаль кешенінен табылған барийге бай, мусковитке ұқсас жаңа минерал // *The Canadian Mineralogist*. – 2003. – Т. 41. – Б. 1271–1280 (ағылшын тілінде)
4. Green D. I., Cotterell T. F., Tindle A. G. Мусковиттегі барийдің изоморфты орынбасуы және гантерит туралы ескерту // *Journal of the Russell Society*. – 2019. – Т. 22. – Б. 48–58 (ағылшын тілінде)
5. Tribus M., Tropper P., Haefeker U. Контакттілі метаморфизм жағдайындағы акцессорлық минералдар II: Лиенц/Эденвальд тоналитінің ішкі контакттілі ореолындағы барийлі ақ слюдалардың кристаллохимиясы және Раман спектроскопиясы // «Кристалдар, минералдар және материалдар»: Германия кристаллография қоғамы, Германия минералогия қоғамы және Австрия минералогия қоғамының бірлескен конференциясы: тезистер жинағы. – Зальцбург: Ольденбург Ферлаг, Мюнхен, 2011. – Б. 108 (ағылшын тілінде)
6. Grapes R. H. Барийлі слюда және барийдің таралуы Оңтүстік Альпідегі метакерттер мен кварц-плагиоклазды тақтатастарда, Жаңа Зеландия // *Mineralogical Magazine*. – 1993. – Т. 57. – Б. 265–272 (ағылшын тілінде)
7. Вольтри блогындағы (Батыс Альпілер) жоғары қысымды метаморфтық жыныстардың эксгумация динамикасы: фенгит бойынша рубидий-стронций геохронологиясы негізіндегі мәліметтер / A. J. Smye [және т. б.] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2021. – Т. 176. – Б. 14 (ағылшын тілінде)
8. Оңтүстік Аустралиядағы Олимпик Дэм типіндегі IOCG кен орнының фенгиттерінің минералдық химиясы, жақын және орташа ИҚ шағылысу спектроскопиясы / M. C. Tappert [және т. б.] // *Ore Geology Reviews*. – 2013. – Т. 53. – Б. 26–38 (ағылшын тілінде)

9. Bailey S. V. Шынайы слюдалардың кристаллохимиясы // Слюдалар. Минералогия бойынша шолулар / ред. С. В. Бэйли. – Вашингтон: Американың минералогиялық қоғамы, 1984. – Т. 13. – Б. 13–60 (ағылшын тілінде)
10. Магмалық және гидротермальды биотит минералогиясын зерттеудегі қазіргі жетістіктер / P. Tang [және т. б.] // *Acta Geologica Sinica*. – 2019. – Т. 93. – № 6. – Б. 1947–1966 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Vishnevskaya I. I., Trusova I. F. Zapadno-Ulytauskij poyas ul'traosnovnykh i osnovnykh porod [The Western Ulytau belt of ultrabasic and basic rocks]. *Geologiya i razvedka* [Geology and Exploration]. – 1967. – No. 11. – P. 32–43 (in Russian)
2. *Geologicheskaya karta. Masshtab 1:1 000 000 (novaya seriya). List M-(41), 42. Tselinograd (Akmola)* [Geological map. Scale 1:1,000,000 (new series). Sheet M-(41), 42. Tselinograd (Akmola)]: *objasnitel'naja zapiska*. – St. Petersburg: Nauka, 1993. – 145 p. (in Russian)
3. Graeser S., Hetherington C. J., Gieré R. Ganterite, a new Ba-dominant analogue of muscovite from the Berisal Complex, Simplon Region, Switzerland // *The Canadian Mineralogist*. – 2003. – Vol. 41. – P. 1271–1280 (in English)
4. Green D. I., Cotterell T. F., Tindle A. G. Barium substitution in muscovite with a comment on ganterite // *Journal of the Russell Society*. – 2019. – Vol. 22. – P. 48–58 (in English)
5. Tribus M., Tropper P., Haefeker U. Accessory minerals in contact metamorphism II: crystal chemistry and Raman spectroscopy of Ba-rich white micas from the innermost contact aureole of the Lienz/Edenwald tonalite // *Joint Meeting DGK, DMG, OMG «Crystals, Minerals and Materials»: abstract volume*. – Salzburg: Oldenbourg Verlag-Munchen, 2011. – P. 108 (in English)
6. Grapes R. H. Barian mica and distribution of barium in metacherts and quartzofeldspathic schists, Southern Alps, New Zealand // *Mineralogical Magazine*. – 1993. – Vol. 57. – P. 265–272 (in English)
7. Exhumation dynamics of high-pressure metamorphic rocks from the Voltri Unit, Western Alps: Constraints from phengite Rb–Sr geochronology / A. J. Smye et al. // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2021. – Vol. 176. – P. 14 (in English)
8. The mineral chemistry, near-infrared, and mid-infrared reflectance spectroscopy of phengite from the Olympic Dam IOCG deposit, South Australia / M. C. Tappert et al. // *Ore Geology Reviews*. – 2013. – Vol. 53. – P. 26–38 (in English)
9. Bailey S. V. Crystallochemistry of true micas // *Micas. Reviews in Mineralogy* / ed. by S. V. Bailey. – Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, 1984. – Vol. 13. – P. 13–60 (in English)
10. Advances in research of mineral chemistry of magmatic and hydrothermal biotites / P. Tang et al. // *Acta Geologica Sinica*. – 2019. – Vol. 93. – P. 1947–1966 (in English)

Сведения об авторах:

Ли Е. С., ст. преподаватель кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), antonova_elenit@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4856-5222>

Степанец В. Г., главный геолог Astra Mining Kazakhstan (г. Лондон, Великобритания), wladimir@stepanec.de; <http://orcid.org/0000-0001-9771-5026>

Левин В. Л., ст. научный сотрудник ИГН им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), levin_v@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6945-0371>

Иманбаева С. Б., и. о. доцента кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), svetakaz77@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0049-2642>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ли Е. С., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Степанец В. Г., Astra Mining Kazakhstan бас геологы (Лондон қ., Ұлыбритания)

Левин В. Л., аға ғылыми қызметкер, Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты (Алматы қ., Қазақстан)

Иманбаева С. Б., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцент м. а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Li E. S., Senior Lecturer of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Stepanets V. G., Chief Geologist of Astra Mining Kazakhstan (London, UK)

Levin V. L., Senior Researcher of the IGS named after K. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Imanbaeva S. B., Acting Associate Professor of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)