

УДК 549.6 (575.3)

АЛЕКСАНДРОВИТ¹ $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ – НОВЫЙ ОЛОВЯННЫЙ МИНЕРАЛ

Л.А. Паутов, А.А. Агаханов, В.Ю. Карпенко

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla58@mail.ru, mineralab@mail.ru

Ф.Г. Гафуров

Таджикский Государственный университет, Душанбе, farhod70@mail.ru

Александровит (aleksandrovite) $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ – новый минерал, оловянный аналог баратовита – встречен в глыбе микроклин – кальцитовый породы с кварцем, альбитом, пироксеном эгирином – геденбергитового ряда на морене ледника Дараи-Пиёз (Таджикистан). В ассоциации встречены баратовит, флюорит, мизерит, Sn – содержащий титанит, бацитрит, пабстит, Sn – содержащий согдианит, сугилит, туркестанит, фторопатит. Минерал встречается в выделениях двух типов: а) мелкие (до 50 – 70 мкм) пластинчатые без видимой в отраженных электронах зональности зёрна и б) кристаллы (до 0.8 мм) и сростки зональных и секториальных зерен, в которых отдельные участки соответствуют александровиту, остальные – баратовиту или катаямалиту. Минерал бесцветный прозрачный; блеск стеклянный, на плоскости спайности – перламутровый. Черта белая. Сп. сов. по (001). D изм. = 3.05(2) г/см³, D выч. = 3.07(2) г/см³. Микротвёрдость 300 кг/мм². Твёрдость по Моосу 4 – 4.5. В коротковолновом УФ (254 нм) люминесцирует светом – голубым светом. Оптически отрицательный, двусосный; n_p = 1.629(2), n_m = 1.635(4), n_g = 1.638(2) (589 нм); $2V$ (выч.) = -70.3° . Дисперсия сильная, $r > v$. Удлинение положительное, угол погасания зерен от 0° до 22° . Сингония моноклинная, пр. группа $C2/c$, a = 17.01(2), b = 9.751(6), c = 21.00(2) Å, β = $112.45(8)^\circ$, V = 3219(7) Å³, Z = 4. Интенсивные линии порошкограммы (d , I , (hkl)): 4.86(21)(31 – 1); 3.712(33)(312); 3.234(100)(006); 3.206(34)(223); 3.039(28)(025); 2.894(42)(314); 2.425(42)(008); 1.950(25)(426). Хим. состав (микронзонд, среднее по 17 анализам; Li₂O – ICP OES, H₂O – расчётн.; мас.%) : SiO₂ – 48.01, Al₂O₃ – 0.07, TiO₂ – 2.86, SnO₂ – 12.84, ZrO₂ – 1.27, Nb₂O₅ – 0.11, Fe₂O₃ – 0.27, Ce₂O₃ – 0.04, MgO – 0.05, CaO – 25.52, SrO – 0.39, Na₂O – 0.20, K₂O – 2.91, Li₂O – 3.01, F – 1.71, H₂O – 0.39, (–O=F₂) = -0.72 , сумма 99.12. Эмпирическая формула александровита (K_{0.93}Na_{0.10})_{1.03}Li_{3.02}(Ca_{6.82}Sr_{0.06}Mn_{0.04}Mg_{0.02})_{6.94}(Sn_{1.28}Ti_{0.54}Zr_{0.15}Fe_{0.05}Nb_{0.01})_{2.03}(Si_{11.98}Al_{0.02})₁₂O_{36.00}[F_{1.35}(OH)_{0.65}]_{2.00}. ИК-спектр александровита близок к баратовиту, основные полосы поглощения: 1083, 1024, 974, 950, 673, 607, 568, 520, 470, 440 см⁻¹. Индекс сходимости свойств 1 – (K_p/K_c) = -0.005 . Минерал назван в честь известного российского геохимика, геолога и минералога Станислава Михайловича Александрова (1932 г.р.), внесшего большой вклад в геологию, геохимию и минералогию олова. Эталонный образец с александровитом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва (регистрационный номер 3825/1).

В статье 5 таблиц, 6 рисунков, список литературы из 19 названий.

Ключевые слова: александровит, баратовит, катаямалит, Дараи-Пиёз, минералы олова, щелочные породы.

При изучении полевых материалов, собранных авторами в 2004 и 2007 гг. на щелочном массиве Дараи-Пиёз (Таджикистан), был обнаружен новый оловянный минерал, состав которого можно выразить упрощенной формулой $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$. Он получил название александровит (aleksandrovite) в честь известного российского геохимика, геолога и минералога Станислава Михайловича Александрова (1932 г.р.), внесшего, в частности, большой вклад в геологию, геохимию и минералогию олова.

Александровит является оловянным аналогом баратовита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ и фтористым оловянным аналогом катаямалита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH},\text{F})_2$.

Прежде чем перейти к описанию нового минерала, остановимся более подробно на истории изучения баратовита и катаямалита, так как представления о химическом составе и номенклатуре этих минералов в разные годы были различными.

Баратовит описан как новый минерал в 1975 г. В.Д. Дусматовым с соавторами в составе кварц-альбит-эгириновых пород с мизеритом из массива Дараи-Пиёз. По результатам мокрого химического анализа (табл. 1, ан. 1) для него была предложена упрощенная формула $\text{KLi}_2\text{Ca}_8\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{37}\text{F}$ (Дусматов и др., 1975), отличающаяся от ныне принятой количеством атомов на формулу Ca (8 а.ф., вместо 7 а.ф.), Li (2 а.ф., вместо 3 а.ф.) и F (1 а.ф., вместо 2 а.ф. в крайнем фтористом минале). К сожалению, в работе не даются сведения о процедуре пробоподготовки навески минерала для химического анализа, не указаны методы определения содержаний компонентов, не говорится о том, проводилось ли определение воды. Отсутствие этих данных затрудняет оценку корректности написания формулы оригинального баратовита.

Кристаллическая структура баратовита расшифрована (R = 5.6%) П.А. Саңдомирским с соавторами на образце из Дараи-Пиёз

¹ – Рассмотрен и рекомендован к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов РМО и утвержден Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК) ММА 4 мая 2009 г.

Таблица 1. Химический состав баратовита, катаямалита и александровита (мас.%)

Компонент	Баратовит		Катаямалит		Александровит	
	1	2	3	4	5	6
			сред.	п-лы вариаций		
SiO ₂	50.46	52.31	48.01	47.32 – 48.79		
Al ₂ O ₃			0.07	0.01 – 0.27		
TiO ₂	9.55	10.99	2.86	0.88 – 3.89		
SnO ₂			12.84	10.73 – 16.03		
ZrO ₂	2.28		1.27	0.18 – 3.01		
Nb ₂ O ₅	0.72		0.11	0.00 – 0.28		
Fe ₂ O ₃	0.50	0.29	0.27	0.01 – 0.74		
Ce ₂ O ₃			0.04	0.00 – 0.23		
MgO			0.05	0.01 – 0.25		
MnO	0.12	0.22	0.17	0.10 – 0.25		
CaO	30.36	28.25	25.52	24.98 – 25.87		
SrO			0.39	0.01 – 1.48		
Na ₂ O	0.70	0.22	0.20	0.01 – 0.56		
K ₂ O	2.96	2.89	2.91	2.76 – 3.06		
Li ₂ O	2.05	3.25	3.01*			
F	1.05	0.34	1.71	1.10 – 2.01		
H ₂ O		1.21	0.39**			
-O=F ₂	-0.44	-0.14	-0.72			
Сумма	100.31	99.83	99.12			

Примечание: пересчет на (Si + Al) = 12 ат.). 1 – баратовит, Дарай-Пиёз, Таджикистан. Аналитик А.В. Быкова (Дусматов и др., 1975) (K_{0.90}Na_{0.28})_{1.18}Li_{1.96}(Ca_{7.75}Mn_{0.03})_{7.78}(Ti_{1.71}Zr_{0.26}Fe_{0.09}Nb_{0.08})_{2.14}Si₁₂O_{37.23}F_{0.79}. 2 – катаямалит, Иваки, Япония. Микронзондовый анализ. Li₂O – пламенная фотометрия, H₂O – термогравиметрический, Fe₂O₃ – титрометрический. (Murakami *et al.*, 1983) (K_{0.85}Na_{0.10})_{0.95}Li_{3.00}(Ca_{6.94}Mn_{0.04})_{6.98}(Ti_{1.90}Fe_{0.05})_{1.95}Si₁₂O_{35.78}(OH)_{1.85}F_{0.25}. 3 – александровит, микронзондовый анализ, среднее по 17 анализам. Li₂O* – ICP OES, H₂O** – расчетное содержание. Аналитик Л.А. Паутов, (K_{0.93}Na_{0.10})_{1.03}Li_{3.02}(Ca_{6.82}Sr_{0.06}Mn_{0.04}Mg_{0.02})_{6.94}(Sn_{1.26}Ti_{0.52}Zr_{0.15}Fe_{0.05}Nb_{0.01})_{2.03}(Si_{11.96}Al_{0.02})₁₂O_{36.00}(F_{1.35}(OH)_{0.65})_{2.00}

за, хранящемся в фондах Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана (Сандомирский и др., 1976). Очень образное описание кристаллической структуры баратовита дается Н.В. Беловым и Е.Н. Беловой (1978) в знаменитых «Очерках по структурной минералогии». Впоследствии структура баратовита была уточнена (R = 3.4%) С. Менчетти и Ч. Сабелли (Menchetti, Sabelli, 1979), также на материале из Дарай-Пиёза, полученном от А.С. Поваренных. Структурное изучение минерала как в первой, так и во второй работе не сопровождалось определением его химического состава, и нет никаких указаний на соотношение изученных образцов с материалом первого описания баратовита. В обоих случаях авторы предлагают формулу KLi₃Ca₇Ti₂[Si₆O₁₈]₂F₂. Согласно структурным

данным, минерал не содержит гидроксильных групп. Однако, В. Баур и Д. Касснер (Baur, Kassner, 1992) поставили под сомнение отсутствие гидроксильных групп в баратовите и предложили для него формулу KLi₃Ca₇Ti₂[Si₆O₁₈]₂(F,OH)₂. Этот вывод был сделан ими на основании сравнения структур баратовита и близкого к нему катаямалита KLi₃Ca₇Ti₂[Si₆O₁₈]₂(OH,F)₂. Нашими исследованиями установлено, что гидроксильные группы в баратовите, по крайней мере в некоторых образцах с Дарай-Пиёза, действительно присутствуют. Содержание H₂O⁺, определенное методом Пенфильда, в изученных образцах колеблется в диапазоне от 0.44 до 1.02 мас.%. Наличие гидроксильных группировок подтверждено также данными ИК-спектроскопии. Для гипотетического минерала промежуточного состава KLi₃Ca₇Ti₂[Si₆O₁₈]₂F_{1.00}(OH)_{1.00} количества воды и фтора составили бы 0.65 и 1.37 мас.% соответственно. Таким образом, образцы минерала с содержанием воды более 0.65 мас.% формально следовало бы отнести к катаямалиту. Возможно, что различие в содержании фтора, по данным химического анализа А.В. Быковой (Дусматов и др., 1975) и результатам структурного изучения баратовита (Сандомирский и др., 1976, Menchetti, Sabelli, 1979), связано с вариациями соотношения фтора и гидроксидов в разных образцах этого минерала из Дарай-Пиёза. Е. Регир с соавторами (Reguir *et al.*, 1999) выполнили более 30 анализов баратовита из кварц – альбит – эгириновой породы с Дарай-Пиёзского комплекса (в работе приведено лишь 2 анализа баратовита, данные о содержаниях фтора и воды в минерале не приведены) и указывают, что новые аналитические данные хорошо согласуются со структурной формулой, предложенной П.А. Сандомирским с соавторами (1976) и практически идентичны анализам катаямалита.

Катаямалит открыт и описан Н. Мураками с соавторами в 1983 г. в эгириновом сиените на острове Иваки, преф. Эхиме на юго-западе Японии (Murakami *et al.*, 1983), а его структура расшифрована Т. Като и Н. Мураками (Kato, Murakami, 1985). Катаямалит отличается от баратовита триклинной симметрией и преобладанием ОН над F (содержание воды определено термогравиметрическим методом). В. Баур и Д. Касснер показали, что степень триклинности катаямалита крайне мала, и отклонение углов α и γ от 90° находится в пределах экспериментальной ошибки (Baur, Kassner, 1992), на основании чего они делают вывод об идентич-

ности структур баратовита и катаямалита. Таким образом, в настоящее время катаямалит признается гидроксил-доминантным минералом, а баратовит считается по результатам структурного изучения фтор-доминантным, хотя это и находится в противоречии с результатами первого химического анализа баратовита (Дусматов и др., 1975).

Мы остановились на истории изучения соотношений дополнительных анионов — фтора и гидроксила в баратовите и катаямалите по той причине, что и в александровите наблюдаются широкие вариации содержания фтора. При пересчете некоторых анализов александровита (расчет на 12 атомов Si), коэффициент для фтора оказывается меньше единицы, то есть минерал такого состава является с формальной точки зрения уже не александровитом, а его гидроксильным аналогом. К сожалению, до настоящего времени нам не удалось найти достаточное количество такого материала для детального исследования.

В меньшей степени изучены вариации в составе катионов в минералах группы баратовита. В данной статье мы попытались частично восполнить этот пробел характеристической изоморфизма в октаэдрической позиции, возглавляемой в баратовите титаном, а в александровите — оловом.

Место находки

Щелочной массив Дарай-Пиёз расположен на стыке трех субширотных хребтов — Туркестанского, Алайского и Зеравшанского в верховьях р. Дарай-Пиёз, левого притока реки Оби-Кабуд (Ярхыч), принадлежащей бассейну реки Сурхоб. Первые данные о массиве получены А.В. Москвиным во время работ Таджикско-Памирской экспедиции 1932—1936 гг. (Москвин, 1937). В течение 1946—1947 гг. на Алайском и Туркестанском хребтах проводились специальные работы под руководством Ю.А. Арапова по редкометальной минерализации в щелочных породах. Детальное минералогическое изучение Дарай-Пиёзского массива, начатое в 1960 г. и связанное прежде всего с работами В.Д. Дусматова, привело к выявлению уникальной минерализации лития, бора, циркония и редких земель (Дусматов, 1968; 1971 и др.). Крайне сложный высокогорный рельеф и перекрытие значительной части коренных выходов ледниками и моренными отложениями сильно затрудняют геологическое изучение массива. Площадь выходов интрузивных пород на дневную поверхность составляет око-

ло 16 кв. км. На севере массив прорывает силурийские известково-сланцевые толщи, а на юге — терригенно-сланцевую толщу с прослоями известняков и эффузивов средне-верхнекаменноугольного возраста. Внешняя часть массива сложена субщелочными биотитовыми гранитами 2-й фазы туркестанского комплекса (300—290 млн лет) и их турмалинизованными и грейзенизированными разностями, далее к центру следует прерывистое кольцо биотитовых гранитов, переходящее местами в граносиениты и щелочные граниты, а центральная часть массива сложена кварцевыми и эгириновыми сиенитами. В северо-восточной части массива имеются выходы канкринитовых фойяитов (247 ± 6 млн лет). Все интрузивные породы пересекаются дайками мелкозернистых биотитовых гранитов с турмалином. Широко распространены фенитизированные разновидности пород, иногда с бафертиситом, калькибеборосилитом, торитом. В моренных отложениях ледника Дарай-Пиёз встречаются глыбы очень своеобразных эгирин-микроклин-кварц-альбитовых пород с мизеритом, баратовитом; этим породом посвящена отдельная публикация (Reguir *et al.*, 1999). В массиве локально развиты альбитизация (202 ± 8 млн лет), карбонатизация, графитизация. Жильные породы весьма разнообразны. Среди них можно выделить несколько типов: мусковит — микроклин — кварцевые пегматиты с шерлом (пользуются ограниченным распространением); эгирин-микроклин-кварцевые пегматиты с полиитонитом, лейкофенитом, стиллуэллитом-(Ce), пирохлором, согдианитом и др. (286 ± 7 млн лет); эгирин-микроклин-согдианитовые пегматиты со стиллуэллитом-(Ce), титанитом, данбуритом, редко — с кварцем; эгирин-микроклин-кварцевые пегматиты с нептунитом, эвдиалитом, титанитом; эгирин-микроклин-ридмерджеритовые пегматиты с пектолитом, эвдиалитом, лейкофенитом; сиенитовые пегматиты с туркестанитом; микроклин-кальцит-пектолитовые жилы с туркестанитом. Более подробное описание петрографии и минералогии массива содержится в ряде работ (Дусматов, 1968, 1971; Belakovskiy, 1991; Grew *et al.*, 1993 и др.). Особо отметим широкое распространение карбонатитов — существование кальцитовых пород с эгирином, часто с калиевым полевым шпатом, иногда с кварцем (Дусматов, 1971; Майоров, Гаврилин, 1971), так как именно с ними связан александровит. Эта, возможно, не однородная в генетическом плане группа пород, в настоящее время

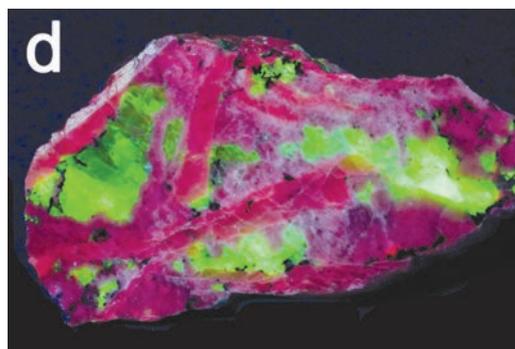
интенсивно изучается (Файзиев и др., 2008; Гафуров, 2008).

По геохимии и минералогии олова в породах Дарай-Пиёзского массива в настоящее время имеются только фрагментарные данные. На некоторую специализацию массива на этот элемент есть указания у В.В. Могааровского (1987). По данным этого автора, среднее содержание олова в породах массива 8–12 г/т. Отмечалось повышенное содержание олова в титаните — 0.13 мас.% SnO₂ (Дусматов, 1971), до 8.1 мас.% SnO₂ (Reguir *et al.*, 1999); в бацитите — 2.9 мас.% SnO₂ (Reguir *et al.*, 1999), в согдианите — до 1.4 мас.% SnO₂ (Паутов и др., 2000). Единственным известным собственно оловянным минералом на Дарай-Пиёзском массиве до находки александровита был пабстит (Паутов, 2003).

Александровит обнаружен в жиле микроклин-кальцитовой породы с пироксеном и кварцем, фрагмент которой встречен в крупной глыбе (рис. 1) из моренных отложений ледника Дарай-Пиёз. Жила имеет сложное зональное строение. Её слагают (от зальбандов к осевой части): 1 — лейкократовая

средне-зернистая пироксен-микроклиновая порода, 2 — неравномернозернистая кварц-пироксен-микроклиновая порода с крупными обособлениями (овоидами) кальцита, 3 — крупнозернистая микроклин-кальцитовая порода с эгирином, кварцем, альбитом. Вмещающей породой является интенсивно измененный глинистый сланец. Микроклин-кальцитовая порода (рис. 1 а–d) сложена беспорядочно расположенными крупными (10–15 x 8–15 x 0.5–1.5 см), уплощенными по (001) зернами белого кальцита, образующими каркас породы, в интерстициях которого находится агрегат из овальных светло-серых зональных кристаллов микроклина (1–2 см в поперечнике) и мелкозернистого агрегата альбита, кварца, кальцита, апатита. Пироксен образует столбчатые зерна до 1 см длиной, часто приуроченные к границе крупных пластин кальцита и полевошпатового агрегата. Отдельные промежутки между пластинами кальцита выполнены полупрозрачным бесцветным кварцем, имеющим неравномерную, но очень яркую, желто-зеленую люминесценцию в коротко-

Рис. 1. Вид породы и образцов, в которых был обнаружен александровит: а — общий вид глыбы микроклин-кальцитовой породы с пироксеном и кварцем размером 2 x 2 x 3.5 м (1 — зона сиенита, 2 — переходная зона от сиенита к кварц-микроклин-кальцитовой породе (видны крупные овальные обособления кальцита), 3 — зона кварц-микроклин-кальцитовой породы); б — фрагмент предыдущего снимка (зона 3) — кварц-микроклин-кальцитовой породе; с и d — образец породы из зоны 3 при освещении лампой накаливания (с) и коротковолновым ультрафиолетовым осветителем (d). Ярко-зеленым люминесцируют выделения кварца, розово-красным — пластинчатые зерна кальцита, розово-фиолетовым — микроклин. Чёрные зерна — эгирин-регенбергит. Размер 6 x 14 см.



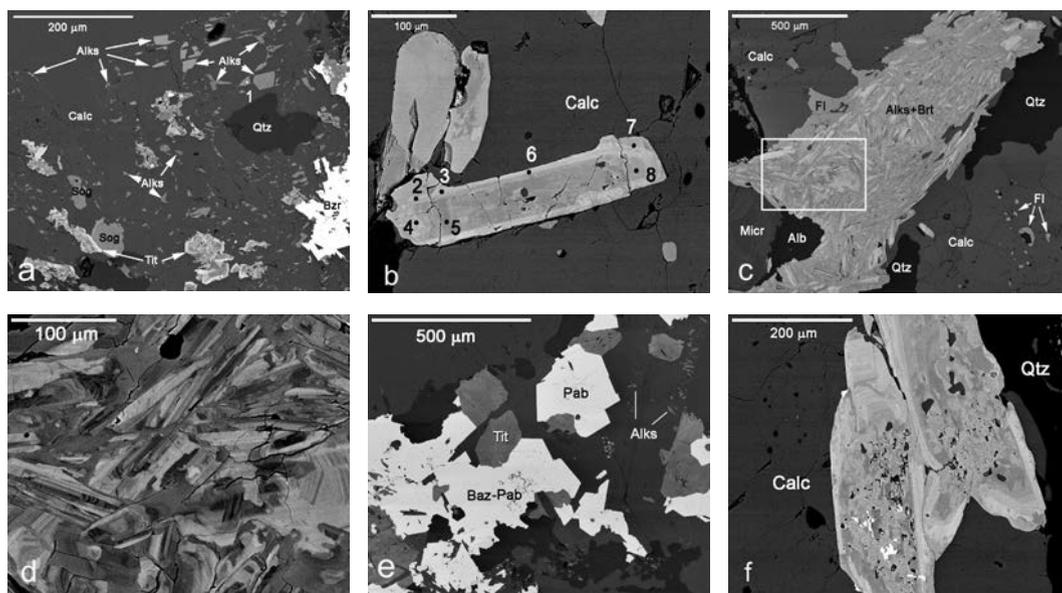


Рис. 2. Выделения александровита в кварц-эпидин-альбит-микроклин-кальцитовой породе. Изображения участков полированных шлифов в режиме отражённых электронов BSE. Точки с номерами — участки анализа минералов электронзондовым методом (номера соответствуют номерам анализов в табл. 3). Alks — александровит, Brt — баратовит или катаямалит, Tit — титанит, Bzt — бацитрит, Sog — согдианит, Calc — кальцит, Qtz — кварц, Micr — микроклин, Alb — альбит, Fl — флюорит. а — мелкие (5–60 мкм) относительно однородные зерна александровита без видимой зональности в кальците. Из такого агрегата извлекались зерна александровита для определения физических свойств, получения рентгеновской порошковой диаграммы и определения содержания лития. В нижней части фотографии видны сростки кристаллов Sn-содержащего титанита с ярко проявленной зональностью и секториальностью (более светлые участки — наиболее обогащены оловом) и зерна Sn-содержащего согдианита; б — зональный кристалл, центральная часть которого по составу отвечает баратовиту-катаямалиту, а периферическая более светлая зона — александровиту; в — агрегат секториально-зональных зерен минералов ряда александровит-баратовит в кварц-альбит-микроклин-кальцитовой породе; д — фрагмент предыдущего снимка (на фотографии 2с этот участок выделен белой рамкой), на котором видно сложное секториально-зональное строение зерен; е — сростки кристаллов минералов ряда бацитрит-пабстит (Baz-Pab) с оловосодержащим титанитом в кварц-кальцитовом агрегате; александровит представлен мелкими пластинчатыми зернами; ф — сросток относительно крупных сложно устроенных кристаллов, светлые участки и зоны которых по составу отвечают александровиту, а серые — баратовиту или катаямалиту. Белые вроски в кристаллах — оловосодержащий бацитрит. В верхнем правом углу снимка в кварце видны мелкие изометричные выделения флюорита. Фотографии получены на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4D.

волновом (254 нм) ультрафиолетовом свете. В отдельных участках такой породы (на границе с зоной 2) возрастает роль мелкозернистого кварц-альбитового агрегата и появляется мизерит. В одном из таких участков и был обнаружен александровит.

Преобладающими в количественном отношении минералами в ассоциации с александровитом являются кальцит, микроклин и кварц, второстепенными — альбит, пироксен, акцессорными — баратовит, флюорит, мизерит, титанит, бацитрит, пабстит, согдианит, сугилит, туркестанит, фторапатит. Кальцит характеризуется довольно высокими содержаниями бария и стронция, обогащенностью легкими РЗЭ (по данным ICP-MS: Ba — 1030, Sr — 4530, Mn — 1010, Ce — 165, Y — 38 ppm), что сближает его по составу с кальцитом карбонатитов. Микроклин представлен зональными кристаллами, обогащенными барием (в отдельных зонах содержание

BaO до 2.0 мас.%). Пироксен образует в породе плохо оформленные кристаллы. По составу он отвечает эпидин-геденбергиту. Весьма характерным минералом этой ассоциации является оловосодержащий титанит, образующий зонально-секториальные блочные и расщепленные кристаллы. Постоянным спутником александровита является бацитрит, формирующий непрерывный изоморфный ряд с пабститом (рис. 2е). Выборочные составы минералов из ассоциации с александровитом представлены в таблице 2.

Александровит встречается в виде выделений различного облика. Условно можно выделить два «крайних» типа: мелкие (до 50–70 мкм) пластинчатые, практически без видимой в отраженных электронах (BSE) зональности, отдельно расположенные зерна (рис. 2а) и более крупные (до 0.8 мм) кристаллы и сростки зерен с очень ярко проявленными зональностью и секториальностью, в ко-

Таблица 2. Химический состав минералов из ассоциации с александровитом по данным локального электронно-зондового анализа (мас.%)

Компонент	титанит		согдианит		бацирит		пабстит		пироксен
	1	2	3	4	5	6	7	8	
SiO ₂	26.68	28.11	29.45	65.77	39.37	37.10	38.69	50.16	
Al ₂ O ₃	0.15*	0.61	0.89	0.01	—	—	—	0.13	
TiO ₂	21.78	24.94	30.82	0.03	—	—	1.89	0.16	
Nb ₂ O ₅	1.09	1.04	1.05	—	—	—	—	—	
ZrO ₂	1.96	0.76	0.99	15.08	25.29	1.17	3.41	—	
SnO ₂	21.08	14.63	7.36	9.07	1.90	28.76	24.20	—	
FeO	0.92	2.02	2.35	—	0.19*	—	—	24.38	
MnO	0.04*	0.04*	0.08*	—	—	—	—	2.50	
MgO	0.06*	0.27*	0.00	—	—	—	—	1.65	
BaO	—	—	—	—	33.26	32.41	32.37	—	
CaO	24.42	25.70	26.86	0.06	—	—	—	13.81	
Na ₂ O	0.14*	0.00	0.21*	0.09	—	—	—	5.81	
K ₂ O	—	—	—	4.10	—	—	—	—	
Li ₂ O	—	—	—	4.09**	—	—	—	—	
Сумма	98.32	98.11	100.06	98.30	100.01	99.44	100.56	98.60	

Примечание: анализ выполнен на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4D с энергодисперсионным спектрометром Link ISIS, U = 20 кВ, I = 4 нА. * = <2 sigma. ** — вычисленное содержание. Прочерк означает, что содержание компонента ниже предела обнаружения EDS-анализа. Аналитик Л.А. Паутов.

Титанит (расчет на O = 5): 1) Ca_{0.98}Na_{0.01}(Ti_{0.61}Sn_{0.31}Zr_{0.04}Fe_{0.03}Nb_{0.02})_{1.01}Al_{0.01}Si_{1.00}O₅,

2) Ca_{1.00}(Ti_{0.68}Sn_{0.21}Zr_{0.01}Fe_{0.06}Nb_{0.02})_{0.99}Al_{0.05}Si_{1.02}O₅, 3) Ca_{0.99}Na_{0.01}(Ti_{0.75}Sn_{0.10}Zr_{0.02}Fe_{0.07}Nb_{0.02})_{1.00}Al_{0.04}Si_{1.01}O₅.

Согдианит (расчет на Si = 12): 4) K_{0.95}Na_{0.03}Ca_{0.01}Li_{3.00}(Zr_{1.34}Sn_{0.66})_{2.00}Si₁₂O_{30.02}.

Бацирит (расчет на O = 9): 5) Ba_{0.99}Zr_{0.94}Sn_{0.06}Fe_{0.01})_{1.01}Si_{3.00}O₉.

Пабстит (расчет на O = 9): 6) Ba_{1.03}(Sn_{0.93}Zr_{0.05})_{0.98}Si_{3.01}O₉, 7) Ba_{0.99}(Sn_{0.75}Zr_{0.13}Ti_{0.11})_{0.99}Si_{3.01}O₉.

Пироксен (эгрин-егенбергут) (расчет на O = 6): 8) Ca_{0.58}Na_{0.44}Mg_{0.10}Mn_{0.08}Fe_{0.33}²⁺Fe_{0.47}³⁺(Si_{1.98}Al_{0.01})_{1.99}O₆.

торых александровиту соответствуют отдельные участки и зоны (на изображении в BSE выделяются более светлой окраской), а остальное принадлежит баратовиту или катаямалиту (рис. 2b — d, f, рис. 3). Все данные о физических свойствах александровита получены на выделениях первого типа. Чтобы извлечь такие зерна, вторая половина образца, из которого был изготовлен полированный шлиф, и в котором наблюдались незональные выделения александровита, растворялась при комнатной температуре в 5% HNO₃. Нерастворимый остаток тщательно отмывался деионизированной водой, ополаскивался ацетоном и высушивался при комнатной температуре. Под бинокулярным микроскопом с контролем под коротковолновым ультрафиолетовым осветителем было выбрано несколько прозрачных, без видимых включений, зерен нового минерала и перенесено на электропроводную углеродную ленту. Химический состав отобранных зерен контролировался во многих точках каждого зерна на электронном микроскопе — микроанализаторе JXA-50A с помощью энергодисперсионного спектрометра. После такого контроля зерна использовались для измерения плотности, оптических свойств, получения рентге-

новской порошкограммы и для определения содержания лития.

Химический состав

Химический состав александровита наиболее полно изучен для незональных мелких выделений, так как выделить достаточное количество материала для определения лития из зональных кристаллов не удалось. Состав минерала изучался на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4D с энергодисперсионным спектрометром Link ISIS при ускоряющем напряжении 20 кВ, поглощенном токе на металлическом кобальте 4 нА и диаметре пучка 1 мм, а также на рентгеновском микроанализаторе Camebax-microbeam с четырьмя волновыми (WDS) спектрометрами при ускоряющем напряжении 20 кВ (10 кВ для F), токе зонда 20 нА и диаметре пучка 1 мм. В качестве эталонов использовались: микроклин USNM 143966 (K, Al), жадеит STD 048 (Na), волластонит STD 097 (Si, Ca), диопсид USNM 117733 (Mg), SrSO₄ (Sr), MnTiO₃ (Mn), CePO₄ USNM 168484 (Ce), SnO₂ (Sn), ZrO₂ (Zr), LiNbO₃ (Nb), ильменит USNM 96189 (Ti, Fe), MgF₂ (F). Расчет концентраций при EDS анализе проводился методом

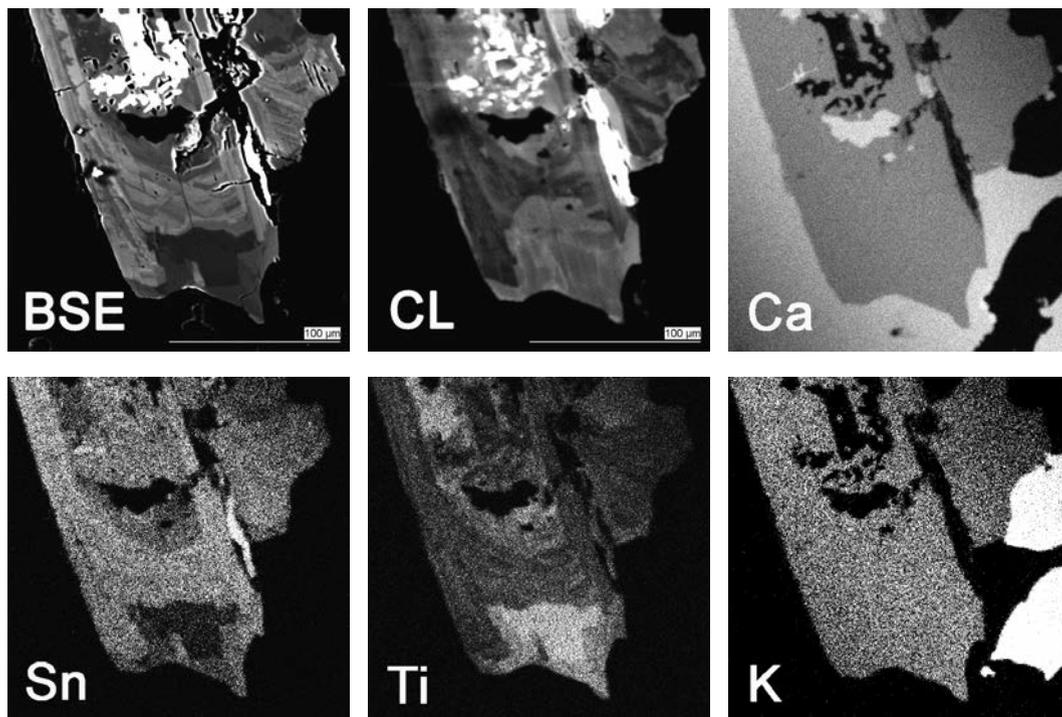


Рис. 3. Сдвойникованный зонально-секториальный кристалл, серые участки которого (на изображениях в отраженных электронах BSE) представлены александровитом, темно-серые — баратовитом. Кристалл находится в агрегате кальцита с микроклином и кварцем. Белые зерна — минералы ряда бацитит-лабстит. CL — изображение в режиме катодолуминесценции, Ca — изображение в характеристическом рентгеновском излучении CaK α , Sn — SnL α , Ti — TiK α , K — KK α . Фотографии получены на рентгеновском микроанализаторе Camebax-microbeam.

Phi-Rho-Z, при анализе на волновых спектрометрах использовалась ZAF-коррекция (для F — PAP-коррекция). Усредненный состав по анализу 17 зерен приведен в таблице 1.

Для определения лития в минерале два зерна размерами около 50 мкм были перенесены с углеродной ленты (после контроля состава EDS анализом), в стеклоуглеродный тигель и разложены $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$. После выпаривания раствора остаток был растворён в HNO_3 и разбавлен водой до концентрации 5% по азотной кислоте. Полученный раствор был проанализирован на ICP-OES Vista MPX фирмы VARIAN. Для вычисления содержания лития в александровите использован метод соотношений концентрации лития в растворе к концентрации других элементов, содержания которых в минерале определены микрозондовым анализом. В качестве таких элементов выбраны калий и кальций, содержания которых наименее изменчивы по результатам микрозондовых анализов и сканирования зерен минерала по профилям (рис. 4). Расчетные количества лития по Li/K и Li/Ca отношениям оказались весьма близкими (расхождение в содержании Li в мине-

рале при нормировании по K и Ca составило 0.03 мас.%).

Содержание воды в александровите не определялось из-за отсутствия достаточного для анализа количества нового минерала.

Эмпирическая формула александровита (расчет на 38 анионов): $(\text{K}_{0.93}\text{Na}_{0.10})_{\Sigma 1.03}\text{Li}_{3.02}(\text{Ca}_{6.82}\text{Sr}_{0.06}\text{Mn}_{0.04}\text{Mg}_{0.02})_{\Sigma 6.94}(\text{Sn}_{1.28}\text{Ti}_{0.54}\text{Zr}_{0.15}\text{Fe}_{0.05}\text{Nb}_{0.01})_{\Sigma 2.03}(\text{Si}_{11.98}\text{Al}_{0.02})_{\Sigma 12.00}\text{O}_{36}[\text{F}_{1.35}(\text{OH})_{0.65}]_{\Sigma 2.00}$.

Идеализированная формула александровита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{36}\text{F}_2$.

Изучение состава зональных кристаллов минерала показало широкие вариации в содержаниях как октаэдрических катионов (Ti, Sn, Zr и др.), так и дополнительных анионов (F, OH). Типичные изображения зональных кристаллов приведены на рисунке 2b, c, d, f и рисунке 3, а результаты микрозондовых анализов — в таблице 2. На рисунке 5 показана треугольная диаграмма Ti — Sn — Zr (ат.%), на которую нанесены результаты анализов, приведенные в настоящей статье, а также анализы минералов, близких к баратовиту, из кварц-альбит-пироксен-микроклин-кальцитовых пород Дарай-Пиёза — по нашим и литературным данным. Из неё видно, что по

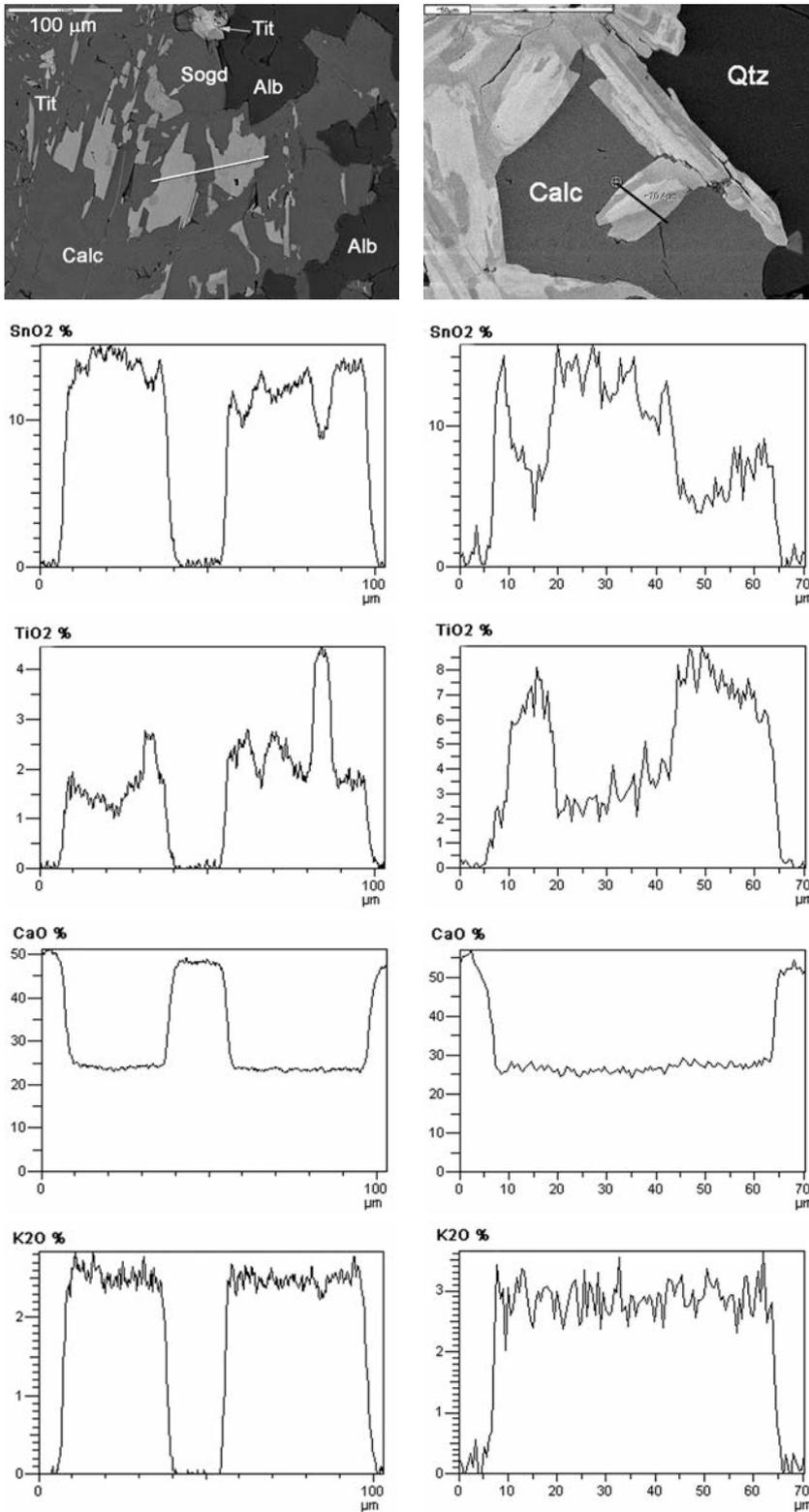


Рис. 4. Характер распределения элементов по профилям сканирования в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов в зерне александровита и зональном зерне, где более светлые участки в BSE изображениях отвечают по составу александровиту, а более темные – баратовиту. На вертикальных шкалах профилей приведены мас. %. Изображения и профили получены на CamScan 4D с энергодисперсионным спектрометром Link ISIS.

Таблица 3. Химический состав минералов группы баратовита, изображения которых приведены на рис. 2а и 2б, по данным локального электронно-зондового анализа (мас.%)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	48.35	48.08	48.24	48.56	49.63	48.86	48.46	48.66
Al_2O_3	0.01	0.20	0.19	0.19	0.07	0.13	0.16	0.11
TiO_2	3.43	2.93	2.90	2.26	6.01	3.97	3.52	4.23
Fe_2O_3	0.21	0.31	0.26	0.41	0.29	0.27	0.31	0.31
CaO	26.39	26.26	26.34	26.14	26.67	26.43	26.70	26.75
MnO	0.16	0.23	0.16	0.20	0.15	0.11	0.14	0.15
SnO_2	11.49	12.43	12.99	11.38	2.04	9.06	11.74	7.53
ZrO_2	1.10	1.01	0.71	3.06	6.08	2.66	0.84	3.95
Nb_2O_5	0.15	0.12	0.19	0.17	0.00	0.08	0.08	0.19
Na_2O	0.12	0.15	0.18	0.19	0.15	0.26	0.13	0.18
K_2O	2.87	2.95	2.96	2.91	3.03	2.89	3.00	2.92
Li_2O	3.06	3.00*	3.01*	3.04*	3.10*	3.05*	3.02*	3.03*
F	2.27	2.00	1.15	2.00	1.02	1.07	2.65	1.46
H_2O^{**}	0.13	0.26	0.66	0.26	0.76	0.71	0.00	0.53
	99.75	99.94	99.97	100.78	99.01	99.56	100.76	100.02
-O=F	0.95	0.84	0.48	0.84	0.43	0.45	1.11	0.61
Сумма	98.80	99.10	99.49	99.94	98.58	99.11	99.65	99.41
Количество атомов в формуле ($\text{Si} + \text{Al} = 12$)								
K	0.91	0.93	0.94	0.91	0.93	0.90	0.95	0.92
Na	0.06	0.07	0.09	0.09	0.07	0.13	0.06	0.09
A	0.97	1.00	1.03	1.00	1.00	1.03	1.01	1.01
Ca	7.02	6.99	6.99	6.89	6.90	6.93	7.06	7.05
Mn	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03
M1	7.05	7.04	7.02	6.93	6.93	6.95	7.09	7.08
Sn	1.14	1.23	1.28	1.12	0.20	0.88	1.15	0.74
Ti	0.64	0.55	0.54	0.42	1.09	0.73	0.65	0.78
Zr	0.13	0.12	0.09	0.37	0.72	0.32	0.10	0.47
Nb	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
Fe	0.04	0.06	0.05	0.08	0.05	0.05	0.06	0.06
M2	1.97	1.97	1.98	2.01	2.06	1.99	1.97	2.07
Li	3.05	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Si	12.00	11.94	11.94	11.94	11.98	11.96	11.95	11.97
Al	0.00	0.06	0.06	0.06	0.02	0.04	0.05	0.03
T	12							
F	1.78	1.57	0.90	1.56	0.77	0.83	2.06	1.14
OH	0.22	0.43	1.10	0.44	1.23	1.17	0.00	0.86

Примечание: ан. 1, 2, 4, 7 – александровит, 3, 6 – возможно, гидроксильный аналог александровита, 8 – баратовит, 5 – катаямалит, анализы выполнены на Camebax-microbeam, 15 kV, 30 nA (WDS). Li_2O^* – расчетные содержания. Аналитик Л.А. Паутов.

Рис. 5. Вариации содержаний октаэдрических катионов (в атомных количествах) в минералах группы баратовита. Синий ромб – баратовит (Дусматов и др., 1975), светло-зеленый треугольник – баратовит (Reguir et al., 1999), темно-зеленый квадрат – катаямалит (Murakami et al., 1983), красные кружки – минералы группы баратовита, по нашим данным.

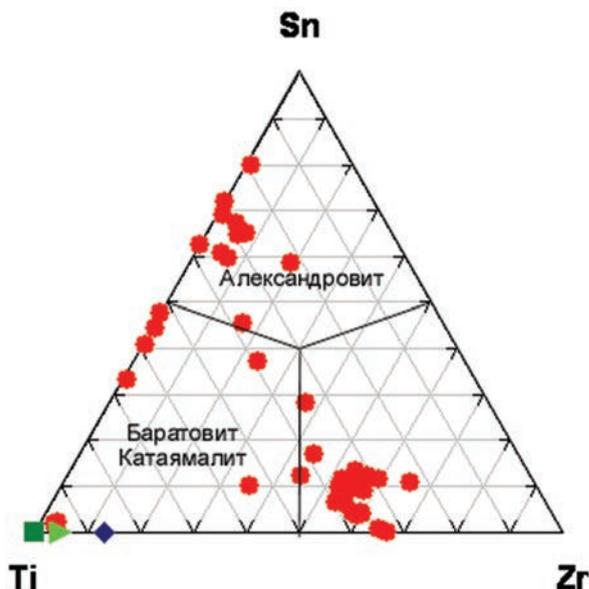


Таблица 4. Результаты расчета рентгенограммы порошка александровита

$d_{\text{эксп.}}$	$I_{\text{эксп.}}$	$d_{\text{выч.}}$	hkl	$d_{\text{эксп.}}$	$I_{\text{эксп.}}$	$d_{\text{выч.}}$	hkl
9.74	8	9.704	0 0 2	2.395	3	2.403	5 1 3
7.78	4	7.858	2 0 0	2.347	4	2.374	3 3 3
		7.715	2 0 -2	2.313	3	2.316	6 0 2
7.16	5	7.121	1 1 1	2.190	6	2.190	3 3 -7
5.76	6	5.755	1 1 2			2.188	7 1 0
4.86	21	4.874	3 1 -1	2.090	5	2.092	6 2 2
		4.852	0 0 4			2.089	7 1 1
		4.848	3 1 -2	2.066	3	2.065	8 0 -6
4.62	9	4.615	3 1 0			2.064	0 4 5
		4.611	1 1 -4	2.049	4	2.048	5 3 -7
4.25	15	4.250	4 0 -2	2.015	6	2.015	1 3 7
4.19	4	4.184	3 1 1	1.991	7	1.991	1 1 9
4.11	16	4.122	2 2 -2	1.973	4	1.974	6 2 3
		4.104	3 1 -4			1.972	0 2 9
3.90	13	3.895	2 2 1	1.950	25	1.952	4 2 6
3.864	9	3.862	1 1 4			1.948	8 2 -4
3.712	33	3.712	3 1 2	1.940	18	1.940	5 3 -8
3.635	6	3.633	3 1 -5	1.912	4	1.912	2 2 -10
3.567	8	3.565	2 0 4	1.895	4	1.896	7 3 -1
3.534	3	3.520	2 2 -4			1.895	3 3 -9
3.495	5	3.498	2 0 -6	1.847	16	1.847	7 3 0
3.444	14	3.439	0 2 4			1.847	4 4 -7
3.267	10	3.271	1 1 5	1.814	4	1.814	9 1 -2
3.234	100	3.235	0 0 6	1.802	4	1.803	0 2 10
3.206	34	3.208	2 2 3	1.785	4	1.785	3 3 7
		3.206	5 1 -2			1.785	6 4 0
		3.204	4 2 -2	1.772	5	1.772	2 2 9
3.102	12	3.103	1 3 1			1.772	9 1 -1
3.061	10	3.059	4 2 0	1.744	5	1.746	9 1 -8
3.039	28	3.037	0 2 5			1.746	3 5 -5
2.988	3	2.992	5 1 0			1.743	6 2 5
2.963	14	2.958	1 3 2	1.719	9	1.720	0 4 8
2.944	14	2.942	5 1 -5			1.719	2 0 -12
2.894	42	2.893	3 1 4			1.719	9 1 0
		2.893	4 2 1			1.718	7 3 2
2.826	6	2.827	1 1 6			1.718	6 4 -7
2.777	9	2.772	1 3 3	1.705	5	1.705	6 2 -11
2.752	9	2.750	5 1 -6			1.705	5 1 -12
		2.748	3 3 -3	1.695	5	1.696	1 5 -6
2.698	11	2.697	4 2 2			1.696	6 0 -12
2.664	3	2.661	3 3 1	1.671	2	1.671	4 4 -9
2.601	3	2.605	4 0 4	1.645	6	1.645	7 3 3
		2.605	5 1 2	1.634	3	1.634	10 0 -8
2.570	6	2.572	1 3 4			1.633	9 3 -4
		2.572	6 0 -6	1.616	8	1.616	9 3 -6
2.547	3	2.547	5 1 -7			1.616	6 4 3
		2.544	4 0 -8			1.615	7 3 -10
2.525	4	2.526	3 3 2			1.615	0 4 9
		2.526	3 1 -8	1.602	5	1.602	8 4 -4
2.450	5	2.450	6 2 -3			1.602	6 2 -12
2.425	42	2.426	0 0 8				
		2.424	6 2 -4				

Примечание: условия съемки: дифрактометр ДРОН-2, FeKa — излучение, скорость счетчика 0.5 град./мин. Внутренний стандарт — кварц. Аналитик Л.А. Паутов

преобладанию в октаэдрической позиции того или иного элемента можно выделить следующие минералы: при преобладании титана — баратовит и катаямалит, олова — александровит, циркония — их не названный циркониевый аналог. Как отмечалось выше, мы предлагаем объединить все перечисленные минералы в группу баратовита.

Рентгеновские данные

Рентгеновские порошковые данные для александровита получены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2, результаты расчета дифрактограммы приведены в табл. 4. В связи с тем, что авторы располагали весьма ограниченным количеством материала, препарат для съемки приготавливался нанесением порошка минерала на ориентированную монокристаллическую пластинку «бездифракционного» кремния, что позволило получить удовлетворительную дифрактограмму. При съемке рентгенограммы александровита в камере Дебая-Шерера наблюдается весьма сильная вуаль из-за интенсивной люминесценции минерала под рентгеновским пучком. Для борьбы с этим эффектом при съемке дебаграммы рентгеновская пленка экранировалась полоской черной бумаги. Александровит по набору отражений и их интенсивностям на порошковой рентгенограмме весьма близок к баратовиту. Сингония моноклиная, пространственная группа $C2/c$ (по аналогии с баратовитом), параметры элементарной ячейки: $a = 17.01(2)$, $b = 9.751(6)$, $c = 21.00(2)$ Å, $b = 112.45(8)^\circ$, $V = 3219(7)$ Å³, $Z = 4$.

Физические свойства

Александровит — минерал бесцветный прозрачный. Блеск стеклянный, на плоскости спайности — перламутровый. Черта белая. Спайность совершенная по (001). Излом ступенчатый. Плотность, измеренная уравновешиванием зерен минерала в растворе жидкости Клеричи, составляет 3.05(2) г/см³. Расчетная плотность 3.07(2) г/см³. Микротвердость минерала (среднее значение из 15 измерений на ПМТ-3 при нагрузке 50 г) VHN = 300 кг/мм² (при разбросе значений 276–319). Твердость по Моосу 4–4.5. В коротковолновом ультрафиолетовом свете (254 нм) минерал люминесцирует светло-голубым светом.

Александровит — минерал оптически двусный, отрицательный. Показатели преломления измерены на вращающейся игле

в иммерсионных жидкостях: $n_p = 1.629(2)$, $n_m = 1.635(4)$, $n_g = 1.638(2)$ (589 нм). $2V$ (выч.) = -70.3° . Дисперсия оптических осей сильная: $r > v$. В прозрачных шлифах (толщиной 0.03 мм) александровит отличается от баратовита более высокой интерференционной окраской (у александровита самая высокая интерференционная окраска белая, у баратовита — не поднимается выше серой), заметно более низкими показателями преломления, оптическим знаком. В зональных кристаллах легко наблюдается полоска Бекке между зонами баратовита и александровита. В положениях, приближающихся к погасанию, часто наблюдаются аномальные интерференционные окраски. Удлинение положительное. Угол погасания на разрезах с четкими трещинами спайности (параллельными удлинению зерен) изменчив, от практически прямого погасания до 22° .

К сожалению, мелкие размеры однородных кристаллов александровита, относительно низкое двупреломление и аномальный характер погасания многих зерен не позволили изучить оптическую ориентировку минерала на столике Федорова.

ИК-спектр нового минерала получен из микротаблетки с KBr на спектрометре Specord 75IR. По ИК-спектру александровит близок к баратовиту (рис. 6), основные полосы поглощения: 1083, 1024, 974, 950, 673, 607, 568, 520, 470, 440 см^{-1} .

Индекс сходимости свойств по Гладстону-Дейлу $1 - (K_p/K_c) = -0.005$ (superior) для D (расч.) = 3.07 и -0.005 (superior) для D (изм.) = 3.05 $\text{г}/\text{см}^3$.

Сравнительная характеристика александровита и баратовита приведена в таблице 5.

Эталонный образец с александровитом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва (регистрационный номер 3825/1).

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в организации полевых работ на морене ледника Дараи-Пиёз Рано Умаровну Собирову, участников полевых работ в 2004 и 2007 гг. за всестороннее содействие и помощь — Абдулхака Раджабовича Файзиева, Манучехра Асалбековича Шодибекова, Фотеха Абдувакиловича Файзиева, Фарходшоха Гоибовича Карчибекова и Зайнитдина Джарабовича Джабарова. Авторы очень признательны за обсуждения и ценные советы Игорю Викторовичу Пекову и Дмитрию Ильичу Белаковскому.

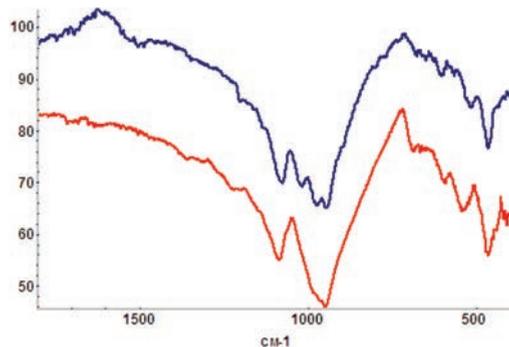


Рис. 6. ИК-спектры александровита (верхний спектр) и баратовита, обр. № 80873, Дараи-Пиёз из коллекции систематики Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (нижний спектр).

Таблица 5. Сравнительная характеристика александровита и баратовита

	Александровит	Баратовит*
Формула	$\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{36}\text{F}_2$	$\text{KLi}_3\text{Ca}_7(\text{Ti},\text{Zr})_2\text{Si}_{12}\text{O}_{36}\text{F}_2$
Сингония,	Моноклинная	Моноклинная
пр. группа	$C2/c$	$C2/c$
a, Å	17.01	16.94
b, Å	9.751	9.746
c, Å	21.00	20.907
β	112.45	112.50
Z	4	4
Интенсивные	4.86	4.8288
линии	3.712	3.6966
порошковой	3.234	3.2192
рентгено-	3.206	3.1913
граммы d/n	3.039	3.0510
2.894	2.8839	
2.425	2.4144	
1.950	1.9437	
Плотность	3.05(2)	2.92
(изм.), $\text{г}/\text{см}^3$		
Оптический	(-)	(+)
знак		
n_p	1.629	1.672
n_m	1.635	1.672
n_g	1.638	1.673

Примечание: * — рентгеновские данные взяты из карточки JCPDS 33-0811

Литература

- Белов Н.В., Белова Е.Н. Очерки по структурной минералогии. XXIX. 195. Баратовит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ — слюдоподобный минерал с Са-сердечником // Минер. сб. Львовского Гос. Ун-та. **1978**. № 32. Вып. 1. С. 3 — 15.
- Гафуров Ф.Г. К истории изучения карбонатитовых проявлений Таджикистана // Материалы научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов, посвященной «17-й годовщине независимости Республики Таджикистан», 1150-летию основоположника таджикско-персидской литературы Абуабдулло Рудаки и году таджикского языка. Ч. 1. Душанбе. **2008**. С. 152 — 153.
- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород // Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе. **1968**. С. 134 — 135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат диссертации. М. **1971**. 18 с.
- Дусматов В.Д., Семенов Е.И., Хомяков А.П., Быкова А.В., Джафаров Н.Х. Баратовит — новый минерал // ЗВМО. **1975**. Вып. 5. С. 580 — 582.
- Майоров И.П., Гаврилин Р.Д. Карбонатиты из верхнепалеозойской геосинклинали Туркестано-Алая // Сов. геол. **1971**. № 10. С. 110 — 116.
- Могаровский В.В. Геохимия редких элементов интрузивных пород Таджикистана. Душанбе: Дониш, **1987**. 295 с.
- Москвин А.В. География и геология Восточного Каратегина // Таджикско-Памирская экспедиция 1935 года. М.-Л. **1937**. С. 682 — 739.
- Паутов Л.А., Хворов П.В., Муфтахов В.А., Агаханов А.А. Согдианит и сугилит из поро-да Дара-и-Пиозского массива (Таджикистан) // ЗВМО. **2000**. Вып. 3. С. 66 — 79.
- Паутов Л.А. Пабстит с морены ледника Дара-и-Пиоз (Таджикистан) // Новые данные о минералах. **2003**. Вып. 38. С. 15 — 19.
- Сангомйрский П.А., Симонов М.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура баратовита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ // Доклады АН СССР. **1976**. Т. 231. С. 615 — 618.
- Файзиев А.Р., Гафуров Ф.Г., Карпенко В.Ю. Элементы-примеси в кальцитах карбонатитовых проявлений Дарай-Пиёзского массива (Центральный Таджикистан) // Материалы научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов, посвященной «17-й годовщине независимости Республики Таджикистан», 1150-летию основоположника таджикско-персидской литературы Абуабдулло Рудаки и году таджикского языка. Ч. 1. Душанбе. **2008**. С. 153 — 154.
- Baur W.H., Kassner D. Katayamalite and baratovite are structurallu identical // Eur.J.Mineral. **1992**. Vol. 4. P. 839 — 841.
- Belakovskiy D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans // Lapis. **1991**. 16. № 12. P. 42 — 48.
- Grew E.S., Belakovskiy D.I., Fleet M.E., Yates M.G., Mc.Gee J.J., Marquez N. Reedmergneriitte and associated minerals from peralkaline pegmatite, Dara-i-pioz, southern Tien-shan, Tajikistan // Eur. J.Mineral. **1993**. Vol. 5. P. 971 — 984.
- Kato T., Murakami N. The crystal structure of katayamalite // Miner. Journ. **1985**. Vol. 12. N 5. P. 206 — 217.
- Menchetti S., Sabelli C. The crystal structure of baratovite // Am. Mineral. **1979**. Vol. 64. P. 383 — 389.
- Murakami N., Kato T., Hirowatari F. Katayamalite, a new Ca — Li — Ti silicate mineral from Iwagi Islet, Southwest Japan // Mineral. Journ. **1983**. Vol. 11. N 6. P. 261 — 268.
- Reguir E.P., Chakhmouradian A.R., Evdokimov M.D. The mineralogy of a unique baratovite and miserite-bearing quartz-albite-aegirine rock from the Dara-i-Pioz complex, Northern Tajikistan // Canad. Mineral. **1999**. Vol. 37. P. 1369 — 1384.