

УДК 549.634

МИНЕРАЛЫ РЯДА БАРАТОВИТ-КАТАЯМАЛИТ ИЗ ПОРОД ХОДЖА-АЧКАНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА (КИРГИЗИЯ)

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

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

Минералы ряда баратовит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ – катаямалит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2$ встречаются в пироксен-полевошпатовых фенитах на северном контакте Ходжа-Ачканского щелочного массива в саяе Талды-Булак (сев. склон Алайского хребта, Баткенская обл., Киргизия). Баратовитсодержащие породы имеют пятнистую, полосчатую текстуру, разномзернистую структуру, изменчивый цветовой индекс, что обусловлено неравномерным распределением главных и второстепенных минералов: пироксенов ряда геденбергит – эгирины, микроклина, альбита, волластонита, мизерита (REE_2O_3 до 5.5 мас.%), кальцита (SrO до 1.1 мас.%), кварца. Акцессорные минералы – титанит, флюорит, андрадит, циркон, туркестанит, эканит, торит, таджикит-(Ce), минералы гр. бритолита, стилуэллит-(Ce), датолит, бацитрит, гиттинсит, фторапатит, барит, галенит, молибденит, пирит, пирротин. Баратовит образует пластинчатые выделения до 3 см, розоватого цвета. В коротковолновом УФ-излучении голубоватого-белый. Микротвердость $\text{VHN} = 670$ (5–6 по Моосу). $D_{\text{измер.}} = 2.92(2)$, $D_{\text{выч.}} = 2.91$ г/см³. Двухосный, оптически положительный, $2V$ от 70° до 90°, дисперсия сильная, $r > v$; $n_g = 1.674(2)$, $n_m = 1.671(3)$, $n_p = 1.666(3)$. ИК-спектр (интенсивные полосы, см⁻¹): 1082, 972, 695, 598, 570, 541, 521, 478, 448, 412. Приведены рентгеновские порошкограммы, полученные фотометодом (камера Гинье), так и дифрактометрически. Параметры ячейки (фотометод): $a = 16.93(1)$, $b = 9.742(5)$, $c = 20.92(2)$ Å, $\beta = 112.51(5)^\circ$, $V = 3187(5)$ Å³. Химический состав баратовита / катаямалита (мас.%): SiO_2 51.29/51.01; Al_2O_3 0.20/0.06; TiO_2 8.87/7.97; ZrO_2 2.22/3.71; Nb_2O_5 0.00/0.23; SnO_2 1.01/1.87; Fe_2O_3 0.60/0.44; CaO 26.72/26.72; Li_2O^* 3.20/3.17; K_2O 3.17/3.07; Na_2O 0.15/0.23; F 1.75/0.94; H_2O^* 0.46/0.84; $-\text{O}=\text{F}_2$ $-0.73/-0.39$; сумма 98.91/98.87 (* – расчётные). Большая часть анализов принадлежит середине ряда между баратовитом и катаямалитом (F 0.70 – 1.30 а.ф., электронно-зондовый анализ). Описываемые породы близки к баратовит-мизерит-содержащим кварц-альбит-эгириновым породам Дарай-Пиёза (Таджикистан), в них имеется похожий набор акцессорных минералов (таджикит-(Ce), туркестанит, стилуэллит-(Ce), бацитрит), но есть и отличия: на Ходжа-Ачкане присутствуют андрадит, эканит, минералы гр. бритолита, пироксен является чуть менее щелочным, в крупных зернах микроклина присутствуют альбитовые пертиты. Находка баратовита является второй, а катаямалита – третьей находкой в мире.

В статье 8 таблиц, 11 рисунков, список литературы из 76 названий.

Ключевые слова: баратовит, катаямалит, Ходжа-Ачкан, Дарай-Пиёз, матчайский интрузивный комплекс.

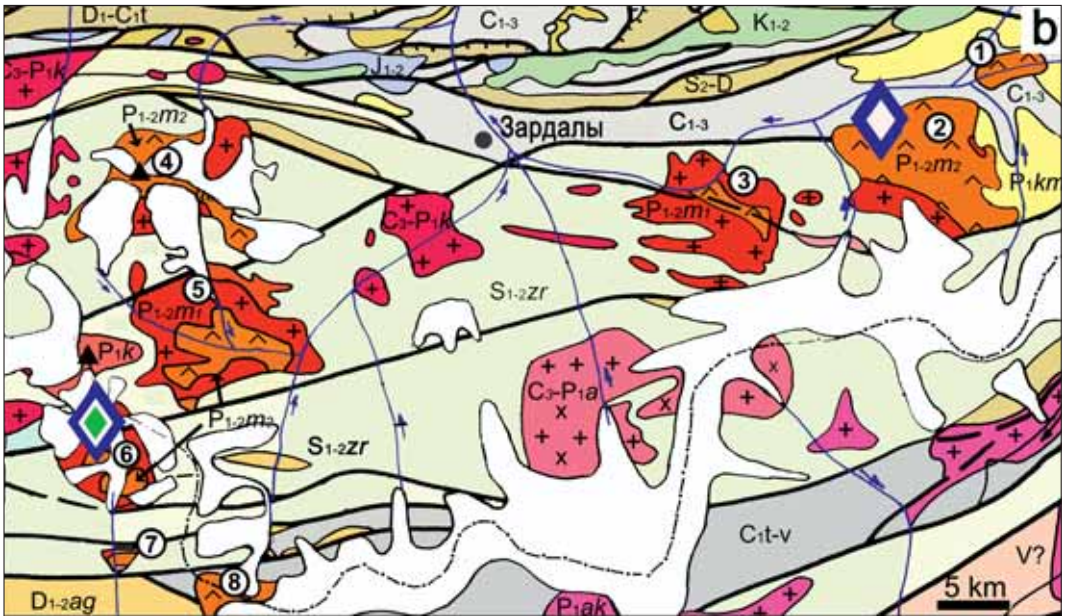
При полевых работах на Ходжа-Ачканском массиве (Киргизия) в 1993 г. нами были обнаружены минералы ряда баратовит – катаямалит. В 2011 г. на том же массиве был собран дополнительный материал, позволивший подробнее охарактеризовать минералы этого ряда, а также содержащие их породы.

Баратовит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ и его гидроксильный аналог – катаямалит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2$ – являются очень редкими слоистыми титаносиликатами с шестичленными изолированными кольцами из кремнекислородных тетраэдров, известными лишь с мест первых описаний. Баратовит был открыт В.Д. Дусматовым с коллегами на щелочном массиве Дарай-Пиёз (Таджикистан) в виде перламутрово-белых пластинчатых выделений до $5 \times 2 \times 0.5$ см в кварц-альбит-эгириновых пегматоидных прожилках, связанных с вмещающими кварц-эгириновыми сиенитами, и в альби-

титах этих сиенитов (Дусматов и др., 1975). Позднее минерал был встречен в этом же массиве и в иных ассоциациях: в агреллит-волластонит-полевошпатовых породах, в пироксен-кварц-полевошпатовых породах с полилитионитом (в них встречены наиболее крупные выделения баратовита, размером до 7 см), в силекситах с лейкоксенитом, согдианитом, пектолитом, полилитионитом и ридмерджеритом. Катаямалит был описан Н. Мураками с соавторами как новый минерал с острова Иваги, преф. Эхиме на юго-западе Японии, из эгиринового сиенита, в котором он составляет до 0.3–0.5 об.% породы и представлен мелкими таблитчатыми зёрнами белого цвета, размерами до 0.5 мм в ассоциации с альбитом, пектолитом, волластонитом и сугилитом (Murakami *et al.*, 1983). Сравнение ассоциаций, в которых встречаются минералы группы баратовита на Дарай-Пиёзе, Иваги и Ходжа-Ачкане, приведено в таблице 1.



Рис. 1. Схема географического местоположения (а) и геологическая карта (b) района распространения щелочных массивов Туркестано-Алая (составлена с использованием Геологической карты Таджикской ССР и прилегающих территорий (1984), Геологической карты Киргизской ССР (1980), полевых материалов А.В. Березанского и В.М. Ненахова. Прямоугольником на рисунке (а) выделена площадь геологической карты. Цифрами в кружках обозначены массивы: 1 – Джилусуйский; 2 – Ходжа-Ачканский; 3 – Кульпский; 4 – Утренский; 5 – Матчинский; 6 – Дараи-Пиёзский (Верхний); 7 – Среднедараишпёзский; 8 – Тутекский. Наименования интрузивных комплексов в легенде к карте приведены по В.М. Ненахову с соавторами (1987).



Условные обозначения к геологической карте:

Осадочные образования

K_{1-2}	Нижний – верхний мел. Красноцветные песчаники, конгломераты, глины, мергели, известняки, гипсы
J_{1-2}	Нижняя – средняя юра. Пестроцветные песчаники, конгломераты, угли, глины
P_{1km}	Нижняя пермь. Кумбельская свита. Красноцветные песчаники, конгломераты, сланцы
C_{1-3}	Нижний – верхний карбон. Конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты
C_{1t-v}	Нижний карбон. Турнейский – визейский ярусы. Конгломераты, песчаники, сланцы, известняки
D_{1-C1t}	Нижний девон – нижний карбон (турнейский ярус). Известняки и доломиты
D_{1-ag}	Нижний – средний девон. Агбайльская толща. Туфы, алевролиты, песчаники, известняки
S_{2-D}	Верхний силур – средний девон. Сланцы, песчаники, известняки, кремни, порфириды и туфы
S_{1-zr}	Нижний – средний силур, зеравшанская серия. Песчаники, кремнисто-углистые сланцы, гнейсы
$V?$	Венг? Зеленосланцевые метаморфиты

Интрузивные образования:

\wedge, P_{1-2m_2}	Матчайский комплекс. 2 фаза. Щелочные, нефелиновые сиениты, сиениты, их гайки
$+, P_{1-2m_1}$	Матчайский комплекс. 1 фаза. Турмалин-содержащие граниты, кварцевые сиениты
\times, P_{1k}	Каракызский комплекс. Гранодиориты, кварцевые диориты
$+, P_{1ak}$	Ачкалминский комплекс. Граниты
$+, C_3-P_{1k}$	Каравшинский комплекс. Лейкограниты, адамеллиты и их пегматиты
\times, C_3-P_{1a}	Арчабашинский комплекс. Кварцевые монцодиориты, гранодиориты
	Ледники
	Важнейшие вершины
	Места находок минералов группы баратовита: 1 – Дараи-Пиюз; 2 – Ходжа-Ачкан

Методы исследований

Минералогический состав баратовитсодержащих пород изучался в штупах, шлифовках, полированных препаратах, прозрачно-полированных шлифах и в протолочках. Показатели преломления фаз измерялись теодолитно-иммерсионным методом на приборе ППМ-1 конструкции В.Г. Фекличева. Для получения рентгеновских порошкограмм применялись как фотометоды Дебая-Шеррера и Гинье (камеры РКД-57.3, DKS-60 и Huber 621), так и дифрактометрические (ДРОН-2).

Химический состав баратовита и минералов из баратовитсодержащих пород изучался методами электронно-зондового анализа с применением волново-дисперсионных (WDS) и энергодисперсионных (EDS) спектрометров, а также методами «мокрой химии». Анализы методом энергодисперсионной спектрометрии (EDS) были выполнены на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4D (система анализа ISIS Oxford, энергодисперсионный (Si-Li) детектор, $U = 20$ кВ, $I = 4$ нА на металлическом Co), на электронном микроанализаторе JCXA-733 Superprobe JEOL (система анализа INCA Energy Oxford, энергодисперсионный (Si-Li) детектор с тонким окном ATW-2, $U = 20$ кВ, $I = 2$ нА). Анализы методом волново-дисперсионной спектрометрии (WDS) были выполнены на электронном микроанализаторе JCXA-733 Superprobe JEOL с пятью спектрометрами и Camebax-microbeam Cameca с четырьмя спектрометрами. Измерения на Camebax-microbeam проводились при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 20 нА. Время счета на пике для основных элементов — 10 с, фона — по 5 с, время счета на пике для RbLa, SrLa, FKa — 40 с, точек фона — 20 с. Расчет концентраций выполнялся с помощью программы PAP-

коррекции из матобеспечения прибора. Анализ на волновых спектрометрах JCXA-733 Superprobe JEOL проводился при ускоряющем напряжении 15 кВ и 20 кВ и токе зонда 20 нА. Анализ на фтор (кристалл-анализатор — TAP) и бор (кристалл-анализатор — STE) проводился при ускоряющем напряжении 10 кВ и токе зонда 30 нА при расфокусированном до 20 мкм пучке. Время счета на пиках основных элементов — 20 с, на точках фона — 10 с, время счета на пике для RbLa, SrLa, SnLa, HfMa — 50 с, фона — по 20 с, время счета на пиках FKa, VKa — 200 с, фона — 100 с. В качестве образцов сравнения использовались: SiKa, CaKa — Cr-авгит NMNH 164905; TiKa, MnKa — MnTiO₃; ZrLa — циркон USNM 117288-3; SnLa — SnO₂; FeKa — Fe₂O₃; ZnKa — ZnO; MgKa — пироп USNM 143968; SrLa — SrSO₄; CsLa — Cs₂Nb₄O₁₁; RbLa — Rb₂Nb₄O₁₁; KKa, AlKa — микроклин STD 107; NaKa — жадеит; FKa — фторфлогопит; VKa — данбурит и стиллуэлит-(Ce). Расчет концентраций проводился с использованием ZAF-коррекции, для F и B — полной PAP-коррекции.

Содержания Li, Rb были измерены методом пламенной фотометрии (спектрометр FMD-4 фирмы Opton) и методом оптико-эмиссионной спектрометрии с индукционно-связанной плазмой (ICP-OES MPX фирмы Varian). Для пламенно-фотометрического определения редких щелочей использовалось кислотное разложение навесок проб (HF + H₂SO₄) с последующим переводом в азотнокислый раствор. В качестве ионизационного буфера использовался Cs с конечной концентрацией в растворах 1000 ppm.

Содержание F определено потенциометрическим методом с ионселективным электродом. Для вскрытия навесок проб использовалось сплавление с NaOH в никелевых тиглях. Содержание воды было определено из



Рис. 2. Ходжа-Ачканский массив: а — общий вид массива со стороны низовьев р. Гаумыш, на среднем плане выступает юго-восточная часть Джилисуйского массива; б — сай Талды-Булак, пререзающий контакт сиенитов со сланцами в северной части Ходжа-Ачкана, в выносах которого встречены минералы группы баратовита. Фото Л.А. Паутова.

микронавесок методом элементного анализа с хроматографическим окончанием (СНН-анализатор Carlo-Erba 1106, газ-носитель — гелий для хроматографии марки 6.0, температура реактора — 1030°C, наполнитель хроматографической колонки — Porapak QS).

Для изучения акцессорных минералов из протолок породы выделялась фракция — 100 мкм, которая разделялась в бромформе ($D = 2.89 \text{ г/см}^3$), подвергалась магнитной сепарации. Для диагностики минералов использовались качественный анализ методом EDS и порошковые рентгеновские методы.

Условия нахождения

Ходжа-Ачканский массив находится в приводораздельной части северного склона Алайского хребта на отметках от 2900 до 5100 м (Баткенская область, Киргизия). Массив обнажается на левом борту р. Ходжа-Ачкан в верхнем течении (рис. 1, 2) между двумя левыми притоками Лойсу и Тильбе. К подножию массива можно добраться вычными тропами из поселка Айдаркен (Хайдаркан) через перевал Гаумыш и далее вниз по долине реки Гаумыш до её впадения в р. Ходжа-Ачкан, либо из кишлака Зардалы (Коргон), расположенном на слиянии рек Ходжа-Ачкан и Ак-Терек — вверх по реке Ходжа-Ачкан. Из-за сильно расчлененного рельефа сам массив весьма труднодоступен (рис. 2).

Первые сведения о массиве получены В.Н. Вебером по итогам полевых работ 1910 г. (Вебер, 1934). Детальное описание Ходжа-Ачканского массива приведено А.В. Москвиным и А.А. Сауковым по результатам работ 1928 г. в составе Памирской экспедиции АН СССР (Москвин, Сауков, 1931; Москвин, 1932); в дальнейшем изучением массива занимались многие исследователи (Дорфман, Тимофеев, 1939; Омеляненко, 1960; Перчук, Омеляненко, Шинкарев, 1961; Перчук, 1964; Шинкарев, 1966; Ильинский, 1970; Ифантопуло, 1975; и др.), а также производственные партии Южно-Киргизской ГРЭ.

Ходжа-Ачканский массив расположен в области сопряжения Зеравшанского антиклинария с Сурметашской складчатой зоной, которые разделены Туркестанским региональным разломом глубинного заложения (Ильинский, 1970; Ненахов и др., 1987). В плане массив близок к изометричному, имеет крутопадающие контакты. На севере массив прорывает известняково-сланцевую толщу верхнего карбона, на востоке — слабометаморфизованные верхнекарбонные-нижнепермские конгломераты с линзами песчаников и известняков;

на западе — песчано-сланцевую толщу силура, метаморфизованную в амфиболитовой фации; на юге массив ограничен тектоническим контактом с силурийскими амфиболитами (Ильинский, 1970).

Ходжа-Ачканский массив сложен породами трех фаз внедрения. Породы первой фазы распространены преимущественно в юго-западной части массива и представлены лейкократовыми гранитами (часто турмалинизированными) и кварцевыми сиенитами. Щелочные сиениты и нефелиновые сиениты второй интрузивной фазы имеют наибольшее площадное распространение (до 75% площади). Преобладают биотитовые разности, которые к контактам с вмещающими породами переходят в эгирин-авгитовые нефелиновые сиениты. Породы третьей интрузивной фазы представлены лейкократовыми биотитовыми гранитами, слагающими небольшие дайки во вмещающих породах и в сиенитах центральной части массива (Стратифицированные..., 1982; Ненахов и др., 1987). По данным В.М. Ненахова с соавторами (1987), Ходжа-Ачканский массив относится к матчайскому интрузивному ранне-позднепермскому комплексу, в состав которого входит и Дарай-Пиёзский массив — место первого описания баратовита (Дусматов и др., 1975), а также (из находящихся в рамках приведенной на рисунке 1 карты) Джилисуйский, Кульпский, Матчасуйский, Герезсуйский, Утренский, Тутекский щелочные массивы. Все перечисленные массивы характеризуются трехфазным строением со следующей последовательностью формирования пород: лейкократовые граниты, часто турмалиновые, сиениты и кварцевые сиениты — нефелиновые и щелочные сиениты — кварцсодержащие сиениты и граниты. Для массивов матчайского интрузивного комплекса характерны повышенные, по сравнению с кларковыми, содержания Li, Ta, Nb, Zr, Be, Sn, Mo, Th и U (Ненахов и др., 1987; Дусматов, 1971). Становление массивов сопровождалось развитием ореолов изменённых пород, инфильтрационно-метасоматическая зональность которых, на примере Ходжа-Ачканского и Джилисуйского массивов, изучалась Л.Л. Перчуком, Б.И. Омеляненко и другими исследователями (Омеляненко, 1958; 1960; 1961; Перчук и др., 1961; Перчук, 1964, и др.). Процессы калий-натрового метасоматоза привели к появлению разнообразных по минеральному составу и текстурно-структурным особенностям фенитизированных пород (пироксен-полевошпатовых, альбит-микроклиновых, воластонит-полевошпатовых).

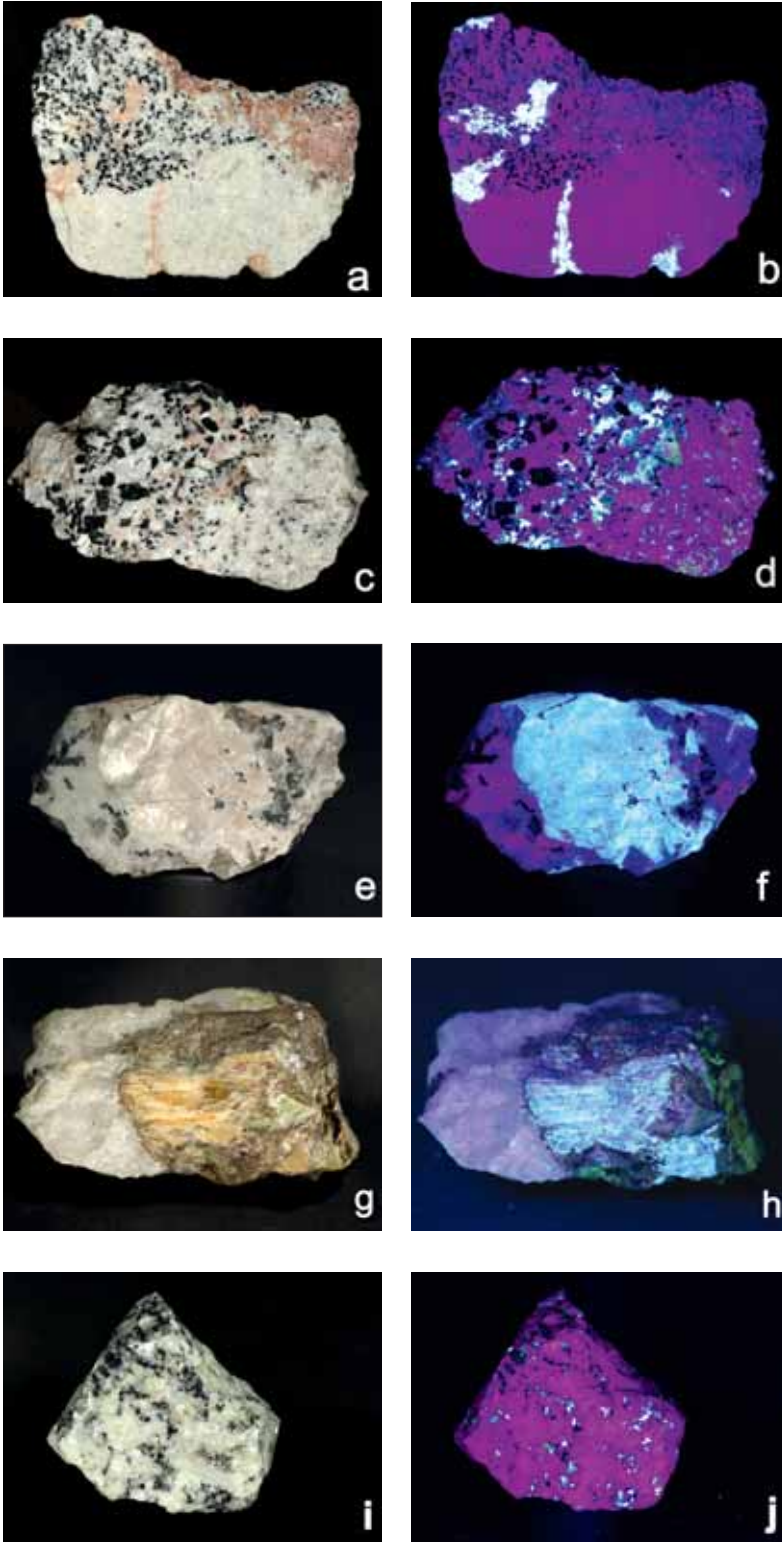


Рис. 3. Породы, содержащие минералы ряда баратовит – катаямалит: а–d – Ходжа-Ачкан (Киргизия); е–h – Дараи-Пиёз (Таджикистан) (е, f – баратовит из мизерит-пироксен-полевошпатовых пород; g, h – баратовит в силексите с лейкосфенитом (зеленый), пектолитовым агрегатом (бурый)). Образец из фондов ММФ № 80873; i, j – Иваги (Япония). Образец предоставил Котаро Ватанабе. Слева – фото при обычном освещении (розоватый с перламутровым отливом – баратовит, красный – мизерит); справа – в коротковолновом ультрафиолетовом свете (голубовато-белое свечение у минералов гр. баратовита). Ширина поля зрения – 11 см.

Таблица 1. Список минералов, ассоциирующих с баратовитом и катаямалитом

Список минералов	Формула	Ходжа-Ачкан, Киргизия	Дарай-Пиёз, Таджикистан					Киргизия	Иваги, Япония
			Минеральные ассоциации						
		1	2	3	4	5	6	7	
Циркон	ZrSiO ₄	+						+	
Торит	ThSiO ₄	+							
Титанит	CaTiSiO ₅	+	+	+	+	+	+	+	
Андрадит	Ca ₃ Fe ₂ (SiO ₄) ₃	+						+	
Эпидот	Ca ₂ Al ₂ Fe ³⁺ (SiO ₄) ₃ (OH)							+	
Алланит-(Ce)	Ce ₂ Al ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)							+	
Эгирин-реденбергит	NaFe ³⁺ Si ₂ O ₆ - CaFeSi ₂ O ₆	+++	+++	++	+++	++	++	++	
Агреллит	NaCa ₂ Si ₄ O ₁₀ F			+++					
Волластонит	CaSiO ₃	+++*	+	+++					
Мизерит	(K,□) _{1.5} (Ca, REE) ₆ [Si ₈ O ₂₂](F,OH) ₂ • nH ₂ O	+++*	++	++			++		
Пектолит	NaCa ₂ Si ₃ O ₈ (OH)	+?		++	++	++		++	
Туркестанит	Th(Ca,Na) ₂ (K ₁₋₂ ,□) ₂ Si ₈ O ₂₀ • nH ₂ O	+	+	+	+	+			
Эканит	ThCa ₂ Si ₈ O ₂₀	+							
Датолит	CaBSiO ₄ (OH)	+	+		+				
Фторкальциобритолит	(Ca, REE) ₃ (SiO ₄ ,PO ₄) ₃ F	+			+				
Фторбритолит-(Ce)	(Ce, Ca) ₃ (SiO ₄ ,PO ₄) ₃ F	+							
Таджикит	Ca ₃ (REE,Y) ₂ TiB ₄ Si ₄ O ₁₆ O ₂₂ (OH) ₂	+	+		+	+			
Эвдиалит (гр.)					+	++			
Стиллуэлит-(Ce)	CeBSiO ₅	+	+	+	+	++	+		
Баратовит	KCa ₇ Ti ₂ Li ₃ Si ₁₂ O ₃₆ (F,OH) ₂	+	+	+	+	+	+		
Катаямалит	KCa ₇ LiTi ₂ (Si ₆ O ₁₈) ₂ (OH,F) ₂	+	+?	+?	+?		+	+	
Александровит	KCa ₇ Sn ₂ Li ₃ Si ₁₂ O ₃₆ F ₂						+		
Файзиевит	K ₂ Na(Ca ₆ Na)Ti ₄ Li ₆ Si ₂₄ O ₆₆ F ₂					+			
Бацитрит	BaZrSi ₃ O ₉	+	+				+		
Гиттинсит	CaZrSi ₂ O ₇	+							
Цекцерит	NaLiZrSi ₆ O ₁₅				+	+			
Сугилит	KLi ₃ Na ₂ Fe ³⁺ ₂ Si ₁₂ O ₃₀				+	+		++	
Согдаинит	KLi ₃ Zr ₂ Si ₁₂ O ₃₀				++	++	+		
Зеравшанит	Cs ₄ Na ₂ Zr ₃ (Si ₁₆ O ₄₃) • (H ₂ O) ₂					+			
Лейкосфенит	BaNa ₄ Ti ₂ B ₂ Si ₃₀				++	++			
Аннит	KFe ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	+							
Полиитионит	KLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ F ₂				++	++			
Соколоваит	CsLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ F ₂					+			
Орловит	KLi ₂ TiSi ₄ O ₁₀ (OF)					+			
Нептунит	KNa ₂ Li(Fe,Mn) ₂ Ti ₂ Si ₈ O ₂₄					+			
Пековит	SrB ₂ Si ₂ O ₈					+			
Фторапофиллит	KCa ₄ Si ₈ O ₂₀ (F,OH) • 8H ₂ O					+			
Капицаит-(Y)	(Ba,K) ₄ (Y,Ca) ₂ [Si ₈ (B,Si) ₄ O ₂₈]F					+			
Микроклин	KAlSi ₃ O ₈	+++	+++	+++	+++	++	++	++	
Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	+++	++	++	++	+	+	+++	
Ридмерджнерит	NaBSi ₃ O ₈				++	++			
Кварц	SiO ₂	++	+	+	+++	+++	+	++	
Пиррохлор	(Ca,Na) ₂ Nb ₂ O ₆ (OH)		+		+	+			
Кальцит	CaCO ₃	+++*	+	+	++	+	+++		
Фторапатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	+	+		+	+	+	+	
Барит	BaSO ₄	+							
Флюорит	CaF ₂	+	+	+	++	+	+		
Галенит	PbS	+				+			
Молибденит	MoS ₂	+							
Пирит	FeS ₂	+							
Пирротин	Fe _{1-x} S	+							
Висмут	Bi					+			
Сфалерит	ZnS					+			
Лёллинит	FeAs ₂					+			

Примечание. +++ – породообразующие минералы, ++ – второстепенные, +- акцессорные, +++* – минерал в разных участках пород может быть как главным, так и второстепенным; ++* – минерал в разных участках пород может быть как второстепенным, так и акцессорным; ? – требуется дополнительное подтверждение диагностики минерала. Таблица составлена по нашим данным с использованием литературных источников (Рыжев, Молева, 1960; Ульянов, Ильинский, 1964; Дусматов и др., 1975; Murakami, 1976; Murakami et al., 1983; Семенов, Дусматов, 1989; Belakowski, 1991; Requirit et al., 1999; Агаханов и др., 2011).

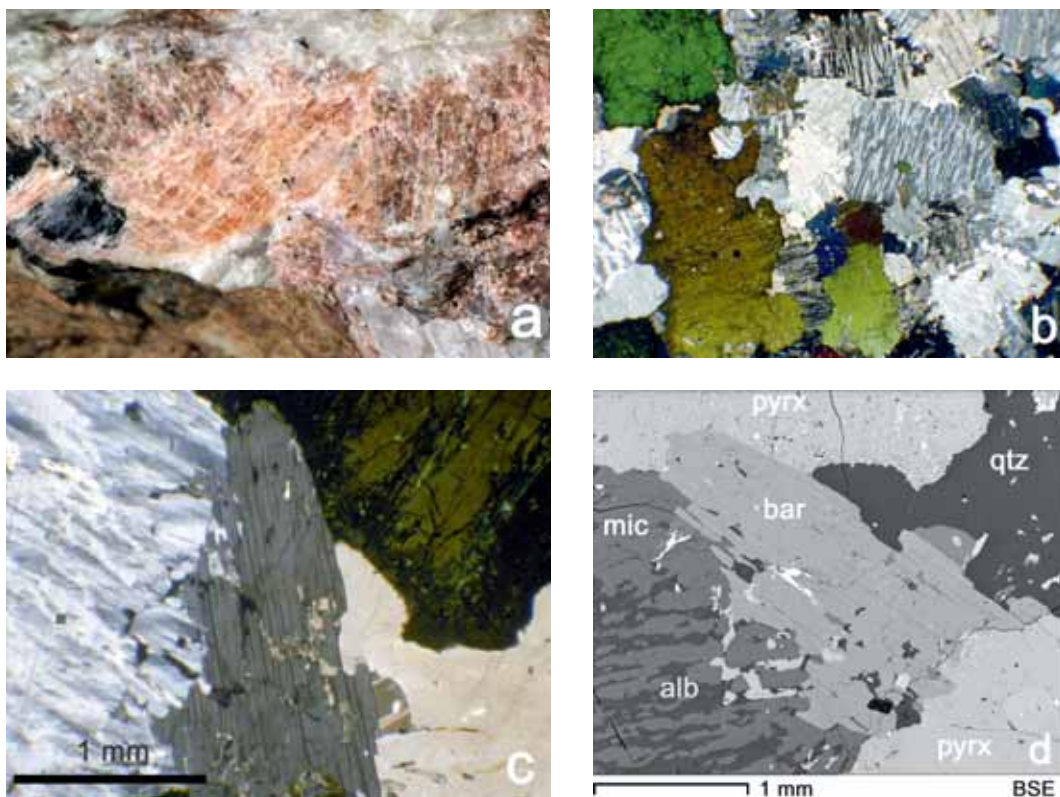


Рис. 4. Баровит с Ходжа-Ачканского массива: а – крупное пластинчатое выделение баровита (оранжево-розовый) с мизеритом (более темный, коричнево-красный) в микроклине (светло-серый) с клинопироксеном (черный), сай Талды-Булак, Ходжа-Ачкан; ширина поля зрения 2.5 см; б – вид полевошпат-пироксеновой породы в проходящем свете при скрещенных николях. Видны извилистые границы сростания клинопироксена (зеленый) с микроклином-пертитом. Зерна с индигово-синей интерференционной окраской – баровит; ширина поля зрения – 11 мм; с – баровит в полевошпат-пироксеновой породе – изображение в проходящем свете при скрещенных николях; баровит – синева-серое зерно в центре; справа – микроклин-пертит, темно-зеленый – клинопироксен с внешней зоной (темная кайма по периферии зерна), насыщенной порами, мелкими выделениями граната и более щелочного, чем само зерно, пироксена (эгирина); желтоватый справа – кварц; ширина поля зрения 2 мм; д – тот же фрагмент шлифа (слегка повернутый против часовой стрелки), изображение в режиме BSE; bar – баровит, pyrx – клинопироксен; mic – микроклин; alb – альбит; qtz – кварц; белое удлиненное выделение в баровите – фторкальцийбритолит; светло-серые зерна слева на границе баровита с микроклином-пертитом – флюорит; светлая сыпь в краевых участках зерен клинопироксена – андрадит, более темная – эгирин.

Описание баровитсодержащих пород

Баровитсодержащие породы найдены в выносе сая Талды-Булак, прорезающем северный контакт сиенитов со сланцами (рис. 2). Облик и минеральный состав таких пород с Ходжа-Ачкана довольно близок к наиболее распространенным на Дарай-Пиёзе баровит- и мизеритсодержащим кварц-альбит-эгириновым породам, в которых был открыт баровит (Дусматов и др., 1975) (рис. 3) и которые позднее были подробно описаны (Reguir *et.al.*, 1999), и к баровитсодержащим агреллит-воластонит-

пектолит-микроклиновым породам из этого же массива (Семенов, Дусматов, 1989). Как будет показано ниже, наряду со сходством имеются и различия в составе пород с баровитом Ходжа-Ачкана и Дарай-Пиёза. Сопоставление минералогического состава баровит- и катаямалитсодержащих пород с Ходжа-Ачкана, Дарай-Пиёза и Иваги приведено в таблице 1.

Наиболее крупные и обильные выделения баровита на Ходжа-Ачканском массиве встречены в кварц-эгирин-альбит-микроклиновых породах, часто с мизеритом и переменным количеством кальцита, волластонита, титанига, датолита. Цветной индекс,

текстура и структура таких пород крайне изменчивы даже в пределах одного штупфа. Наиболее типичны для этих пород пятнистая, реже полосчатая текстуры, обусловленные наличием в лейкократовой мелкозернистой кварц-альбит-микроклиновой породе (иногда с мизеритом и эгирином) обособлений, сложенных более крупнозернистым агрегатом тех же минералов, но часто в других пропорциях (рис. 3). В некоторых разностях таких пород мизерит из акцессорного или второстепенного минерала переходит в ряд главных, придавая породе насыщенный розовый цвет. Лейкократовая мелкозернистая основная ткань породы сложена в основном альбитом и беспертитовым микроклином, приблизительно в равных пропорциях. Второстепенными минералами в ней являются кварц и кальцит. Содержание клинопироксена и мизерита подвержено значительным вариациям — присутствуют разности как обогащенные ими, так и нацело лишенные цветных минералов. Крупнозернистые агрегаты, образующие изометричные, удли-

ненные, или неправильной формы скопления сложены светло-серыми таблитчатыми зернами микроклин-пертита (альбитовые пертиты составляют 40–50 об.% индивидов калишпата) (рис. 4, 5), темно-зелеными зернами клинопироксена (рис. 4), в переменных количествах присутствуют кальцит, кварц, волластонит, мизерит. *Клинопироксен* представлен, как правило, зернами без признаков кристаллографической огранки с волнистыми, изрезанными границами (рис. 2). Составы пироксена (табл. 2) довольно близки к составам пироксена из баратовитсодержащих фенитов Дарай-Пиёза и отличаются от пироксена из катаямалитсодержащих пород Иваги несколько меньшим количеством эгиринового компонента, значительно отличаясь от состава клинопироксена из интрузивных сиенитов Ходжа-Ачкана (рис. 6). Для клинопироксена (усредненный состав соответствует $\text{Hd}_{64}\text{Aeg}_{21}\text{Di}_{14}$) из крупнозернистых обособлений на контакте с пертитовым калиевым полевым шпатом очень характерно наличие зоны, почти не-

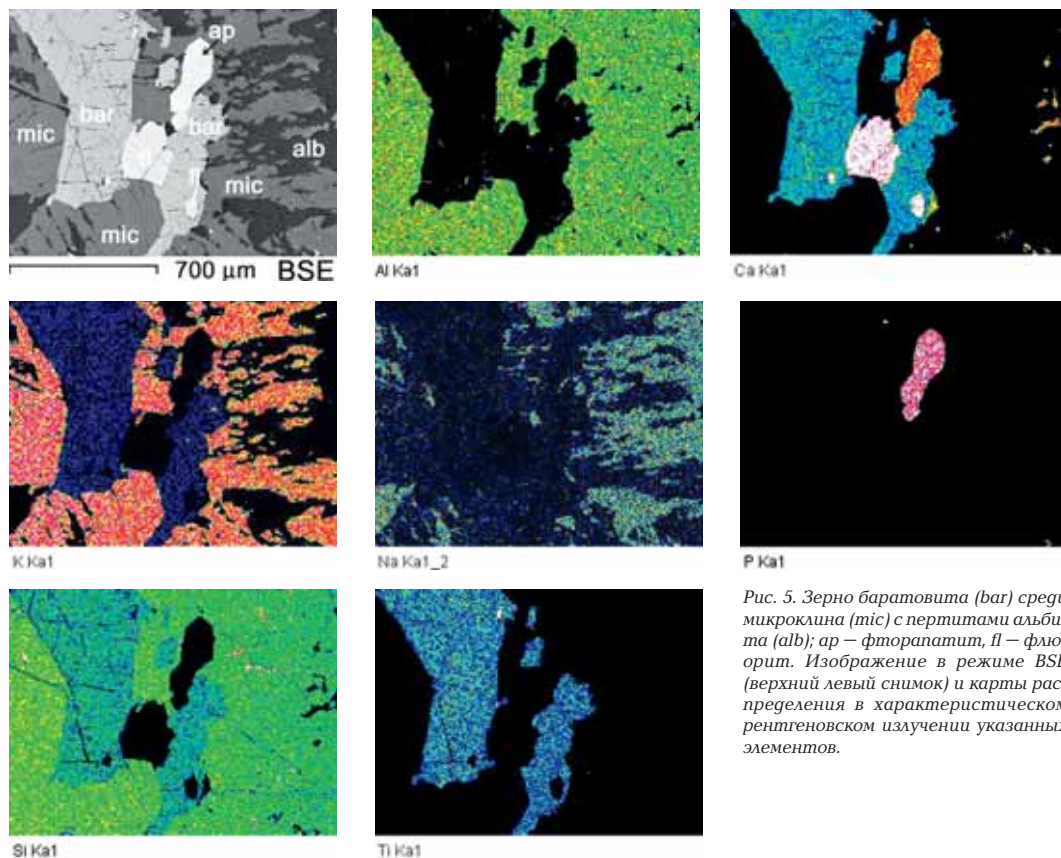


Рис. 5. Зерно баратовита (bar) среди микроклина (mic) с пертитами альбита (alb); ap — фторапатит, fl — флюорит. Изображение в режиме BSE (верхний левый снимок) и карты распределения в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов.

Таблица 2. Химический состав клинопироксенов (1-5), волластонита (6), андрагита (7, 8), датолита (9) из баратовитсодержащих пород, Ходжа-Ачкан (мас.%)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	50.32	50.93	52.51	53.14	51.75	51.52	35.76	34.62	36.79
TiO ₂	0.00	0.15	0.00	0.00	0.11	0.00	0.18	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.37	0.26	0.27	0.54	0.35	0.00	2.47	0.95	0.00
Fe ₂ O ₃	7.85	7.21	18.55	31.81	14.65	0.00	27.53	31.24	0.00
FeO	18.29	18.84	4.03	1.08	9.94	0.74	0.00	0.00	0.36
MnO	0.60	0.60	1.24	0.17	1.38	0.31	0.38	0.11	0.00
MgO	2.45	2.30	4.47	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	18.82	17.64	12.75	0.34	13.25	47.47	33.01	33.38	34.07
Na ₂ O	2.76	3.21	7.16	13.34	5.97	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	100.67	100.41	99.12	97.23	99.29	100.04	99.57	99.93	98.06

Количество атомов в формуле в расчёте на:

	O = 6 а.ф.			O = 3 а.ф.			O = 12 а.ф.		
Si ⁺⁴	1.98	2.01	1.99	2.02	2.00	1.00	3.00	2.93	
Al ⁺³	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.24	0.10	
Ti ⁺⁴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	
Fe ^{+3*}	0.23	0.21	0.53	0.91	0.43	0.00	1.74	1.99	
Fe ^{+2*}	0.60	0.62	0.13	0.03	0.32	0.01	0.00	0.00	
Mn ⁺²	0.02	0.02	0.04	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	
Mg ⁺²	0.14	0.13	0.25	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	
Ca ⁺²	0.79	0.74	0.52	0.01	0.55	0.99	2.96	3.02	
Na ⁺	0.21	0.25	0.53	0.99	0.45	0.00	0.00	0.00	
O ⁻²	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	3.00	12.00	12.00	

Примечание. * – Fe⁺² / Fe⁺³ расчетное.

Здесь и далее, если нет особых комментариев, анализ выполнен методом электронно-зондового микроанализа с помощью ЭДС; в таблицах 0.00 означает, что содержание компонента ниже предела обнаружения.

1 – 4 – клинопироксен из крупнозернистых участков породы; 1, 2 – центральная часть зерен; 3, 4 – эгириновые обособления из краевой зоны; 5 – клинопироксен из мелкозернистых участков; 6 – волластонит из крупно-зернистой волластонит-пироксен-полевошпатовой породы; 7, 8 – андрагит: 7 – яблочно-зеленые зерна в основной ткани породы; в сумму анализа входит Nb₂O₅ = 0.24 мас. % (соответствует Nb = 0.01 а.ф.); 8 – андрагит из гранат-эгириновых кайм крупнозернистого клинопироксена; 9 – датолит (расчёт формулы на сумму катионов = 2 а.ф.) (Ca_{0.98}Fe_{0.01})BSiO₄(OH), расчётные содержания (мас. %): B₂O₃ = 21.31, H₂O = 5.53.

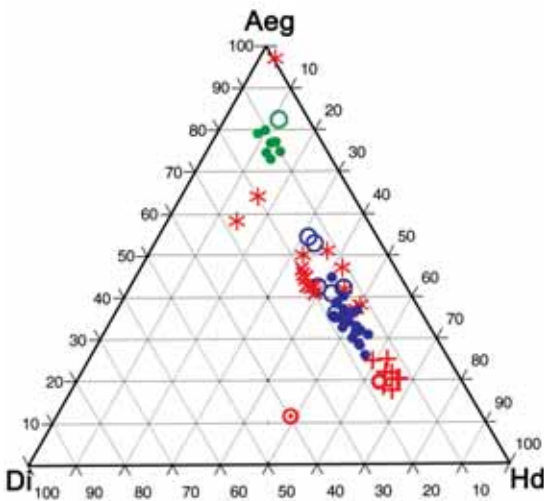


Рис. 6. Диаграмма составов (мол. %) клинопироксенов из пород, содержащих минералы группы баратовита: Ходжа-Ачкан: + – крупные зёрна, * – мелкие выделения пироксена в краевой зоне крупных зёрен клинопироксена, x – мелкие зёрна из мелкозернистых участков полевошпатовой породы (наши данные); ○ – из бескварцевых сиенитов (Перчук, 1964), ⊙ – из кварцевых сиенитов (Перчук, 1964); Дарай-Пиёз: ● – из мизеритсодержащих кварц-альбит-микроклиновых пород (наши данные), ○ – из мизеритсодержащих кварц-альбит-микроклиновых пород (Reguir et al., 1999); Иваги: ● – из эгиринового сиенита (наши данные); ○ – из эгиринового сиенита (Miyakami et al., 1983). Вершины треугольника соответствуют: Di – диопсиду, Hd – регенбергиту и Aeg – эгирину.

прозрачной в шлифе нормальной толщины, которая содержит многочисленные мелкие поры, выделения *граната* андрадитового состава ($And_{94}Sch_3Gros_2Spes_1$) неправильной формы, с плавными очертаниями, размерами до 15–20 мкм (табл. 2, ан. 7, 8), не имеющие кристаллографических ограничений обособления пироксена, обогащенного эгириновым компонентом (рис. 4, 7). Подобные зоны во внешних частях кристаллов пироксенов щелочных пород из других регионов, интерпретируемые как продукт реакционного замещения более раннего высококальциевого пироксена при повышении активности щелочей и фугитивности кислорода, неоднократно описывались в литературе (Dawson, Hill, 1988; Marks *et al.*, 2003), но ни разу не были отмечены в баратовит- и катаямалитсодержащих породах Дарай-Пиёза и Иваги. Клинопироксены без таких кайм в мелкозернистой кварц-альбит-микроклиновой породе с Ходжа-Ачкана являются более щелочными с усредненной формулой $Aeg_{44}Hd_{36}Di_{20}$ (рис. 6; табл. 2, ан. 5). Характерным минералом баратовитсодержащих пород как Ходжа-Ачкана, так и Дарай-Пиёза является *мизерит* (Семенов и др., 1973; Дусматов и др., 1975; Reguir *et al.*, 1999), содержание которого в породах, как уже отмечалось выше, подвержено значительным вариациям. Отметим, что мизерит на Ходжа-Ачкане был неоднократно описан ранее: в воластонит-пироксен-полевошпатовых породах на восточном участке (левый берег р. Лойсу) (Рыжев, Молева, 1960); в северо-западной части массива (сай Карагач-Джилга) на контакте нефелиновых сиенитов с вмещающими сланцами (Ульянов, Ильинский, 1964); в альбит-пироксеновых метасоматитах из осыпи у северного контакта массива (Еникеева и др., 1987). Кроме Ходжа-Ачкана и Дарай-Пиёза мизерит известен и в других массивах матчайского комплекса: Матчинском, Кульпском, Джилисуйском (Ильинский, 1970; Ифантопуло, 1975). Находки мизерита в других регионах мира также приурочены к щелочным метасоматитам (фенитам) с калиевой специализацией, связанным либо с щелочными интрузиями, либо с карбонатитами: на контакте метаморфизованных сланцев и нефелиновых сиенитов в Wilson Springs, Арканзас, США (Shaller, 1950); в эгирин-альбит-микроклиновых метасоматитах Чергилена, Хабаровский край (В. Сибирь) (Куприянова, Васильева, 1961); на контакте даек щелочных пород с известняками, Таласский хр., Киргизия (Козлова, 1962); в эгирин-микроклиновых метасомати-

Таблица 3. Химический состав мизерита массивов Ходжа-Ачкан (1-3) и Дарай-Пиёз (4, 5) (мас.%)

Компонент	Ходжа-Ачкан			Дарай-Пиёз	
	1	2	3	4	5
SiO ₂	50.30	50.26	49.80	49.16	49.93
TiO ₂	0.00	0.22	0.12	0.22	0.30
ZrO ₂	0.00	0.00	0.63	0.38	0.31
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.31	0.77	0.54
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	0.00	0.00	0.44	0.59	0.93
La ₂ O ₃	1.29	0.33	0.26	1.16	0.32
Ce ₂ O ₃	3.06	0.90	0.68	2.25	1.20
Pr ₂ O ₃	0.55	0.23	0.00	0.00	0.00
Nd ₂ O ₃	0.59	0.51	0.32	0.45	0.31
MnO	0.00	0.42	0.48	0.15	0.14
FeO	0.25	0.30	0.35	0.20	0.28
CaO	32.88	35.08	34.13	32.18	33.46
Na ₂ O	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	5.99	6.43	6.34	5.94	6.19
F	2.68	2.48	2.79	2.93	3.15
-O=F ₂	-1.12	-1.04	-1.17	-1.23	-1.32
Сумма	97.59	97.32	96.71	96.38	97.06
Количество атомов в формуле в расчете на Si + Al = 8 а.ф.					
K ⁺	1.22	1.31	1.30	1.23	1.27
Na ⁺	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
Σ	1.22	1.36	1.30	1.23	1.27
Ca ⁺²	5.60	5.98	5.87	5.61	5.74
Mn ⁺²	0.00	0.06	0.07	0.02	0.02
Fe ⁺²	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04
Y ⁺³	0.00	0.00	0.04	0.05	0.08
La ⁺³	0.08	0.02	0.02	0.07	0.02
Ce ⁺³	0.18	0.05	0.04	0.13	0.07
Pr ⁺³	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Nd ⁺³	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
Nb ⁺⁵	0.00	0.00	0.02	0.06	0.04
Ti ⁺⁴	0.00	0.03	0.01	0.03	0.04
Zr ⁺⁴	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02
Σ	5.95	6.22	6.14	6.06	6.09
Si ⁺⁴	8.00	8.00	7.99	8.00	8.00
Al ⁺³	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
ΣT	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
F ⁻	1.35	1.25	1.42	1.51	1.60
O ⁻²	22	22	22	22	22
(OH) ^{-*}	0.17	0.72	0.41	0.42	0.28

Примечание. * – расчетные значения по компенсации заряда.

В сумму анализов входят: 1 – ThO₂ 0.69 мас. %, соответствует Th=0.02 а.ф.; 3 – MgO 0.11 мас. %, в формуле соответствует Mg=0.03 а.ф.

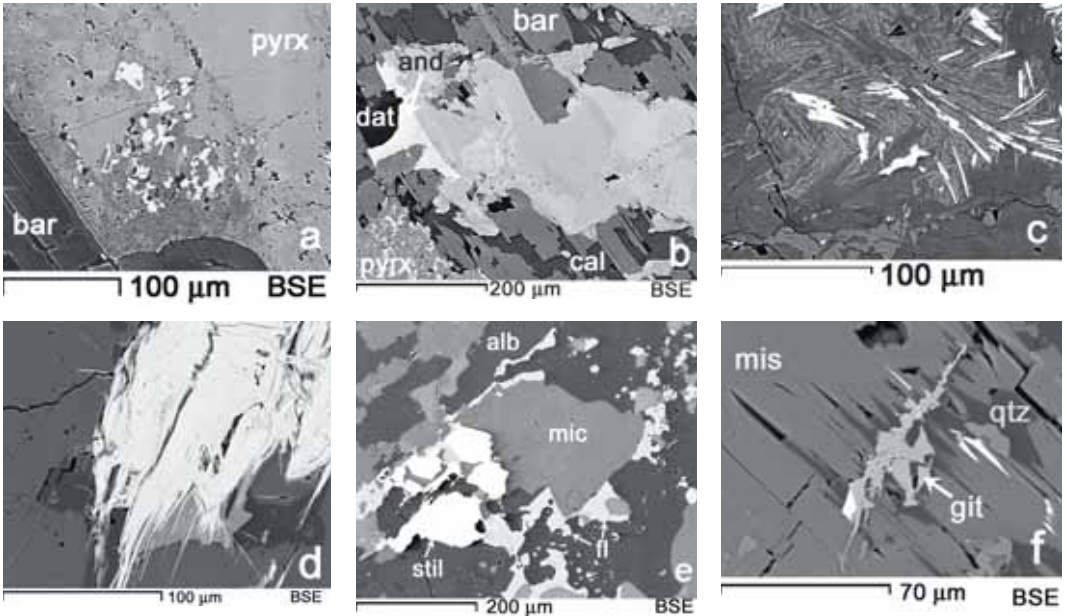


Рис. 7. Акцессорные минералы из баратовитсодержащих пород Ходжа-Ачкана (изображения в режиме BSE): а – андрагит-эгириновая кайма по периферии крупного зерна клинопироксена (pyx); bar – баратовит; светлые выделения – андрагит; участки, обогащенные эгириновым компонентом – более темные по сравнению с основной частью зерна пироксена; черное – пустотки (поры) в породе. б – зональный кристалл титанита с баратовитом (bar); pyx – зерно пироксена с эгирин-гранатовой сылью; and – андрагит; cal – кальцит; dat – гадолинит. с – эканит: деформированные тонкопризматические кристаллы в баратовите. d – минерал группы телландита с $Fe \gg Ti$: тонкопластинчатый агрегат в баратовите. e – стиллуэллит-(Ce): зерна с микроклином (mic), альбитом (alb), флюоритом (fl). f – гиттинсит (git): выделение в мизерите (mis); qtz – кварц; белые зёрна – Ca-Ce-силикат.

тах Якутского массива, Якутия (Кравченко, Быкова, 1967); с волластонитом, ортоклазом, эгирином, агреллитом в карбонатитах Кирава, Канада (Berry *et al.*, 1971; Scott, 1976); в фенитах Мурунского комплекса, Якутия (Лазебник, Лазебник, 1981; Конев и др., 1996). Мизерит на Ходжа-Ачкане образует в породе как отдельные игольчатые кристаллы, так и радиально-лучистые, веерообразные агрегаты размером до 3 см. Цвет мизерита розовый до насыщенного красновато-коричневого, что, прежде всего, связано с обогащенностью минерала марганцем (до 1.3 мас.% MnO) (рис. 3а, с). Мизерит является важнейшим концентратором редких земель в описываемых баратовит-содержащих породах Ходжа-Ачкана. В отличие от мизерита Дарай-Пиёза, который характеризуется повышенными содержаниями редких земель при преобладании иттрия, мизерит Ходжа-Ачкана обеднен иттрием и резко обогащен легкими лантаноидами (табл. 3). Сумма микронзондовых анализов мизерита, как правило, оказывается заниженной, что, возможно, связано с присутствием в составе минерала переменных количеств молекулярной воды (Scott, 1976;

Рождественская, Евдокимов, 2006). Отметим, что в мизерите реализуются очень сложные механизмы изоморфных замещений, и идеализированная формула $KCa_5 \square (Si_2O_7) (Si_6O_{15}) (OH)F$, предложенная Дж. Скоттом (Scott, 1976) и иногда встречающаяся в минералогической литературе, не является электронной-нейтральной, а несёт заряд (-3).

Другими минералами, которые в некоторых разностях пород становятся породообразующими, являются волластонит, кальцит, кварц. Волластонит в одних случаях составляет менее 1 об.% породы, в других же является породообразующим минералом. Он образует белые, светло-серые достатые кристаллы до 4 см по удлинению. Состав его близок к стехиометричному (табл. 2, ан. 6). Кальцит в описываемых породах с Ходжа-Ачкана, так же как и в баратовитсодержащих кварц-альбит-эгириновых породах с Дарай-Пиёза (Requir *et al.*, 1999), обогащен стронцием (SrO до 1.1 мас.%), что сближает его с кальцитом интрузивных карбонатитов. По набору акцессорных минералов (табл. 1) описываемые породы с Ходжа-Ачкана близки к баратовит-содержащим кварц-альбит-

Таблица 4. Химический состав (мас.%) аксессуарных минералов из баратовитсодержащих пород Ходжа-Ачкана: стилуэллита-(Ce) (1), фторкальциобриолита (2), фторапатита (3), туркестанита (4), эканита (5), таджикита-(Ce) (6), титанита (7), гиттинсита (8), бацирита (9)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	21.63	19.06	0.75	54.63	53.85	24.86	29.94	39.49	37.45
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.86	33.24	0.39	0.35
ZrO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.64
SnO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.31
ThO ₂	2.44	5.25	0.00	0.00	20.16	5.07	0.00	0.00	0.00
UO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	10.08	0.99	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.00	5.23	39.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	2.07	0.00
B ₂ O ₃	13.11*	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	14.31**	н.о.	н.о.	н.о.
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.22	0.12	0.44	1.48	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	4.52	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00
La ₂ O ₃	23.35	14.62	0.69	0.00	0.00	6.25	0.65	0.00	0.00
Ce ₂ O ₃	27.22	22.14	0.77	0.68	0.00	11.75	0.77	0.00	0.00
Pr ₂ O ₃	1.16	1.84	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00
Nd ₂ O ₃	4.63	6.12	0.00	0.00	0.00	3.44	0.61	0.00	0.00
Sm ₂ O ₃	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
Gd ₂ O ₃	0.44	0.81	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Tb ₂ O ₃	0.50	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SrO	0.38	0.48	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	1.66	19.29	53.41	9.18	12.48	20.78	27.51	18.71	0.23
MnO	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.22
PbO	0.19	0.00	0.00	0.59	0.74	0.04	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	1.81	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	2.22	4.18	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00
-O=F ₂	0.00	0.00	-1.75	0.00	0.00	0.00	-0.58	0.00	0.00
Сумма	98.67	99.58	100.58	99.00	95.45	96.16	101.74	99.99	97.20

Примечание. Здесь и далее «н.о.» означает, что компонент не определялся. 1 – стилуэллит-(Ce) (Ce_{0.44}La_{0.38}Ca_{0.08}Mg_{0.07}Nd_{0.07}Th_{0.02}Pr_{0.02}Gd_{0.01}Tb_{0.01}Sr_{0.01}3.11B_{0.99}Si_{0.95}O₅, расчёт формулы на O=5 а.ф., в сумму анализа входят (мас. %): MgO 1.12, Tm₂O₃ 0.24; * – B₂O₃ измерен на волнодисперсионном спектрометре с кристаллом STE, U=10 кВ, I=70 нА; 2 – фторкальциобриолит-(Ce) (Ca_{2.64}Sr_{0.04}Ce_{1.04}La_{0.69}Nd_{0.28}Pr_{0.09}Gd_{0.03}Tb_{0.03}Dy_{0.02}Th_{0.15}U_{0.03}5.02 (SiO₄)_{2.43}(PO₄)_{0.57}(F_{0.89}OH_{0.38}), расчёт формулы на Si + P=3 а.ф., в сумму анализа входят (мас. %): Dy₂O₃ 0.24; H₂O 0.45 (расчетное значение); 3 – фторапатит (Ca_{4.97}Sr_{0.05}Ce_{0.02}La_{0.02})_{5.06}(PO₄)_{2.93}(SiO₄)_{0.07}F_{1.15}, расчёт формулы на Si + P=3 а.ф.; 4 – туркестанит (Th_{0.92}U_{0.04}Ce_{0.04})_{1.00}(Ca_{1.43}Na_{0.51})_{1.94}(K_{0.51}Pb_{0.02})_{0.53}(Si_{7.96}Al_{0.04})_{8.00}O_{19.93}, расчёт формулы на Si+Al=8 а.ф.; 5 – эканит (Th_{0.68}U_{0.33})_{1.01}(Ca_{1.98}Pb_{0.03}Na_{0.03})_{2.04}(Si_{7.96}Al_{0.02})_{0.20}, расчёт формулы на O=20 а.ф.; 6 – таджикит-(Ce) Ca₂(Ca_{1.58}Y_{0.04}K_{0.04})_{1.66}(Ti_{0.47}Fe_{0.32}Al_{0.08})_{0.87}(Ce_{0.69}Pr_{0.05}La_{0.37}Nd_{0.20}Sm_{0.01}Gd_{0.01}Th_{0.19}U_{0.03})_{1.53}B_{0.5}Si₄O_{21.31}, среднее по 3 анализам, расчёт формулы на Si=4 а.ф.; ** – для B₂O₃ расчетные значения; 7 – титанит (Ca_{0.96}Na_{0.01})_{0.97}(Ti_{0.82}Fe_{0.11}Al_{0.06}Nb_{0.02}Sn_{0.01}La_{0.01}Ce_{0.01}Nd_{0.01})_{1.05}Si_{0.98}O_{4.87}F_{0.13}, расчёт формулы на сумму катионов=3 а.ф.; 8 – гиттинсит (Ca_{1.00}Mn_{0.02})_{1.02}(Zr_{0.95}Nb_{0.05}Ti_{0.01})_{1.01}Si_{1.97}O_{7.00}, расчёт формулы на O=7 а.ф.; 9 – бацирит (Ba_{1.03}Ca_{0.02})_{1.05}(Zr_{0.99}Sn_{0.01}Ti_{0.02})_{1.01}Si_{2.96}O, расчёт формулы на O=9 а.ф.

эгириновым породам Дарай-Пиёза (Дусматов и др., 1975; Reguir *et al.*, 1999), но имеются и отличия. Одним из наиболее распространенных акцессорных минералов не только на Ходжа-Ачкане, но и в других щелочных массивах матчайского комплекса, в том числе и Дарай-Пиёзского массива, является *титанит*, неоднократно описанный (Омельяненко, Сиротинина, 1959; Ильинский, 1970; Ифантопуло, 1975; Reguir *et al.*, 1999). Минерал образует клиновидные кристаллы до 5 мм желтого, коричневого цветов; в шлифах наблюдается зональность и секториальность, связанная с обогащением отдельных зон Sn, Nb, REE (рис. 7b; табл. 4, ан. 7).

Достаточно распространенными акцессорными минералами в описываемых породах являются *фторбритолит-(Ce)* и недавно описанный *фторкальцообритолит* (Peikov *et al.*, 2007) (рис. 4d; табл. 4, ан. 2). Их выделения (до 300 мкм) часто приурочены к баратовиту, мизериту. Минералы группы бритолита на Дарай-Пиёзе весьма редки и не были встречены в баратовитосодержащих породах. На Ходжа-Ачкане характерными акцессорными минералами описываемых пород, не встречающимися в баратовитосодержащих породах Дарай-Пиёза, являются *гранаты*, преимущественно андрадитового состава. Кроме отмеченных выше выделений андрадита в краевых зонах клинопироксена, минерал образует изометричные зёрна (0.1–4 мм) яблочно-зелёного цвета в лейкократовых разностях породы (табл. 2, ан. 7). К выделениям граната часто приурочены сульфиды: *молибденит*, *галенит*, *пирит*.

Из акцессорных минералов на Ходжа-Ачкане также часто встречается *эканит*, гораздо реже — близкий по структуре *туркестанит* (рис. 7c; табл. 4, ан. 4, 5). Они образуют тонкопризматические (длиной до 0.2 мм), часто деформированные, искривленные кристаллы и их сростки с мизеритом, баратовитом. Туркестанит, в отличие от эканита, широко распространен на Дарай-Пиёзе, где является «сквозным» минералом многих ассоциаций, а также на соседнем с Ходжа-Ачканом Джилисуйском массиве, где он выступает в роли главного концентратора тория (Гинзбург и др., 1965; Паутов и др., 1997; Reguir *et al.*, 1999). Среди акцессорных минералов баратовитосодержащих пород Ходжа-Ачкана встречены редкие боросиликаты группы гелландита: *таджикит-(Ce)* (табл. 4, ан. 6) и недоизученный минерал, близкий по составу и рентгеновской порошкограмме к таджикиту, но с $Fe \gg Ti$ (рис. 7d). Эти ми-

нералы встречены в виде одиночных зерен, скопленных уплощенно-призматических кристаллов длиной до 500 мкм и сферолитов; цвет их коричневый, различных оттенков. Отметим, что на Дарай-Пиёзе таджикит, где он и был открыт (Ефимов и др., 1970), является относительно распространенным акцессорным минералом, в том числе и в ассоциации с баратовитом (Reguir *et al.*, 1999). По составу редких земель таджикит на Дарай-Пиёзе не является селективным и встречен как с преобладанием иттрия — таджикит-(Y), так и церия — таджикит-(Ce). Вопросы кристаллохимии, особенности распределения редких земель по позициям в кристаллической структуре этих минералов, а также номенклатуры обсуждаются в ряде работ (Черницова и др., 1982; Hawthorne *et al.*, 1998; Reguir *et al.*, 1999; Oberti *et al.*, 1999; 2002). В отличие от Дарай-Пиёза, на Ходжа-Ачкане пока обнаружены только церий-доминантные представители группы гелландита. Еще одним акцессорным редкоземельным боросиликатом в пироксен-полевошпатовых фенитах с баратовитом на Ходжа-Ачкане является *стилуэллит-(Ce)*, встречающийся в виде отдельных неправильных зерен (рис. 7e; табл. 4, ан. 1) размером до 150 мкм. На Дарай-Пиёзе стилуэллит-(Ce) является очень характерным минералом некоторых пород (Дусматов и др., 1963; Дусматов 1964; 1971), иногда образующим хорошо сформированные эффектные кристаллы до нескольких сантиметров в поперечнике (Belakowski, 1991). В баратовитосодержащих кварц-альбит-эгириновых породах Дарай-Пиёза стилуэллит-(Ce) описан в виде кристаллов размером менее 50 мкм, заполняющих трещины и пустотки в ранее образовавшихся минералах (Reguir *et al.*, 1999). Из собственных минералов циркония в описываемых породах с баратовитом из Ходжа-Ачканского массива диагностированы гиттинсит, бацирит, циркон. *Гиттинсит* является одним из поздних минералов — он выполняет совместно с кварцем трещины разрыва в кристаллах мизерита (рис. 7f; табл. 4, ан. 1). На Дарай-Пиёзе гиттинсит обнаружен нами только в составе псевдоморфоз по эвдиалиту. Среди других местонахождений этого минерала — агпайтовый комплекс Кипава в Канаде (Ansell *et al.*, 1980), редкометалльные пегматиты Хан-Богдо в Монголии (Царева и др., 1993), где он, как и на Дарай-Пиёзе, псевдоморфно развивается по минералам группы эвдиалита. *Бацирит* является очень редким минералом в баратовитосодержащих породах Ходжа-Ачкана,

Таблица 5. Параметры ячеек минералов группы баратовита

Название	<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	β , °	<i>V</i> , Å ³	Местонахождение	Источник
баратовит	16.93(1)	9.742(5)	20.92(2)	112.51(5)	3187(5)	Ходжа-Ачкан, Киргизия	наши данные (фотометод)
баратовит	16.93(2)	9.733(5)	20.94(2)	112.49(7)	3187(7)	Ходжа-Ачкан, Киргизия	наши данные (дифрактограмма)
баратовит	16.90(2)	9.73(1)	20.91(2)	112.30	3179	Дарай-Пиёз, Таджикистан	Дусматов и др., 1975
баратовит	16.953(5)	9.752(3)	20.916(6)	112.46(2)	3195.8	Дарай-Пиёз, Таджикистан	Сандомирский и др., 1976
баратовит	16.941(3)	9.746(2)	20.907(3)	112.50(10)	3189.1	Дарай-Пиёз, Таджикистан	Menchetti, Sabelli, 1979
катаямалит*	16.923(3)	9.721(2)	20.909(3)	112.40(10)	3180	Иваги, Япония	Baur, Kassner, 1992
александровит	17.01 (2)	9.751(6)	21.00(2)	112.45(8)	3219(7)	Дарай-Пиёз, Таджикистан	Паутов и др., 2010

Примечание. * – $\alpha = 89.98(10)$; $\gamma = 89.94(10)$ (Baur, Kassner, 1992)

встречен в виде единичных зерен шестиугольных очертаний до 50 мкм (табл. 4, ан. 9). На Дарай-Пиёзе бацитрит описан в породах с баратовитом в ассоциации с титанитом, выполняющим трещины в баратовите и эгирине (Reguir *et al.*, 1999), в пегматитах в составе полиминеральных псевдоморфоз по эвдиалиту (Паутов, Хворов, 1998) и в карбонатитах с баратовитом и александровитом (Паутов и др., 2010). Циркон не является характерным аксессуарным минералом баратовитсодержащих пород Ходжа-Ачкана и Дарай-Пиёза и встречается в редких единичных зёрнах. Из рудных минералов описываемых пород Ходжа-Ачкана наиболее типичен молибденит, образующий пластинчатые выделения до 1.5 мм в поперечнике.

Описание баратовита. Физические свойства

Минералы ряда баратовит-катаямалит образуют уплощенные по (001) до тонкопластинчатых зерна, как правило, без признаков кристаллографической огранки, иногда собранные в веерообразные, а чаще хаотичные сростки. Размер индивидов в наибольшем измерении от 0.02 мм до 2–3 см при толщине пластинок 0.01 мм до 1.0–1.5 мм (рис. 4). Наиболее крупные выделения баратовита встречаются в эгирин-полевошпатовых породах с мизеритом; в волластонитсодержащих породах минералы группы баратовита обычно представлены мелкими одиночными зёрнами (1–2 мм). Тонкие пластинчатые зерна про-

зрачны и бесцветны, в более крупных отчетливо наблюдается розовая окраска минерала. Блеск стеклянный, на плоскостях совершенной спайности – с перламутровым отливом. Минерал весьма хрупкий. Кроме совершенной спайности по (001) проявляются две системы отдельности, поперечные к базальной плоскости. В прозрачных шлифах в проходящем свете баратовит бесцветный, разрезы параллельные плоскости (001) имеют тёмносерые интерференционные окраски, в косых разрезах наблюдаются аномальные индиговосиние интерференционные окраски. Минерал двусный, оптически положительный, угол 2*V* изменчив от 70° до 90°, дисперсия сильная, $r > v$. Показатели преломления, измеренные на вращающейся игле, составляют $n_g = 1.674(2)$, $n_m = 1.671(3)$, $n_p = 1.666(3)$.

Микротвердость баратовита измерена на микротвердометре ПМТ-3 (тарированном по NaCl) при нагрузке 100 г в двух сечениях: в базальной плоскости и в поперечных (или близких к таковым) сечениях. Микротвердость на базальной плоскости составила VHN (кг/см²) = 615 (среднее по 10 замерам, разброс 490–710). Для разрезов перпендикулярных базальной плоскости наблюдалась слабо проявленная анизотропия твердости 1-го рода (среднее по 17 замерам): поперек трещин спайности VHN = 724 (разброс 500–835), вдоль трещин спайности VHN = 618 (разброс 495–700). В аналогичных условиях была измерена микротвердость баратовита с Дарай-Пиёза, которая составила на сечениях (001) VHN = 615, на поперечных сечениях –

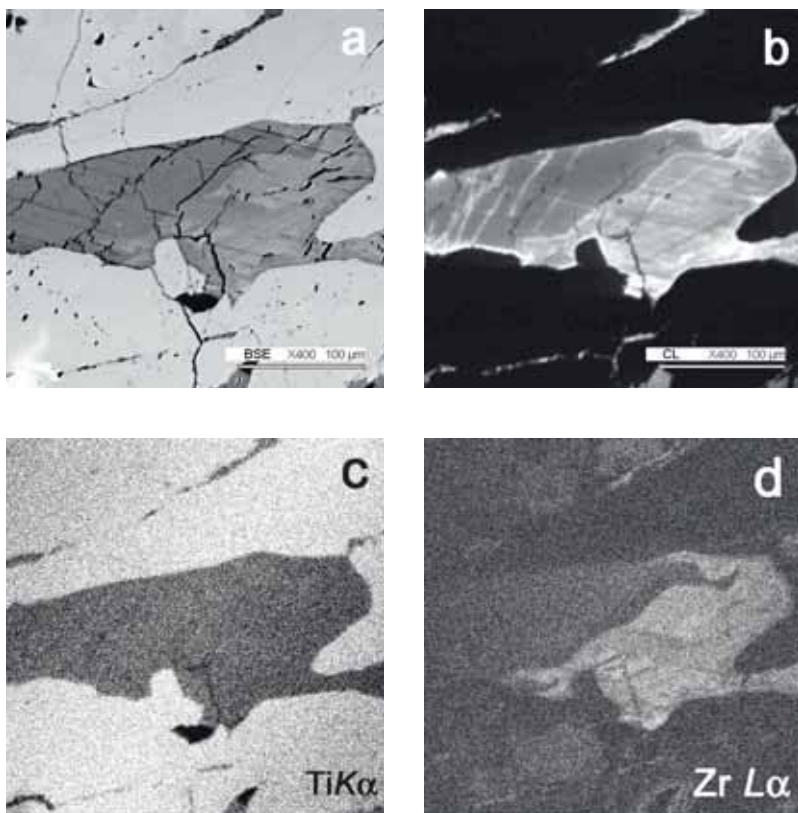


Рис. 8. Зерно баратовита в титаните из мизерит-эпирин-микроклиновой породы, Ходжа-Ачкан: а – режим BSE, серое – баратовит, светло-серое – титанит; б – режим катодолюминесценции; с, d – изображения в характеристическом рентгеновском излучении TiKα (с) и ZrLα (d). На изображении BSE (а) хорошо видна сложная неоднородность зерна баратовита по среднему атомному номеру, которая коррелирует с распределением циркония (d). Картина катодолюминесценции (b) гораздо сложнее: общий мотив повторяет изображение в BSE и, соответственно, рентгеновскую карту распределения Zr, но осложнен наличием участков, линейных зон с более интенсивной люминесценцией, возможно, связанных с участками деформаций и повышенным количеством дефектов. Снимки получены на Camebax-tisoveat; условия съемки: $U=15$ кВ, $I=20$ нА.

632 и 599 (по 10 замерам). Полученные значения микротвердости баратовита как с Ходжа-Ачкана, так и с Дарай-Пиёза соответствуют твердости 5–6 по шкале Мооса, что выше твердости 3.5, указанной при первом описании минерала (Дусматов и др., 1975).

Плотность минерала, измеренная в растворе жидкости Клеричи методом уравнивания зёрен, составила $D_{\text{измер.}} = 2.92(2)$ г/см³. Вычисленная плотность получена из параметров ячейки, рассчитанных по межплоскостным расстояниям для фотометода (табл. 5) и среднего состава (табл. 6, ан. 1), составила $D_{\text{выч.}} = 2.91$ г/см³.

Баратовит с Ходжа-Ачкана, как и баратовит с Дарай-Пиёза и катаямалит с Иваги (рис. 3), обладает яркой бело-голубоватой люминесценцией в коротковолновом УФ-излучении. В пределах индивидов баратовита наблюдается неоднородность интенсивности свечения. Еще ярче этот эффект проявлен при наблюдении в режиме катодолюминесценции при возбуждении электронным зондом (рис. 8). По данным Б.С. Горобца и А.А. Рогожина (2001), фотолуминесценция

баратовита с Дарай-Пиёза связана с центрами люминесценции O^* и Fe^{+3} . Позднее природу люминесценции баратовита из Дарай-Пиёза и катаямалита с Иваги, Япония, изучали А. Сидике с соавторами (Sidike *et al.*, 2010) и связали её с центрами $Ti - O_6$.

ИК-спектры баратовита с Ходжа-Ачкана и Дарай-Пиёза близки между собой (рис. 9) и характеризуются наличием сильной двойной полосы поглощения в диапазоне 900–1100 см⁻¹, характерной для кольцевых силикатов с шестерными кольцами Si–O – тетраэдров, менее сильными полосами в диапазоне 520–540 и 470–480 см⁻¹, относимыми к ν_4 колебаниям связей Si–O₄, и полосой поглощения в диапазоне 685–695 см⁻¹, относимой к колебаниям ν_3 Ti–O₆ (Поваренных, 1979).

Химический состав баратовита

Для баратовита и катаямалита опубликовано всего несколько химических анализов (Дусматов и др., 1975; Murakami *et al.*, 1983; Reguir *et al.*, 1999; Sidike *et al.*, 2010; Паутов и др., 2010). Из них наиболее полным является

Таблица 6. Химический состав (мас.%) баратовита и катаямалита массивов Ходжа-Ачкан, Дарай-Пиёз и Иваги

Компо- нент	Ходжа-Ачкан			Дарай-Пиёз			Иваги			
	баратовит		катаямалит	баратовит		катаямалит	катаямалит			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	51.15	51.29	51.01	51.44	50.46	51.57	49.63	51.84	52.31	51.75
TiO ₂	9.76	8.87	7.97	9.89	9.51	10.55	6.01	10.70	10.99	11.13
ZrO ₂	1.74	2.22	3.71	1.18	2.28	0.90**	6.08	0.76	—	0.15**
SnO ₂	0.46	1.01	0.87	0.87	—	>0.13**	2.04	0.17	0.00	0.06**
Nb ₂ O ₃	0.04	0.00	0.23	0.18	0.72	>0.14**	0.00	0.04	—	0.07**
Al ₂ O ₃	0.06	0.20	0.06	0.00	—	0.02	0.07	0.04	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.39	0.60	0.44	0.46	0.50	0.31	0.29	0.23	0.29	0.26
CaO	27.48	26.72	26.72	27.12	30.36	27.36	26.67	27.00	28.25	28.58
MgO	0.03	0.00	0.00	0.03	—	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
MnO	0.11	0.00	0.00	0.10	0.50	0.34	0.15	0.20	0.22	0.07
K ₂ O	3.03	3.17	3.07	3.01	2.96	2.89	3.03	3.09	2.89	2.85
Na ₂ O	0.20	0.15	0.23	0.29	0.70	0.36	0.15	0.23	0.22	0.36
Li ₂ O	3.14	3.20*	3.17*	3.15	2.05	—	3.10*	3.22*	3.25	—
Rb ₂ O	0.12	н.о.	н.о.	—	—	0.075**	0.00	н.о.	—	0.023**
F	1.51	1.75	0.94	1.45	1.05	2.51	1.02	0.25	0.34	0.53
H ₂ O	0.61	0.46*	0.84*	0.68	—	—	0.76*	1.12*	1.21	—
—O=F ₂	−0.63	−0.73	−0.39	−0.61	−0.44	—	−0.43	−0.11	−0.14	—
Сумма	99.18	98.91	98.87	99.24	100.31	—	98.58	98.67	99.83	—

Количество атомов в формуле в расчете на Si + Al = 12 а.ф.

K ⁺	0.91	0.94	0.92	0.90	0.90	0.86	0.93	0.91	0.85	0.84
Na ⁺	0.09	0.07	0.10	0.13	0.32	0.16	0.07	0.10	0.10	0.16
Rb ⁺	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Li ⁺	2.96	3.00	3.00	2.96	1.96	—	3.00	3.00	3.00	—
Ca ⁺²	6.90	6.67	6.73	6.78	7.74	6.82	6.90	6.69	6.94	7.10
Mg ⁺²	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn ⁺²	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.07	0.03	0.04	0.04	0.01
Ti ⁺⁴	1.72	1.55	1.41	1.73	1.71	1.85	1.09	1.86	1.90	1.94
Zr ⁺⁴	0.20	0.25	0.42	0.13	0.26	—	0.72	0.09	—	—
Sn ⁺⁴	0.04	0.09	0.08	0.08	—	—	0.20	0.02	—	—
Nb ⁺⁵	0.00	0.00	0.02	0.02	0.08	—	0.00	0	—	—
Fe ⁺³	0.07	0.11	0.08	0.08	0.09	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05
Al ⁺³	0.02	0.05	0.02	—	—	0.00	0.02	0.01	—	0.00
Si ⁺⁴	11.98	11.95	11.98	12.00	12.00	12.00	11.98	11.99	12.00	12.00
F ⁻	1.12	1.29	0.70	1.07	0.79	1.84	0.77	0.18	0.25	0.39
OH ⁻	0.95	0.71	1.30	1.06	—	—	1.23	1.72	1.85	—
O ⁻²	35.92	35.64	35.72	35.79	37.23	—	36.02	35.78	35.78	—

Примечание. Здесь и далее прочерки означают, что данные для компонента не приведены. * — H₂O и Li₂O расчетные, исходя из (F + OH) = 2.00 а.ф., Li = 3.00 а.ф.; ** — пересчитаны в оксиды из данных ICP-MS; 1 — среднее по 47 электронно-зондовым анализам, кроме: Li₂O (среднее из двух анализов методами ICP OES и пламенной фотометрии); Rb₂O (пламенная фотометрия); F (потенциометрия); H₂O (CHN-анализ с хроматографическим окончанием, среднее из трех определений); 2 — электронно-зондовый анализ (с наибольшим содержанием фтора); 3 — электронно-зондовый анализ (с наибольшим содержанием расчетной воды); 4 — среднее по 11 электронно-зондовым анализам (3 анализа — WDS JCXA 733, 8 анализов — EDS ISIS, SamScan-4D) кроме: Li₂O (среднее из двух анализов методами ICP OES и пламенной фотометрии); F (потенциометрия); H₂O (CHN-анализ с хроматографическим окончанием, среднее из двух определений); 5 — «мокрая химия», аналитик А.В. Быкова (Дусматов и др., 1975); 6 — электронно-зондовый анализ; кроме того (данные ICP-MS, ppm): Zn 240, Sr 903, Cs 168, Ba 4410, Hf 294 (приведены значения > 100 ppm) (Sidike et al., 2010); 7 — электронно-зондовый анализ (Паутов и др., 2010); 8 — электронно-зондовый анализ (WDS); 9 — электронно-зондовый анализ, Li₂O — пламенная фотометрия; H₂O — гравиметрия; F — потенциометрия (Murakami et al., 1983); 10 — электронно-зондовый анализ, кроме того (данные ICP-MS, ppm): Zn 340, Sr 754, Ba 2570, Ta 187 (приведены значения > 100 ppm) (Sidike et al., 2010).

Таблица 7. Представительная выборка электронно-зондовых анализов (мас.%) баратовит-та и катаямалита Ходжа-Ачканского массива

Компо- нент	Баратовит							Катаямалит							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	51.75	52.08	50.85	50.72	50.93	52.00	50.83	51.48	51.80	51.47	51.77	51.32	51.79	51.48	51.76
TiO ₂	8.71	10.13	9.62	9.93	10.14	10.01	9.87	9.77	9.96	9.56	10.27	10.14	9.88	7.83	9.43
ZrO ₂	2.25	1.12	1.38	1.27	1.28	1.61	1.97	1.65	1.22	1.44	1.50	1.80	1.22	3.68	1.78
SnO ₂	1.01	0.00	0.64	0.85	0.71	0.72	0.00	0.13	0.74	0.13	0.67	0.74	0.76	0.87	1.29
Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.18	0.19	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Fe ₂ O ₃	0.60	0.44	0.36	0.22	0.23	0.60	0.39	0.43	0.39	0.43	0.76	0.73	0.35	0.44	0.41
CaO	26.73	28.54	27.86	27.78	27.58	28.09	27.73	27.15	28.13	27.16	28.25	27.91	28.12	26.73	26.85
MgO	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.15	0.00	0.20	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	3.17	2.83	3.20	2.90	2.85	2.95	2.95	3.03	3.14	3.06	2.96	3.13	3.14	3.07	3.03
Na ₂ O	0.15	0.38	0.23	0.26	0.27	0.33	0.31	0.21	0.19	0.19	0.21	0.29	0.20	0.23	0.14
Li ₂ O*	3.17	3.10	3.12	3.13	3.14	3.08	3.13	3.18	3.09	3.20	3.01	3.02	3.08	3.16	3.16
F	1.76	1.64	1.56	1.53	1.41	1.47	1.36	1.25	1.25	1.24	1.22	1.06	1.07	0.98	0.97
H ₂ O*	0.47	0.53	0.54	0.55	0.61	0.61	0.63	0.70	0.70	0.71	0.72	0.79	0.79	0.82	0.83
-O=F ₂	-0.74	-0.69	-0.66	-0.64	-0.59	-0.62	-0.57	-0.53	-0.53	-0.52	-0.51	-0.44	-0.45	-0.41	-0.41
Сумма	99.21	100.56	98.70	98.71	98.67	100.85	98.82	98.75	100.08	98.44	101.46	100.49	99.95	98.88	99.34

Количество атомов в формуле в расчете на Si + Al = 12 а.ф.

K ⁺¹	0.93	0.83	0.96	0.87	0.86	0.87	0.89	0.90	0.93	0.92	0.88	0.93	0.93	0.91	0.89
Na ⁺¹	0.07	0.17	0.11	0.12	0.12	0.15	0.14	0.09	0.09	0.09	0.09	0.13	0.09	0.10	0.06
Li ⁺¹	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Ca ⁺²	6.61	7.02	7.04	7.02	6.96	6.95	7.01	6.77	6.98	6.77	7.02	6.99	6.98	6.68	6.65
Mg ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn ⁺²	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti ⁺⁴	1.51	1.75	1.71	1.76	1.80	1.74	1.75	1.71	1.74	1.67	1.79	1.78	1.72	1.37	1.64
Zr ⁺⁴	0.25	0.13	0.16	0.15	0.15	0.18	0.23	0.19	0.14	0.16	0.17	0.21	0.14	0.42	0.20
Sn ⁺⁴	0.09	0.00	0.06	0.08	0.07	0.07	0.00	0.01	0.07	0.01	0.06	0.07	0.07	0.08	0.12
Nb ⁺⁵	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ⁺³	0.10	0.08	0.06	0.04	0.04	0.10	0.07	0.08	0.07	0.08	0.13	0.13	0.06	0.08	0.07
Al ⁺³	0.05	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Si ⁺⁴	11.95	11.95	12.00	11.97	12.00	12.00	12.00	11.98	12.00	11.98	12.00	12.00	12.00	12.00	11.97
F ⁻¹	1.29	1.19	1.16	1.14	1.05	1.07	1.02	0.92	0.92	0.91	0.89	1.22	1.22	0.72	0.71
OH ⁻¹	0.71	0.81	0.84	0.86	0.95	0.93	0.98	1.08	1.08	1.09	1.11	0.78	0.78	1.28	1.29
O ⁻²	35.43	35.92	36.02	36.08	36.09	36.04	36.13	35.75	35.99	35.64	36.4	36.4	36.02	35.54	35.63

Примечание. * – H₂O и Li₂O расчетные, исходя из (F + OH) = 2.00 а.ф., Li = 3.00 а.ф.

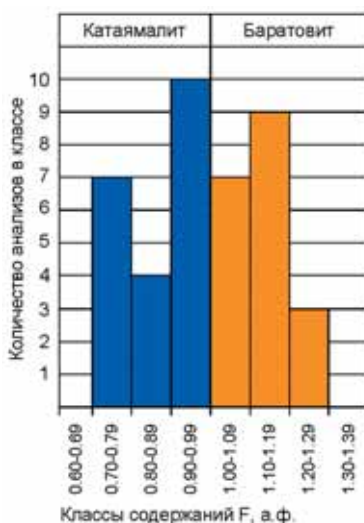
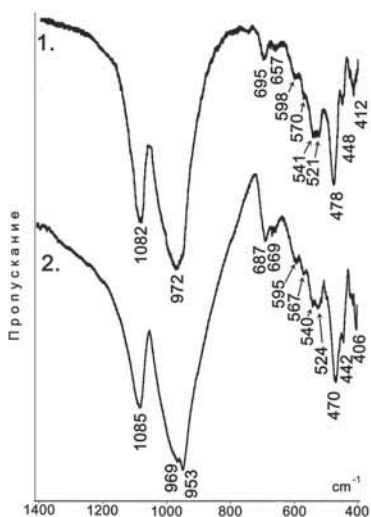


Рис. 9. ИК-спектры баратовита: 1 – Ходжа-Ачкан (условия съёмки – микро-таблетка с KBr, Specord-75IR); 2 – Дарай-Пиёз (условия съёмки – таблетка с KBr, ИК-Фурье спектрометр Avatar 370 FT-IR).

Рис. 10. Гистограмма распределения содержаний фтора в минералах ряда баратовит-катаямалит Ходжа-Ачканского массива (по данным 40 анализов).

анализ катаямалита, опубликованный Н. Мураками с соавторами (Murakami *et al.*, 1983). В других анализах приведены данные не для всех видообразующих компонентов (отсутствуют данные для одного или нескольких из следующих компонентов: Li, F, OH). Для баратовита наиболее полный анализ приведен в первом описании (Дусматов и др., 1975), который лучше рассчитывается на формулу $\text{KLi}_2\text{Ca}_8\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{37}\text{F}$, чем на формулу $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$, выведенную при структурном изучении минерала (Сандомирский и др., 1976; Menchetti, Sabelli, 1979). Однако, поскольку в первом анализе баратовита (Дусматов и др., 1975) не приведены данные о содержании воды, а количество фтора в нем (табл. 6, ан. 5), при пересчете на структурную формулу составляет $F = 0.79$ а.ф. (что менее половины позиции дополнительных анионов в структурной формуле), то это привело к дискуссии в литературе о правомерности выделения катаямалита как самостоятельного минерального вида. В. Баур и Д. Касснер (Baur, Kassner, 1992), пересмотрев результаты расшифровки структуры катаямалита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH})_2$, показали, что этот минерал, прежде описанный как триклинный (Kato, Murakami, 1985), в пределах экспериментальной ошибки хорошо может быть описан в моноклинной ячейке с пространственной группой $C2/c$, то есть такой же, как и у баратовита, а формула баратовита, учитывая недостаточное количество фтора по данным первого анализа, должна быть записана как $\text{KLi}_3\text{Ca}_7(\text{Ti},\text{Zr})_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH},\text{F})_2$ (Baur, Kassner, 1992). Катаямалит не всеми

авторами признается как самостоятельный минеральный вид. Для баратовита в справочной литературе приводятся формулы как $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ (Clark, 1993; Anthony *et al.*, 1995; Минералы, 1996; Кривовичев, 2008), так и $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2(\text{OH},\text{F})_2$ (Bask, Mandarino, 2008). Мы в настоящей работе под баратовитом понимаем фтордоминантный, а под катаямалитом – гидроксилдоминантный минерал. В связи с тем, что в литературе нам не удалось найти ни одного анализа баратовита, в котором одновременно были бы приведены содержания фтора и воды, нами, кроме электронно-зондового изучения минерала (в котором, наряду с другими компонентами, определялся и фтор), была принята попытка получения аналитических данных о составе минералов группы баратовита как с Ходжа-Ачкана, так и с Дарай-Пиёза, включающая прямое определение F, OH, Li другими аналитическими методами. Для этого из двух образцов крупнопластинчатого баратовита (один образец с Ходжа-Ачкана и один – с Дарай-Пиёза из мизритсодержащих кварц-альбит-эгириновых пород) были отделены наиболее чистые, свободные от видимых включений пластинки баратовита, раздроблены и очищены под бинокулярным микроскопом в коротковолновом ультрафиолетовом свете. Навески проб для определения Li и Rb методом ICP-OES составляли 40–50 мг, методом пламенной фотометрии – 20 мг, для определения F потенциометрическим методом – 20–30 мг, для определения воды методом элементного анализа с хроматографическим окончани-

Таблица 8. Межплоскостные расстояния баратовита из массива Ходжа-Ачкан

Фотометод		Диффракто- грамма		Расчетные значения				Фотометод		Диффракто- грамма		Расчетные значения					
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>		
		1	9.70	3	9.663	0	0	2	20	2.106	2	2.108	10	2.107	4	2	5
20	8.34	1	8.31	6	8.269	1	1	0			2	2.095	4	2.101	-2	4	5
		2	7.70	6	7.686	-2	0	2	10	2.091			2	2.083	6	2	2
30	7.04	2	7.03	13	7.024	-1	1	2	20	2.082			10	2.079	7	1	1
10	5.74	4	5.74	12	5.735	1	1	2	10	2.078			4	2.077	3	1	7
		2	5.19	3	5.185	2	0	2	10	2.070			3	2.071	-4	2	9
		1	5.08	4	5.069	-2	0	4	20	2.043			5	2.043	-5	3	7
		2	4.83	2	4.832	0	0	4	< 10	2.027			4	2.029	5	1	5
20	4.606	4	4.599	8	4.597	3	1	0	40	2.006			14	2.009	1	3	7
20	4.354	3	4.352	8	4.350	0	2	2	10ш	1.997			6	2.008	2	4	4
10	4.266			32	4.231	-4	0	2	20	1.981			14	1.985	-5	1	10
100	4.229	23	4.234	38	4.222	-2	2	1	10	1.943			12	1.944	4	2	6
10	4.169			8	4.166	3	1	1	10ш	1.932	3	1.932	3	1.943	-7	3	3
10	4.138	7	4.139	16	4.135	2	2	0	10ш	1.911			2	1.911	-4	2	8
		3	4.120	14	4.114	-2	2	2	20	1.883			4	1.888	-2	4	7
90	4.088	13	4.092	43	4.090	-3	1	4	30ш	1.872			6	1.863	7	1	3
80	3.889	16	3.889	43	3.885	0	2	3	20ш	1.855			7	1.853	1	3	8
30	3.852	7	3.849	1	3.852	-2	2	3	10	1.849			2	1.848	6	2	4
		1	3.810	9	3.846	1	1	4									
		1	3.810	1	3.810	-1	1	5	30	1.845			26	1.846	-9	1	4
100	3.696	29	3.697	81	3.695	3	1	2	40	1.842	8	1.841	15	1.842	-9	1	5
													26	1.840	-3	5	1
40	3.620	8	3.621	22	3.621	-3	1	5	10	1.838			26	1.839	-3	5	2
													24	1.838	-6	4	2
10	3.555	4	3.552	2	3.550	2	2	2	10	1.832			15	1.834	-9	1	3
													20	1.832	-6	4	4
10	3.513	3	3.519	4	3.512	-2	2	4	30ш	1.823			11	1.825	3	5	0
													4	1.822	-9	1	6
20	3.482	4	3.486	6	3.485	-2	0	6	< 10	1.795			5	1.822	-7	1	10
30	3.433	19	3.432	43	3.430	0	2	4	< 10	1.789			4	1.791	2	4	6
10	3.359	3	3.391						20	1.776			8	1.779	3	3	7
30	3.260	9	3.263	18	3.258	3	1	3	10ш	1.762			2	1.763	-1	5	5
40	3.224			12	3.221	4	0	2	10	1.748			2	1.749	8	2	1
100	3.222	100	3.223	100	3.221	0	0	6	10	1.742			1	1.749	-2	2	11
10	3.209			26	3.198	2	2	3	20	1.737	2	1.736	5	1.743	-3	5	5
90	3.193	47	3.194	94	3.192	-3	1	6	10	1.731			7	1.739	-9	1	8
20	3.167	6	3.167	8	3.161	-4	2	1	10	1.716			8	1.735	6	2	5
40	3.156			14	3.161	-2	2	5	40	1.712	2	1.713	9	1.731	6	4	1
20	3.147	11	3.149	23	3.147	-4	0	6	40	1.697			12	1.714	-6	4	7
10	3.139			2	3.143	-4	2	3	20	1.687			11	1.711	9	1	0
< 10	3.125	1	3.120	7	3.120	-5	1	1	10	1.683			8	1.697	3	5	3
30ш	3.098	25	3.095	35	3.099	1	3	1	10	1.679			6	1.686	-3	5	6
30ш	3.088			48	3.087	-5	1	4	10ш	1.672			4	1.682	-9	1	9
30	3.051	43	3.044	75	3.049	4	2	0	10ш	1.665			1	1.676	-2	4	9
30	3.030	2	2.999	57	3.028	0	2	5	10	1.636			2	1.674	6	4	2
10	2.980			5	2.978	5	1	0	20	1.629			5	1.667	4	2	8
90	2.953	11	2.953	99	2.953	1	3	2	20ш	1.608	1	1.615	11	1.640	-3	3	11
													8	1.629	6	2	6
													15	1.611	0	4	9

Таблица 8 (окончание)

Фотометод		Дифракто- грамма		Расчетные значения				Фотометод		Дифракто- грамма		Расчетные значения					
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
20	2.942			3	2.944	-1	3	3	10	1.603			2	1.604	8	2	3
80	2.932	9	2.932	92	2.932	-5	1	5	10	1.593			9	1.595	-6	2	12
80	2.882	14	2.883	78	2.882	4	2	1	10ш	1.588			2	1.589	-8	4	5
				51	2.880	3	1	4					3	1.589	-2	6	2
< 10	2.863			11	2.868	2	2	4	10ш	1.579			3	1.588	-1	3	11
10	2.837	3	2.833	7	2.834	-2	2	6	10	1.572			2	1.580	-5	1	13
													2	1.572	-2	6	3
10	2.807	2	2.807	10	2.809	-3	3	1	10	1.569			2	1.571	-8	4	6
		2	2.800	4	2.801	-6	0	2	10	1.558			1	1.571	3	5	5
													4	1.570	-9	3	1
20	2.795			13	2.794	5	1	1	10	1.551			3	1.560	-3	5	8
60	2.767	4	2.766	37	2.767	1	3	3	20	1.543			3	1.560	-10	2	2
20	2.757			18	2.756	-1	3	4	10	1.538			3	1.551	4	2	9
50	2.740	3	2.742	31	2.741	-5	1	6	10	1.531			1	1.550	1	5	7
40	2.686	3	2.688	19	2.687	4	2	2	30	1.523			6	1.544	6	4	4
10	2.655			3	2.655	3	3	1	10	1.515			5	1.544	-8	4	7
20	2.641	3	2.643	13	2.643	-4	2	6	30	1.510			7	1.539	0	6	4
10	2.618			2	2.607	6	0	0	20	1.496			8	1.531	6	2	7
30	2.592			4	2.593	4	0	4	10	1.487			4	1.524	-5	3	12
20	2.567			8	2.566	1	3	4	10	1.482			5	1.522	-6	4	10
10	2.552			7	2.555	-1	3	5	10	1.471			9	1.518	9	1	3
20	2.535			8	2.538	-5	1	7	10	1.463			5	1.512	-2	6	5
20	2.495			2	2.496	-3	3	5	20	1.419			8	1.512	-9	3	9
10	2.485			10	2.484	4	2	3	10	1.378			3	1.495	0	6	5
30	2.441			6	2.441	-4	2	7	10	1.370			7	1.488	9	3	1
< 10	2.431			5	2.428	-6	2	2	10	1.353			6	1.484	-1	3	12
													4	1.473	-4	6	5
40	2.412	5	2.416	13	2.416	0	4	1	10	1.349			1	1.472	-2	6	6
				17		0	0	8					4	1.465	7	1	7
10	2.398			7	2.392	5	1	3	10	1.342			4	1.421	-8	4	10
30	2.366			5	2.367	3	3	3	20	1.336			7	1.381	3	1	12
				14		1	3	5					6	1.380	0	0	14
10	2.354			5	2.353	-1	3	6	10	1.331			3	1.378	6	6	0
30	2.340			4	2.339	-7	1	4	20	1.326			3	1.371	-6	6	6
40	2.339	3	2.339	12	2.339	-5	1	8	10	1.315			6	1.354	-12	2	5
30ш	2.285	2	2.287	9	2.289	4	2	4	20ш	1.275			2	1.353	-9	5	4
20ш	2.181	2	2.182	9	2.184	-3	3	7	10ш	1.181			2	1.353	-5	3	14
< 10	2.153			9	2.154	-5	1	9	10ш	1.168			6	1.351	-3	7	1
< 10	2.141			2	2.145	-5	3	6	10ш	1.143			5	1.350	-3	7	2
													6	1.348	-9	5	3
													5	1.343	-9	5	6
													3	1.343	-3	7	
													1	1.181	0	8	4
													3	1.169	-2	8	5
													4	1.166	6	4	10
													6	1.145	7	7	2

Примечание. Фотометод: камера Гинье Huber 621 с кварцевым монохроматором; СиКа, излучение; внутренний стандарт – кварц, Дифрактограмма: ДРОН-2.0, СиКа излучение, Ni – фильтр, внутренний стандарт – кварц. Расчетная порошковая диаграмма: индексы и расчетные интенсивности – по www.giuff.info. Жирным шрифтом выделены линии, использованные для расчетов параметров ячейки (табл. 5).

ем — 2–7 мг (табл. 6, ан. 1, 4). В полученных анализах минерала с Ходжа-Ачкана фтор (а.ф.) несколько преобладает над гидроксилем, а в минерале с Дараи-Пиёза соотношение фтора к гидроксилу близко к 1:1. Эти анализы относятся к неизбежно усредненному материалу, что связано с тем, что в навеску попадают различные участки кристаллов, которые могут отличаться по соотношению компонентов. По локальным электронно-зондовым анализам содержания фтора в минералах группы баратовита из Ходжа-Ачканского и Дараи-Пиёзского массивов изменчивы и отвечают как гидроксил- так и фтордоминантным фазам. Гистограмма распределения содержаний фтора по результатам электронно-зондового анализа для минералов группы баратовита с Ходжа-Ачкана приведена на рисунке 10, из которого видно, что большая часть анализов принадлежит приблизительно середине ряда между баратовитом и катаямалитом.

Баратовит Ходжа-Ачкана, в отличие от катаямалита с Иваги, несколько более обогащён оловом и цирконием, что сближает его с баратовитом Дараи-Пиёза, который в еще большей степени концентрирует олово и цирконий вплоть до образования оловянного аналога баратовита — александровита и неназванного Zr-аналога баратовита (рис. 11; табл. 6, 7). Вхождение циркония в октаэдрическую позицию M2 баратовита связано, вероятно, с кристаллизацией минерала из высокощелочной среды. Как показывают экс-

периментальные работы, в этом случае более предпочтительным является вхождение циркония в структуры с заселением позиций с координацией [6] (например, в структуры пироксенов, амфиболов), чем образование собственных фаз с более высокой координацией [7] или [8] (Jones, Peckett, 1980; Linthout, 1984; Duggan, 1988, Farges *et al.*, 1994; Piilonen *et al.*, 1998). Вероятно, этим можно объяснить крайнюю редкость циркона в этих породах. Вопросы генетической кристаллохимии циркония подробно рассмотрены в ряде работ (Пятенко и др., 1999; Пеков, 2005). Вхождение олова в минералы группы баратовита, титанита, миларита, астрофиллита демонстрирует, что поведение олова в высокощелочных системах во многом подобно титану и цирконию.

Рентгеновские данные

В связи с тем, что опубликованные в литературе рентгеновские порошковые данные баратовита (Дусматов и др., 1975) и катаямалита (Murakami *et al.*, 1983) значительно беднее отражениями, чем расчетные порошковые диаграммы, нами была получена не только дифрактограмма (которая может быть осложнена в той или иной мере почти неизбежным текстурованием материала), но и порошковая фотометодом в камере Гинье (табл. 8). Дифрактограмма получена для материала с Ходжа-Ачкана, из которого отбирались навески для определения содержаний фтора, воды

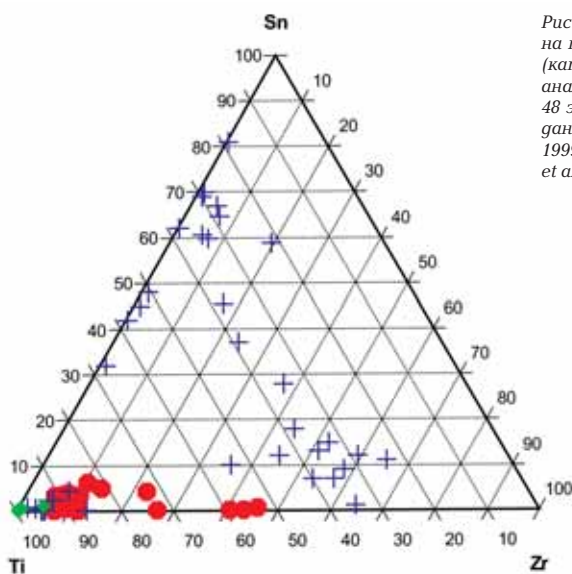


Рис. 11. Составы (мол. %) минералов группы баратовита на тройной диаграмме конечных членов: Ti — баратовит (катаямалит); Sn — александровит; Zr — циркониевый аналог баратовита: ● — Ходжа-Ачкан (по результатам 48 электронно-зондовых анализов); + — Дараи-Пиёз, наши данные и литературные (Дусматов и др., 1975; Reguir *et al.*, 1999); ◆ — Иваги, наши данные и литературные (Murakami *et al.*, 1983).

и редких щелочей. Материалом для порошкограммы методом Гинье послужил образец баратовита из мизерит-полевошпат-эгириновой породы (лаб. номер 11ХА_58). Параметры ячеек, рассчитанные для обеих порошкограмм, а так же для баратовита, катаямалита и александровита, взятые из литературных источников, приведены в таблице 5.

Выводы

(1) Найдены очень редкие минералы ряда баратовит — катаямалит в фенитовых породах Ходжа-Ачканского массива (Киргизия). Находка баратовита является, по всей вероятности, второй, а катаямалита — третьей находкой в мире.

(2) Для баратовита впервые выполнен химический анализ минерала, включающий определение Li_2O , H_2O , F. Приведены новые данные для минералов группы баратовита: получена более полная порошкограмма, измерена микротвердость минерала, которая оказалась 5–6 по Моосу, что выше приводимой в литературе.

(3) Баратовит и катаямалит, как на Дарай-Пиёзе, так и на Ходжа-Ачкане, встречаются в породах, которые могут быть отнесены к пироксен-полевошпатовым фенитам (Бардина, Попов, 1993). Они близки по набору и соотношению как породообразующих, так и акцессорных минералов. В этих породах присутствуют мизерит (с содержанием редких земель до 5.5 мас.% REE_2O_3), туркестанит, бацитрит, редкие боросиликаты — таджикит и стилуэлит-(Ce). Однако имеются и отличия между фенитами Ходжа-Ачкана и Дарай-Пиёза: первые несколько менее щелочные, и, возможно, более высокотемпературные, чем аналогичные породы на Дарай-Пиёзе. Клинопироксен из фенитов Ходжа-Ачканского массива беднее эгириновым компонентом фенитов Дарай-Пиёза, и особенно — сиенитов Иваги. В отличие от Дарай-Пиёза, в фенитах Ходжа-Ачкана присутствует гранат (андрадит). Из ториевых силикатов для Ходжа-Ачкана характерен бесщелочной эканит, а на Дарай-Пиёзе его место занимает щелочной туркестанит; важнейшим минералом редких земель является бритолит, отсутствующий в фенитах Дарай-Пиёза. Не исключено, что катаямалитсодержащие породы Иваги (Murakami *et al.*, 1983) являются не сиенитами, а высокощелочными фенитами, но для подтверждения этого мы не имеем достаточного количества фактического материала.

(4) Баратовит и катаямалит в мизеритсодержащих фенитах Дарай-Пиёза и Ходжа-Ачкана являются единственными минералами лития и важными концентраторами циркония и олова.

(5) Образование баратовитсодержащих пород как Ходжа-Ачкана, так и Дарай-Пиёза, в отличие от понимания Е. Регюр с соавторами (Reguir *et al.*, 1999), представляется нам не как уникальное сочетание нескольких одновременных процессов с разными источниками вещества, а как сложный процесс с единым источником фенитизирующих растворов. Возможно, что такими источниками являлись карбонатиты (Майоров, Гаврилин, 1971), либо сиенито-карбонатиты (Файзиев и др., 2010).

(6) Минерализация Дарай-Пиёза, которая ранее представлялась весьма уникальной, в той или иной мере повторяется в массивах матчайского комплекса (или может повториться для еще не изученных объектов). В настоящей работе это показано, в частности, на примере баратовитсодержащих фенитовых пород Ходжа-Ачканского массива.

Благодарности

Авторы благодарны за помощь в организации или за участие в полевых работах на Ходжа-Ачканском и Дарай-Пиёзском массивах П.В. Хворову, В.А. Муфтахову, Т.К. Беркелиеву, А.Р. Файзиеву, В.С. Гурскому, В.В. Смирнову, К.Э. Ибраеву, Р.У. Собировой, И.Н. Солодковой, Л.Л. Бережной; за обсуждения и ценные советы — Э.М. Спиридонову, И.В. Пекову, Ю.Д. Гриценко, П.М. Карташову, а также за предоставленный для изучения образец катаямалита из места первого описания (Иваги, Япония) — Котаро Ватанабе.

Литература

- Агаханов А.А., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю., Бекенова Г.К., Уварова Ю.А. Орловит $\text{KLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{11}\text{F}$ — новый минерал из группы слюд с Дарай-Пиёзского массива (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2011. Вып. 46. С. 13–19.
- Бардина Н.Ю., Попов В.С. Фениты: систематика, условия формирования и значение для корового магмаобразования // Зап. ВМО. 1994. Ч. 123. Вып. 6. С. 1–19.
- Вебер В.Н. Геологическая карта Средней Азии. Лист VII–6 (Исфара), северная половина // Тр. Всес. геол.-развед. объединения НКТП СССР. Выпуск 194. Л.-М.-

- Новосибирск: Госуд. Науч.-тех. горно-геолого-нефт. изд.-во. **1934**. 278 с.
- Геологическая карта Киргизской ССР. Масштаб 1:500000 / Под ред. С.А. Ингембердиева. Мин. геол. СССР; АН Кирг. ССР. **1980**.
- Геологическая карта Таджикской ССР и прилегающих территорий. Масштаб 1:500000 / Под ред. Н.Г. Власова и Ю.А. Дьякова. Мин. геол. СССР. **1984**.
- Гинзбург И.В., Семенов Е.И., Леонова Л.А., Сидоренко Г.А., Дусматов В.Д. Богатый щелочами кристаллический эканит Средней Азии // Тр. Минер. музея. АН СССР. **1965**. Вып. 16. С. 57–72.
- Горобец Б.С., Рогожин А.А. Спектры люминесценции минералов. Справочник. М.: ВИМС. **2001**. 312 с.
- Дорфман М.Д., Тимофеев В.Д. К петрографии щелочного массива Ходжаачкан // Тр. Петрографич. ин-та. **1939**. Вып. 14. С. 153–195.
- Дусматов В.Д. О первой находке стилвеллита в СССР // Докл. АН Тадж. ССР. **1964**. Т. 7. № 2. С. 33–34.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиез (Южный Тянь-Шань). Автореферат канд. диссертации. М.: ИМГРЭ. **1971**. 18 с.
- Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Семенов Е.И. Первые находки стилвеллита в СССР // Докл. АН СССР. **1963**. Т. 153. № 4. С. 913–915.
- Дусматов В.Д., Семенов Е.И., Хомяков А.П., Быкова А.В., Джафаров Н.Х. Баратовит – новый минерал // Зап. ВМО. **1975**. Ч. 104. Вып. 5. С. 580–582.
- Еникеева Л.Н., Помазков Я.К., Аккерманцев С.М. Мизерит из габброидов Ходжаачканского массива (Киргизия) // Зап. Узбекист. отд. ВМО. **1987**. Вып. 40. С. 64–66.
- Ефимов А.Ф., Дусматов В.Д., Алхазов Ю.А., Пуговкина З.Г., Казакова М.Е. Таджики – новый боросиликат редких земель из группы гелландита // Докл. АН СССР. **1970**. Т. 195. № 5. С. 1190–1193.
- Ильинский Г.А. Минералогия щелочных интрузий Туркестано-Алая. Л.: ЛГУ. **1970**. 166 с.
- Ифантопуло Т.Н. Минералого-геохимические особенности щелочных пород центрального Туркестано-Алая. М: Недра. **1975**. 129 с.
- Козлова П.С. Мизерит из Таласского Алатау // Тр. Минер. музея. АН СССР. **1962**. Вып. 13. С. 198–204.
- Конев А.А., Воробьев Е.И., Лазебник К.А. Минералогия Мурунского щелочного массива. Новосибирск: СО РАН. **1996**. 221 с.
- Кравченко С.М., Быкова А.В. Майзерит из Южной Якутии // Минералогия пегматитов и гидротермалитов щелочных массивов. М.: Наука. **1967**. С. 160–167.
- Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. СПб.: СПб. ун-т. **2008**. 556 с.
- Куприянова И.И., Васильева З.В. О редкоземельном мизерите // Геология месторождений редких элементов. **1961**. В. 9. Нов. данные по минералогии м-ний редких элементов. С. 139–148.
- Лазебник К.А., Лазебник Ю.Д. Редкие силикаты – мизерит, канасит и федорит в чароитовых породах // Минералогия и геохимия ультраосновных и базитовых пород Якутии. Якутск. **1981**. С. 32–50.
- Майоров И.П., Гаврилин Р.Д. Карбонатиты из верхнепалеозойской геосинклинали Туркестано-Алая // Сов. геология. **1971**. № 10. С. 111–116.
- Минералы. Справочник. Т. IV. Вып. 3. Силикаты. Дополнения к томам III и IV. М.: Наука. **1996**. 426 с.
- Москвин А.В. Щелочные породы верховьев р. Ходжа-Ачкан // Памир. эксп. 1930 г. Тр. эксп. Л.: АН СССР. **1932**. Вып. 4/14. С. 1–99.
- Москвин А.В., Сауков А.А. Щелочные породы с реки Джурь-сай в южной Фергане // ТПЭ 1928 г. Тр. эксп. Л.: АН СССР. **1931**. Вып. 7. С. 5–15.
- Ненахов В.М., Абакумова Л.Н., Кузнецов Л.В., Хрестенков П.А. Легенда интрузивного магматизма Памиро-Алая (объяснительная записка). Ош: Южно-Киргизская геол.-развед. экспед. **1987**. 395 с. (на правах рукописи).
- Омельяненко Б.И. Явления натрового метасоматоза в приконтактовых частях щелочных массивов верховьев р. Ходжаачкан // Тр. ИГЕМ АН СССР. **1958**. Вып. 21. С. 198–204.
- Омельяненко Б.И. Роль процессов ассимиляции и контаминации в формировании щелочного массива Ходжа-Ачкан (Средняя Азия) // Вопросы магматизма Средней Азии, Кавказа и Казахстана. Сб. тр. ИГЕМ АН СССР. **1960**. Вып. 27. С. 39–55.
- Омельяненко Б.И. Инфильтрационная метасоматическая зональность в послемагматических образованиях щелочных интрузий верховьев р. Ходжа-Ачкан // Физико-хим. пробл. формир. горн. пород и руд. М.: Наука. **1961**. С. 525–545.
- Омельяненко Б.И., Сиротинина Н.А. Акцессорные минералы в щелочных породах верховьев р. Ходжа-Ачкан // Матер. по геологии рудных месторождений, петро-

- графии, минералогии и геохимии. **1959**. М.: АН СССР. С. 414–422.
- Паутов Л.А., Агаханов А.А., Карпенко В.Ю., Гафуров Ф.Г. Александровит $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ – новый оловянный минерал // Новые данные о минералах. **2010**. Вып. 45. С. 5–16.
- Паутов Л.А., Агаханов А.А., Соколова Е.В., Кабалов Ю.К. Туркестанит – новый минерал $\text{Th}(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{K}_{1-x})\text{Si}_8\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ со сдвоенными четверными кремний-кислородными кольцами // Зап. ВМО. **1997**. Ч. 126. Вып. 6. С. 45–55.
- Паутов Л.А., Хворов П.В. Бацитрит из Таджикистана // Зап. ВМО. **1998**. Ч. 127. № 1. С. 80–83.
- Пеков И.В. Генетическая минералогия и кристаллохимия редких элементов в высокощелочных постмагматических системах. Дисс. на соиск. уч. степ. докт. геол.-минер. наук. М.: МГУ. **2005**. 652 с.
- Перчук Л.Л. Физико-химическая петрология гранитоидных и щелочных интрузий Центрального Туркестано-Алая. М.: Наука. **1964**. 244 с.
- Перчук Л.Л., Омельяненко Б.И., Шинкарев Н.Ф. Фазы и фаши щелочных интрузивов бассейна р. Ходжаачкан (Алайский хребет) в связи с вопросами их генезиса // Изв. АН СССР. Сер. геол. **1961**. № 12. С. 13–23.
- Поваренных А.С. Инфракрасные спектры кольцевых силикатов // Минер. журн. **1979**. Т. 1. № 2. С. 3–18.
- Пятенко Ю.А., Курова Т.А., Черницова Н.М., Пуговкина З.В., Блинов В.А., Максимова Н.В. Ниобий, тантал и цирконий в минералах. М.: ИМГРЭ. **1999**. 213 с.
- Рождественская И.В., Евдокимов М.Д. Уточнение кристаллической структур майзерита $(\text{K}_{1.29}\square_{0.21})[\text{Ca}_{5.5}\text{M}^{3+}_{0.49}](\text{Si}_6(\text{O},\text{OH})_{15}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{F},\text{OH})_2 \bullet 0.25\text{H}_2\text{O})$ (M = Y, TR, Fe, Ti, Mn, Mg, Na) из месторождения Дара-и-Пиёз, Памир, Таджикистан // Докл. АН. **2006**. Т. 406. № 2. С. 236–240.
- Рыжев Б.И., Молева В.А. Находка мизерита в СССР // Докл. АН СССР. **1960**. Т. 131. № 6. С. 1420–1422.
- Сандомирский П.А., Симонов М.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура баратовита $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]_2\text{F}_2$ // Докл. АН СССР. **1976**. Т. 231. С. 615–618.
- Семенов Е.И., Дусматов В.Д. Агреллит – первая находка в СССР // Минералогия Таджикистана. **1989**. Вып. 8. С. 3–6.
- Семенов Е.И., Дусматов В.Д., Хомяков А.П. О редкоземельном мизерите // Минералогические исследования. М.: ИМГРЭ **1973**. Вып. 3. С. 42–45.
- Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии. Фрунзе: Илим. **1982**. Кн. 2. 245 с.
- Ульянов Т.П., Ильинский Г.А. Новые данные о мизерите Ходжаачкана (Алайский хребет) // Минералогия и геохимия. Л.: ЛГУ. **1964**. Вып. 1. С. 40–45.
- Царева Г.М., Карташов П.М., Дубровинский Л.С., Коваленко В.И. О гиттинсита из редкоземельных щелочных гранитов Западной Монголии // Докл. АН. Геология. **1993**. Т. 331. № 1. С. 82–86.
- Черницова Н.М., Пуговкина З.В., Пятенко Ю.А. О кристаллической структуре таджикита $(\text{Ca},\text{TR})_4(\text{Y},\text{TR})_2(\text{Ti},\text{Fe},\text{Al})(\text{O},\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{B}_4\text{O}_{22}]$ // Докл. АН СССР. **1982**. Т. 264. № 2. С. 342–344.
- Шинкарев Н.Ф. Верхнепалеозойский магматизм Туркестано-Алая. Л.: ЛГУ. **1966**. 155 с.
- Файзиев А.Р., Гафуров Ф.Г., Шарипов Б.Н. Карбонатиты Дараи-Пиезского массива щелочных пород (Центральный Таджикистан) и особенности их состава // Геохимия. **2010**. № 11. С. 1154–1168.
- Ansell H.G., Roberts A.C., Plant A.G., Sturman B.D. Gittinsite, a new calcium zirconium silicate from the Kipawa agpaitic syenite complex, Quebec // Canad. Mineral. **1980**. Vol. 18. N 2. P. 201–203.
- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. Handbook of Mineralogy. Vol. II. Silica, Silicates. Part 1-2. Tucson: Mineral Data Publishing. **1995**. 904 p.
- Back M.E., Mandarino J.F. Fleisher's Glossary of mineral species 2008. Tucson: The Mineralogical Record Inc. **2008**. 345 p.
- Baur W.H., Kassner D. Katayamalite and baratovite are structurally identical // Eur. J. Mineral. **1992**. Vol. 4. P. 839–841.
- Belakowski D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans // Lapis. **1991**. 16. № 12. 42–48 (на нем. яз.).
- Berry L. G., Lin H.-c., Davis G. C. A new occurrence of miserite from the Kipawa Lake area, Temiscamingue Co., Quebec // Canad. Mineral. **1971**. Vol. 11. N 2. P. 569.
- Clark A.M. Hey's mineral index. London: Chapman and Hall. **1993**. 852 p.
- Dawson J.B., Hill P.G. Mineral chemistry of a peralkaline combeite lamprophyllite nephelinite from Oldoinyo Lengai, Tanzania // Mineral. Magaz. **1998**. Vol. 62. N 2. P. 179–196.
- Duggan M.B. Zirconium-rich sodic pyroxenes in felsic volcanics from the Warrumbungle Volcano, Central New South Wales, Australia // Mineral. Magaz. **1988**. Vol. 52. P. 491–496.
- Farges F., Brown G.E., Velde D. Structural environment of Zr in two inosilicates from Came-

- roon: mineralogical and geochemical implications // *Amer. Mineral.* **1994**. Vol. 79. N 9–10. P. 838–847.
- Hawthorne F.C., Cooper M.A., Taylor M.C.* Refinement of the crystal structure of tadzhikite // *Canad. Mineral.* **1998**. Vol. 36. N. 2. P. 817–822.
- Jones A.P., Peckett A.* Zirconium-bearing aegirines from Motzfeldt, South Greenland // *Contrib. Mineral. Petrol.* **1980**. Vol. 75. P. 251–255.
- Kato T., Murakami N.* The crystal structure of kataymalite // *Mineral. Journ.* **1985**. Vol. 12. N 5. P. 206–217.
- Linthout K.* Alkali-zirconosilicates in peralkaline rocks // *Contrib. Miner. Petrol.* **1984**. Vol. 86. N 2. P. 155–158.
- Marks M., Vennemann T., Siebel W., Markl G.* Quantification of magmatic and hydrothermal processes in a peralkaline syenite – alkali granite complex based on textures, phase equilibria, and stable and radiogenic isotopes // *Journ. Petrol.* **2003**. Vol. 44. P. 1247–1280.
- Menchetti S., Sabelli C.* The crystal structure of baratovite // *Amer. Mineral.* **1979**. Vol. 64. N 3–4. P. 383–389.
- Murakami N., Kato T., Hirowatari F.* Kataymalite, a new Ca-Li-Ti silicate mineral from Iwagi Islet, Southwest Japan // *Mineral. Journ.* **1983**. Vol. 11. N 6. P. 261–268.
- Murakami N.* Sugilite, a new silicate mineral from Iwagi Islet, Southwest Japan // *Mineral. Journ.* **1976**. Vol. 8. N 2. P. 110–121.
- Oberti R., Ottolini L., Camara F., Della Ventura G.* Crystal structure of non-metamict Th-rich hellandite-(Ce) from Latium (Italy) and crystal chemistry of the hellandite-group minerals // *Amer. Mineral.* **1999**. Vol. 84. N 5–6. P. 913–921.
- Oberti R., Ventura G.D., Ottolini L., Hawthorne F.C., Bonazzi P.* Re-definition, nomenclature, and crystal-chemistry of the hellandite group // *Amer. Mineral.* **2002**. Vol. 87. N 5–6. P. 745–752.
- Pekov I.V., Pasero M., Yaskovskaya A.N., Chukanov N.V., Pushcharovsky D.Yu., Merlino S., Zubkova N.V., Kononkova N.N., Men'shikov Y.P., Zadov A.E.* Fluorcalciobriholite, $(Ca,REE)_5[(Si,P)O_4]_3F$, a new mineral: description and crystal chemistry // *Eur. J. Mineral.* **2007**. Vol. 19. N 1–2. P. 95–103.
- Piilonen P.C., McDonald A.M., Lalonde A.E.* The crystal chemistry of aegirine from Mont Saint-Hilaire, Quebec // *Canad. Mineral.* **1998**. Vol. 36. N 3. P. 779–791.
- 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. N 6. P. 1369–1384.
- Scott J.D.* Crystal structure of miserite, a Zoltai type 5 structure // *Canad. Mineral.* **1976**. Vol. 14. P. 515–528.
- Schaller W.T.* Miserite from Arkansas; a renaming of natroxonotlite // *Amer. Mineral.* **1950**. Vol. 35. N 9–10. P. 911–921.
- Sidike A., Kobayashi S., Zhu H.-J., Kusachi I., Yamashita N.* Photoluminescence of baratovite and kataymalite // *Phys. and Chem. Miner.* **2010**. Vol. 37. Issue 10. P. 705–710.