

УДК 549.623.5

ОРЛОВИТ $\text{KLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{10}(\text{OF})$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ГРУППЫ СЛЮД¹

А.А. Агаханов

УРАН Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, atali99@mail.ru

Л. А. Паутов

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

В.Ю. Карпенко

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

Г.К. Бекенова

Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева МО и НРК, Алма-Ата, bekenova@mail.ru

Ю.А. Уварова

Факультет наук о земле и инженерной геологии, Университет Кингстон, Канага, uvar_jyli@mail.ru

Орловит – новый минерал из группы слюд – титановый аналог полилитионита. Встречен в существенно кварцевых породах в ассоциации с пектолитом, баратовитом, файзиевитом, эгирином, полилитионитом, лейкофенитом, флюоритом и другими минералами на морене ледника Дарай-Пиёз (Таджикистан). Минерал бесцветный, блеск стеклянный до перламутрового, образует чешуйчатые выделения размером до 2 мм. Спайность весьма совершенная по (001). Твердость по Моосу – 2–3. $D_{\text{изм.}} = 2.91(2)$ г/см³, $D_{\text{выч.}} = 2.914$ г/см³. Оптически отрицательный, двусный, $n_p = 1.600(2)$, $n_m = 1.620(2)$, $n_g = 1.625(2)$, $2V_{\text{изм.}} = -52(2)^\circ$, $2V_{\text{выч.}} = -52.6^\circ$. Сингония моноклиная, пр. гр. $C2$, $a = 5.199(3)\text{Å}$; $b = 9.068(7)\text{Å}$; $c = 10.070(4)\text{Å}$; $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 99.35(2)^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, $V = 468.4(4)\text{Å}^3$, $Z = 2$. Главные линии рентгеновской порошкограммы [$(d, \text{Å})$, $(I, \%)$, (hkl)]: 9.96 (40) (001), 4.48 (67) (002), 3.87 (40) (111), 3.33 (100) (-121), 2.860 (35) (-113), 2.600 (28) (130), 2.570 (30) (-131), 2.400 (31) (014), 1.507 (20) (-206). ИК-спектр (сильные линии поглощения) 3600, 1130, 1087, 985, 961, 878, 776, 721, 669, 613, 567, 530, 512, 458, 405 см⁻¹. Химический состав (микрозонд, Li_2O , Rb_2O – ICP OES, H_2O – SIMS, мас. %): SiO_2 – 58.31, TiO_2 – 18.05, Nb_2O_5 – 0.50, Al_2O_3 – 0.22, FeO – 0.40, MnO – 0.03, K_2O – 11.13, Cs_2O – 0.24, Li_2O – 7.25, Rb_2O – 0.69, H_2O – 0.21, F – 4.35, $-\text{O}=\text{F}_2$ – -1.83, сумма – 99.55.

Эмпирическая формула $(\text{K}_{0.97}\text{Rb}_{0.03}\text{Cs}_{0.01})_{1.01}\text{Li}_{2.00}(\text{Ti}_{0.93}\text{Nb}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Al}_{0.02})_{0.99}\text{Si}_4\text{O}_{11.04}(\text{F}_{0.94}\text{OH}_{0.10})_{1.04}$. Упрощенная формула $\text{KLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{10}(\text{OF})$. Минерал назван в честь доктора геолого-минералогических наук Юрия Леонидовича Орлова (1926–1980), известного российского минералога, директора Минералогического музея А.Е. Ферсмана с 1976 по 1980 гг., специалиста в области минералогии алмаза, драгоценных камней, автора более чем 50 работ, включая классические монографии «Минералогия алмаза», «Морфология алмаза».

В статье 4 таблицы, 3 рисунка, список литературы из 25 названий.

Ключевые слова: орловит, титановая слюда, новый минерал, Дарай-Пиёз, Таджикистан, щелочные породы.

Место находки и ассоциация

Орловит обнаружен в образцах пород Верхнего Дарай-Пиёзского щелочного массива, собранных на морене ледника Дарай-Пиёз (Гармский район, Центральный Таджикистан). Первые сведения о геологическом строении района, петрографии и минералогии массива приведены А.В. Москвиным (1937). Наиболее полный на настоящее время комплекс работ по Дарай-Пиёзскому массиву, включая геологическую съемку в масштабе 1:25000, изучение минералогии и геохимии пород массива, геохронологические исследования был проведен в 1960–2004 гг. В.Д. Дусматовым (Дусматов, 1968; 1969; 1970; 1971). Щелочной массив Дарай-Пиёз труднодоступен, центральная часть с севера на юг рассечена ледником, из-за чего подход к коренным обнажениям местами невозможен; кроме того, сам массив в большей своей части обнажается в виде отвесных скал лед-

никовой троговой долины. По этой причине основная часть наблюдений по минералогии и петрографии массива выполнена на глыбах пород в моренном материале ледника Дарай-Пиёз.

Одной из характерных черт Дарай-Пиёзского щелочного массива является видовое разнообразие минералов группы слюд, которое представлено мусковитом, аннитом, тайниолитом, полилитионитом (Ганзеев и др., 1976; Владыкин и др., 1995; Владыкин, Дусматов, 1996), соколоваитом (Паутов и др., 2006) и орловитом. Кроме этого, авторами в щелочных пегматитах Дарай-Пиёза обнаружены еще три тетракремниевые литий-цезиевые слюды – потенциально новые минералы, находящиеся в настоящее время в стадии изучения. Это цезиевый аналог орловита $\text{CsLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{10}(\text{OF})$, цезиевый аналог тайниолита $\text{CsLiMg}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ и железистый аналог соколоваита $\text{CsLiFe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$. Орловит является титановым аналогом полилитионита, это первая

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 2 апреля 2009 г.

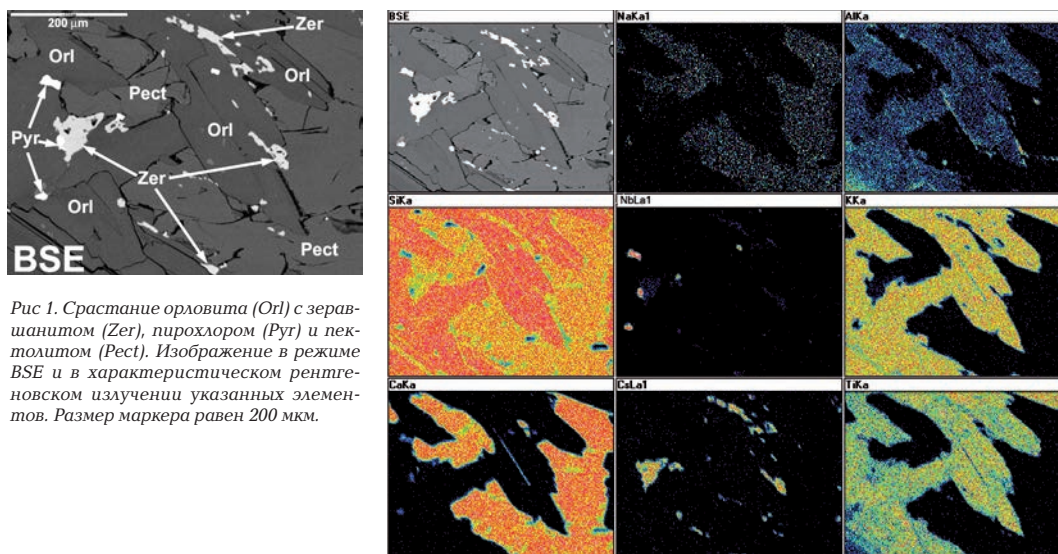


Рис 1. Срастание орловита (Ori) с зеравшанитом (Zer), пирохлором (Pyr) и пектолитом (Pect). Изображение в режиме BSE и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов. Размер маркера равен 200 мкм.

чисто титановая слюда из большого семейства группы слюд. Высокотитановые слюды (от 3 до 14 мас.% TiO_2) ряда флогопит-аннит из щелочных базальтов и некоторых типов метаморфических пород отмечены многочисленными исследователями (Rosenbusch, 1910; Freudenberg, 1920; Prider, 1939; Ушакова, 1971; Mansker *et al.*, 1979; Думек, 1983; Рябчиков и др., 1981; Коваль и др., 1988; Cruciani, Zanazzi, 1994; Shaw, Penczak, 1996; Greenwood, 1998; Ibihi *et al.*, 2005; Чуканов и др., 2008; 2010). Все они, в отличие от орловита, являются титаносодержащими слюдами, а не собственно титановыми.

Орловит найден в породе, в основном состоящей из кварца (до 80%) с целым рядом редких акцессорных минералов. Нами были встречены более трех десятков глыб, фрагментов данной породы, от 0.2 до 2 м в поперечнике, с разной степенью окатанности. Все находки были сделаны в мореных отложениях ледника, в коренном залегании эта порода не найдена. К большому сожалению, в найденных глыбах описываемая порода не имела контактов с какой-либо другой породой. Эта порода сложена средне- крупнозернистым агрегатом кварца льдистого облика. Облик этих силекситовых пород очень характерный из-за присутствия в них хаотично расположенных идиоморфных с блестящими гранями черных кристаллов эгирина, крупных фиолетово-розовых пластин согдианита, красно-коричневых полупрозрачных чечевицеобразных кристаллов стиллуэллита-(Ce), плохо образованных кристаллов палево-розового ридмерджерита, зеленых длиннопризматических кристаллов туркеста-

нита и крупных кристаллов полилитионита. Кроме этого, в ней встречены галенит, кальцит, нептунит, сугилит, пирохлор, минералы группы эвдиалита, таджикит, баратовит, самородный висмут, сфалерит, флюорит, фторапатит, фторапофиллит, соколоваит, капицаит-(Y), пековит, зеравшанит и файзиевит. Характерной особенностью этой существенно кварцевой породы является нахождение в ней бурых полиминеральных агрегатов (размером до 25 см), состоящих из зерен пектолита, кварца, флюорита, эгирина, полилитионита и других. Именно с этими полиминеральными агрегатами связаны находки орловита. Выделения нового минерала в основном встречаются в срастании с пектолитом, кварцем, баратовитом, нептунитом, лейкосфенитом, зеравшанитом, файзиевитом и пирохлором (рис. 1). Орловит образует пластинчатые, бесцветные зерна размером до 2 мм.

Физические свойства

Орловит — минерал бесцветный, в агрегатах — белый. По внешнему виду практически не отличим от полилитионита. В коротковолновом ультрафиолетовом свете люминесцирует ярким желтым светом, в длиноволновом ультрафиолетовом свете не люминесцирует. Черта белая. Блеск стеклянный до перламутрового. Спайность весьма совершенная по (001). Листочки минерала гибкие. Твердость по Моосу 2–3. Твердость микровдавливания 94 кгс/мм^2 (среднее значение по 15 измерениям при разбросе единичных замеров от 87 до 106 кгс/мм^2). Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г, градуиро-

ванном по NaCl. Плотность минерала определялась уравновешиванием зерен в растворе Клеричи. Измеренная плотность минерала — $2.91(2)$ г/см³, вычисленная — 2.914 г/см³. Минерал оптически отрицательный, двуосный, $2V_{\text{изм.}} = -52.5(2)^\circ$, $2V_{\text{выч.}} = -52.6^\circ$. Показатели преломления минерала измерены иммерсионным методом (при 589 нм): $n_p = 1.600(2)$, $n_m = 1.620(2)$, $n_g = 1.625(2)$. Дисперсия слабая $r < v$. Инфракрасный спектр орловита, полученный на ИК-фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet), имеет следующие полосы поглощения: 3600, 1130, 1087, 985, 961, 878, 776, 721, 669, 613, 567, 530, 512, 458, 405 см⁻¹. Инфракрасный спектр орловита весьма близок к ИК-спектру полилитийонита (рис. 2).

Химический состав

Химический состав орловита изучался на электронном микроскопе JCXA-50A фирмы JEOL, методами ICP OES и SIMS (табл. 1). Анализы на электронном микроанализаторе про-

водились при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 2 нА при работе на энергодисперсионном спектрометре и ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 25 нА на волновых спектрометрах. На энергодисперсионном спектрометре анализировались Si, Ti, Nb, Al, Fe, Mn, Cs, K; на волновом спектрометре измерялся F. В качестве стандартов использовались микроклин USNM143966 (Si, Al, K), ильменит USNM 96189 (Ti, Fe), синтетический LiNbO_3 (Nb), металлический марганец (Mn), синтетический $\text{CsTbP}_4\text{O}_{12}$ (Cs), MgF_2 (F). Зерна нового минерала гомогенны и свободны от вростков других минералов. Расчет концентрации проводился по программе ZAF-коррекции. Концентрации Li, Rb в минерале были получены методом ICP OES. Проба минерала разлагалась в полипропиленовом флаконе в концентрированной HF с добавлением HNO_3 и упаривалась до влажных солей. Далее к пробе добавлялась HNO_3 и раствор упаривался до сухого остатка для полного удаления всех фторидов. Полученный сухой

Таблица 1. Химический состав орловита (мас.%)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Средний
Al_2O_3	0.09	0.28	0.18	0.44	0.08	0.30	0.15	0.46	0.07	0.13	0.22
SiO_2	57.98	58.40	59.34	57.56	57.66	58.88	58.32	57.95	58.56	58.42	58.31
K_2O	10.87	11.24	10.99	11.45	11.35	11.01	10.97	10.99	11.13	11.26	11.13
TiO_2	18.03	17.70	18.01	17.56	18.54	18.15	18.11	17.78	18.27	18.09	18.05
Nb_2O_5	0.30	0.38	0.58	0.69	0.41	0.61	0.55	0.35	0.53	0.63	0.50
FeO	0.28	0.34	0.48	0.25	0.55	0.46	0.39	0.50	0.26	0.44	0.40
MnO	0.04	0.00	0.06	0.03	0.01	0.04	0.07	0.01	0.05	0.03	0.03
Cs_2O	0.22	0.34	0.39	0.11	0.19	0.09	0.29	0.40	0.31	0.02	0.24
Rb_2O^*	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
Li_2O^*	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
F	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
H_2O	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Сумма	100.58	101.18	102.53	100.59	101.29	102.04	101.35	100.94	101.68	101.52	101.38
-O=F	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83
Сумма	98.75	99.35	100.70	98.76	99.46	100.21	99.52	99.11	99.85	99.69	99.55
Расчет формулы на 4 катиона Si											
Al	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02
Si	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
K	0.96	0.98	0.95	1.02	1.00	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.97
Ti	0.95	0.91	0.91	0.92	0.97	0.93	0.93	0.92	0.94	0.93	0.93
Nb	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
Fe^{+2}	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Rb	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Li	2.01	2.00	1.97	2.03	2.02	1.98	2.00	2.01	1.99	2.00	2.00
F	0.95	0.94	0.93	0.96	0.95	0.93	0.94	0.95	0.94	0.94	0.94
H	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Примечание: * — данные получены методом ICP OES. Аналитики А.А. Агаханов, Л.А. Паутов.

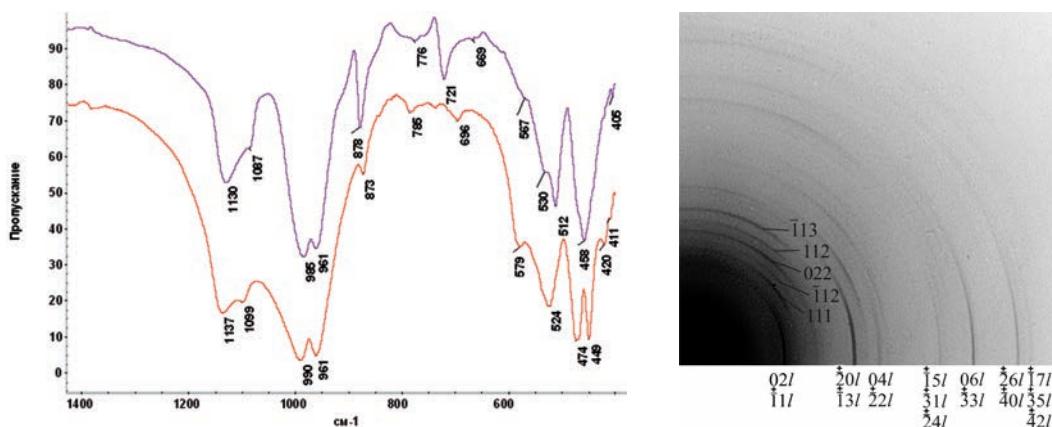


Рис. 2. ИК-спектры: верхний – орловита, нижний – полититаниита (Дараи-Пиёз). Препараты – таблетки минерала с КВг. Спектры получены на ИК-фурье спектрометре Avatar (Thermo Nicolet). Аналитик А.А. Агаханов.

Рис. 3. Фрагмент электронограммы от косой текстуры орловита (угол наклона препарата 60°).

остаток разводился в 2% HNO_3 и раствор анализировался на приборе ICP OES VISTA Pro фирмы Varian. Методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ионного зонда) в орловите определена вода. Анализ проводился на вторично-ионном микроскопе Cameca IMS-4F в Институте микроэлектроники и информатики РАН. Методика измерений в основном соответствовала методике, приведенной в работе В.К. Смирнова и соавторов (Smirnov *et al.*, 1995). При анализе использовался пучок первичных ионов O_2^+ , абсолютные концентрации каждого элемента вычислялись из отношений интенсивностей ионных токов элемент $^{30}\text{Si}^+$ с использованием калибровочных констант. Минерал пересчитывается при $\text{Si} = 4$ на эмпирическую формулу $(\text{K}_{0.97}\text{Rb}_{0.03}\text{Cs}_{0.01})_{1.01}\text{Li}_{2.00}(\text{Ti}_{0.93}\text{Nb}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Al}_{0.02})_{0.99}\text{Si}_4\text{O}_{11.04}(\text{F}_{0.94}\text{OH}_{0.10})_{1.04}$. Упрощенная формула орловита $\text{KLi}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{11}\text{F}$. Индекс сходимости свойств $(1-K_p/K_c) = 0.121$, что соответствует (poor) – плохой. Вероятно, на величину индекса сходимости оказывает сильное влияние различная степень искаженности Ti-O полиэдров в разных минералах. К примеру, такая проблема при расчете индекса сходимости свойств существует и для слоистых титаносиликатов из группы лампрофилита, у которых $(1-K_p/K_c)$ также оказывается плохим.

Рентгеновские данные

Изучить новый минерал методами монокристаллической рентгеновской съемки не удалось из-за того, что не получилось выделить недеформированный монокристалл. Рентгеновская порошкограмма орловита (табл. 2) была получена на приборе ДРОН-2 на $\text{CuK}\alpha$ -

излучении. Для устранения возможного текстурирования препарата орловита при съемке на дифрактометре была снята дебаеграмма в камере РКУ-114М на $\text{FeK}\alpha$ -излучении. В качестве внутреннего стандарта применялся кварц. Порошкограмма минерала индивидуальна и хорошо индицируется в параметрах моноклинной ячейки, пр. группа $C2$, $a = 5.199(3)$; $b = 9.068(7)$; $c = 10.070(4)\text{Å}$, $\beta = 99.35(4)^\circ$, $V = 468.4(4)$, $Z = 2$. По параметрам элементарных ячеек орловит и полититаниит весьма близки.

Дифракционное изучение орловита проводилось также методом электронной электронографии на электронографе ЭМР-100М, при ускоряющем напряжении 100 кВ. Электронограммы от косой текстуры (ЭКТ) поликристаллического препарата получены при углах наклона 60–63°.

Чёткие дужки рефлексов на ЭКТ указывают на высокую степень совершенства кристаллической структуры (рис. 3). Геометрия расположения рефлексов на втором эллипсе и их интенсивность подтверждают 2:1-слойную структуру слюды. Интенсивность рефлекса на малой эллиптической оси 6-го эллипса значительно выше, чем таковая рефлекса 7-го эллипса, что характерно для триоктаэдрических слоистых силикатов.

По геометрии расположения рефлексов на первом эллипсе политипная модификация орловита – 1М(3Т). Следует отметить нехарактерные для политипной модификации 1М(3Т) интенсивности рефлексов данного эллипса. Рассчитанные параметры элементарной ячейки (табл. 3) и: $a = 5.21(1)$; $b = 9.026(3)$; $c = 10.05(1)\text{Å}$; $\beta = 99.6(1)^\circ$; $V = 466(2)\text{Å}^3$. Пространственная группа: $C2$.

Таблица 2. Результаты расчета рентгенограммы орловита

Дебаеграмма		Диффрактограмма		Вычисленная	
<i>I</i>	<i>d</i> _{изм.}	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм.}	<i>d</i> _{выч.}	<i>hkl</i>
2	9.92	40	9.96	9.936	001
2	4.95	12	4.98	4.968	002
7	4.48	67	4.48	4.465	110
		8	4.32	4.307	-111
4	3.87	40	3.87	3.873	111
10	3.33	100	3.33	3.326	-121
2	3.12	12	3.12	3.114	112
				3.111	013
4	2.86	35	2.860	2.861	-113
1	2.67	2	2.669	2.674	023
3	2.60	28	2.600	2.604	130
3	2.57	30	2.570	2.572	-131
				2.565	200
2	2.50	16	2.489	2.484	004
				2.497	113
3	2.40	31	2.400	2.396	014
				2.391	201
				2.389	-132
2	2.136	16	2.137	2.135	-133
				2.142	202
1	2.070	4	2,083	2,084	212
				2,062	042
2	1,993	16	1,990	1,987	005
		3	1,732	1,733	-301
				1,728	134
				1,727	115
2	1,654	17	1,654	1,655	204
				1,656	006
				1,647	-135
1	1,557	8	1,557	1,557	242
				1,556	026
				1,555	224
2	1,507	20	1,507	1,507	-206
				1,503	-331
1	1,348	9	1,348	1,349	-236
				1,551	-136
				1,551	-325
2	1,300	15	1,300	1,301	117
				1,298	206

Примечание: фотометод – РКД-114, Fe-анод, Mn-фильтр, УРС-50ИМ, Дифрактометр ДРОН-2, Fe-анод, графитовый монохроматор, скорость счетчика 1 град/мин., внутренний стандарт кварц. Аналитик А.А. Агаханов.

Таблица 3. Результаты расчета электронограммы от косой текстуры орловита

№	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм.} , Å	<i>hkl</i>	<i>d</i> _{выч.} , Å
1 ЭЛЛИПС				
1	8	4.461*	110	4.465
2	2	4.302*	$\bar{1}11$	4.311
3	7	3.863*	111	3.866
4	4	3.593*	$\bar{1}12$	3.585
5	8	3.343*	022	3.336
6	5	3.096*	112	3.101
7	8	2.860*	$\bar{1}13$	2.861
8	2	2.663*	023	2.665
9	3	2.492*	113	2.489
10	1	2.304	$\bar{1}14$	2.313
2 ЭЛЛИПС				
11	10	2.592	130	2.596
			$\bar{2}01$	2.594
12	9	2.569	200	2.569
			$\bar{1}31$	2.565
13	8	2.382	201	2.391
			$\bar{1}32$	2.384
14	6	2.140	202	2.139
			$\bar{1}33$	2.130
15	2	1.966	133	1.962
			$\bar{2}04$	1.953
16	1	1.732	134	1.721
			$\bar{2}05$	1.713
17	6	1.647	204	1.651
			$\bar{1}35$	1.644
18	4	1.513	135	1.515
			$\bar{2}06$	1.508
19	6	1.343	136	1.343
			207	1.338
20	3	1.295	206	1.294
			$\bar{1}37$	1.289
3 ЭЛЛИПС				
21	6	2.256	040	2.257
22	5	2.237	220	2.232
23	5	2.140	$\bar{2}22$	2.156
24	1	2.049	042	2.054
4 ЭЛЛИПС				
26	5	1.705	$\bar{3}11$	1.705
			150	1.703
			241	1.702
5 ЭЛЛИПС				
26	8	1.504*	060	1.504
6 ЭЛЛИПС				
27	7	1.286	400	1.284
			$\bar{2}62$	1.282
7 ЭЛЛИПС				
28	1	1.251	170	1.251
			421	1.251
			$\bar{3}51$	1.252

Примечание: электронограф ЭМР-100М, угол наклона пре-парата $\varphi = 68^\circ$, $2L\lambda$ – постоянная прибора, эталон – ПСІ. Расстояния между рефлексами измерены на компараторе ИЗА-2. Аналитик Г.К. Бекенова. * – рефлексы, по которым рассчитаны параметры элементарной ячейки. Интенсивность рефлексов оценена визуально.

Таблица 4. Сравнительная характеристика орловита, полилитионита и тайниолита

Характеристика минерала	Орловит	Полилитионит	Тайниолит
Источник	Данные авторов	JCPDS 21-952; Anthony <i>et al.</i> , 1995	JCPDS 31-1045; Anthony <i>et al.</i> , 1995
Формула	CsLi ₂ TiSi ₄ O ₁₀ (OF)	KLi ₂ AlSi ₄ O ₁₀ F ₂	CsLiMg ₂ Si ₄ O ₁₀ F ₂
Пространственная группа	C2	C2/m	C2/m
a, Å	5.199	5.186	5.227
b, Å	9.068	8.968	9.057
c, Å	10.070	10.029	10.133
β, °	99.35	100.4	99.86
Z	2	2	2
Сильные линии рентгеновской порошковой диаграммы	9.96 (40) 4.48 (67)	9.87 (20) 4.93 (90)	9.95 (85) 4.98 (35)
d _{изм.} (l)	3.87 (40) 3.33 (100) 2.860 (35) 2.600 (28) 2.570 (30) 2.400 (31) 1.990 (16) 1.507 (20)	4.47 (50) 3.59 (100) 3.31 (100) 3.29 (90) 3.07 (100) 2.867 (70) 2.580 (70) 1.974 (90) 1.641 (40)	4.51 (25) 3.611 (20) 3.325 (100) 3.106 (30) 2.883 (25) 2.602 (20) 2.575 (25) 2.396 (35) 1.995 (30)
Плотность, г/см ³ (изм./выч.)	2.91/2.914	2.58 – 2.82/2.84	2.83 – 2.90/2.80
Оптические свойства (оптический знак)	Двуосный (-)	Двуосный (-)	Двуосный (-)
n _p	1.600	1.53	1.522 – 1.540
n _m	1.620	1.551 – 1.556	1.553 – 1.570
n _y	1.625	1.555 – 1.559	1.553 – 1.570

Сравнение орловита с близкими минералами приведено в таблице 4.

Образец орловита хранится в Минералогическом музее имени А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва), регистрационный номер 3824/1.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки № 16.518.11.7101.

Благодарности

Авторы благодарят Р.У. Сабирову за помощь в организации проведения полевых работ, А.Р. Файзиева, Ф.Г. Гафурова, М.А. Шодибекова, Ф.А. Файзиева, Ф.Г. Карчибекова за помощь в полевых работах на массиве Дараи-Пиёз и И.В. Пекова, Е.В. Соколову, Ф. Хоторна, Д.И. Белаковского за ценные советы и помощь в написании данной работы.

Литература

- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д., Коваленко В.И. Полилитиониты: состав и генезис // Докл. РАН. **1995**. Т. 345. № 2. С. 223 – 226
- Владыкин Н.В., Дусматов В.Д. Химический состав слюд массива Дараи-Пиёз (Таджикистан) // ЗВМО. **1996**. № 3. С. 84 – 94

Ганзеев А.А., Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Акрамов А.Н. О слюдах Туркестано-Алайской щелочной провинции (Центральный Таджикистан) // Докл. АН Тадж. ССР. **1976**. Т. 19. № 6. С. 48 – 51

Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород // Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе: Илим. **1968**. С. 134 – 135.

Дусматов В.Д. Состояние изученности щелочных пород Центрального Таджикистана // Изв. АН Тадж. ССР. Отдел. физ.-мат. и геол.-хим. наук. **1969**. Вып. 32. № 2. С. 92 – 102.

Дусматов В.Д. Минералого-геохимические особенности щелочных и гранитоидных пород верховья р. Дараи-Пиёз (Южный склон Алайского хребта) // Вопросы геологии Таджикистана. Душанбе.: **1970**. С. 27 – 28.

Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дараи-Пиёз (Южный Тянь-Шань). Автореферат диссертации. М.: ИМГРЭ. **1971**. 18 с.

Коваль П.В., Есвиб В., Сапожников А.Н. Сосуществующие титановые оксибиотиты 3Т и 3М мегакристов в базальтоидах Шаван-

- рын-Царама (МНР) // Докл. АН СССР. **1988**. Т. 302. № 2. С. 430—433.
- Москвин А.В. География и геология Восточного Каратегина // Таджикско-Памирская экспедиция 1935 года. М.-Л.: АН СССР. **1937**. С. 682—739.
- Паутов Л.А., Агаханов А.А., Бекенова Г.К. Соколоваит $\text{CsLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ — новый минерал из группы слюда // Новые данные о минералах. **2006**. В. 41. С. 5—13.
- Рябчиков И.Д., Коваленко В.И., Диков Ю.П., Владыкин Н.В. Мантийные титаносодержащие слюды: состав, структура, условия образования, возможная роль в генезисе калиевых щелочных магм // Геохимия. **1981**. № 6. С. 873—888.
- Ушакова Е.Н. Биотиты метаморфических пород. М.: Наука, **1971**. 346 с.
- Чуканов Н.В., Муханова А.А., Расцветаева Р.К., Белаковский Д.И., Мёккель Ш., Каримова О.В., Бритвин С.Н., Кривовичев С.В. Оксифлогопит $\text{K}(\text{Mg},\text{Ti},\text{Fe})_3[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{O},\text{F})_2$ — новый минерал группы слюда // ЗВМО. **2010**. № 3. С. 31—40.
- Чуканов Н.В., Розенберг К.А., Расцветаева Р.К., Мёккель Ш. Новые данные о высокотитановом биотите. Проблема «воданита» // Новые данные о минералах. **2008**. Вып. 43. С. 72—77.
- 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.
- Cruciani G., Zanazzi P.F. Cation partitioning and substitution mechanisms in 1M phlogopite: a crystal chemical study // Amer. Mineral. **1994**. Vol. 79. P. 289—301.
- Dymek R.F. Titanium, aluminium and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland // Amer. Mineral. **1983**. Vol. 68. P. 880—899.
- Freudenberg W. Titanium-biotite (wodanite) from the Katzenbuckel // Mitt. Bad. Geol. Landesanst. **1920**. Vol. 8. No. 2. P. 319—335.
- Greenwood J.C. Barian-titanian micas from Ilhada Trindade, South Atlantic // Min. Mag. **1998**. Vol. 62. No. 5. P. 687—695.
- Ibhi A., Nachit H., El Abia H. Titanium and barium incorporation into the phyllosilicate phases: The example of phlogopite-kinoshtalite solid solution // J. Phys. IV France. **2005**. Vol. 123. P. 331—335.
- Mansker W.L., Ewing R.C., Keil K. Barian-titanian biotites in nephelinites from Oahu, Hawaii // Amer. Mineral. **1979**. Vol. 64. P. 156—159.
- Prider R.T. Some minerals from the leucite-rich rocks of the West Kimberley area, Western Australia // Min. Mag. **1939**. Vol. 25. No. 166. P. 373—387.
- Rosenbusch H. Elemente der Gesteinslehre, Ed. 3. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung. **1910**. 566 S. (на нем. яз.)
- Shaw C.S.J., Penczak R.S. Barium- and titanium-rich biotite and phlogopite from the Western and Eastern Gabbro, Coldwell alkaline complex, Northwestern Ontario // Canad. Mineral. **1996**. Vol. 34. P. 967—975.
- Smirnov V.K., Sobolev A.V., Batanova V.G., Portnyagin M.V., Simakin S.G., Potapov E.V. Quantitative SIMS analysis of melt inclusions and host minerals for trace elements and H_2O // EOS Trans. Spring Meet. Suppl. AGU. **1995**. № 76 (17). P. 270.