



Уранополикраз $(U,Y)(Ti,Nb)_2O_6$ из миаролового пегматита Музейный в районе месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир, Таджикистан)

Паутов А.А.¹, Шодибеков М.А.², Мираков М.А.^{2,3},
 Файзиев А.Р.², Хворов П.В.⁴

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla58@mail.ru

²Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, Душанбе

³Главное управление геологии при правительстве Республики Таджикистан, РГУП геологоразведочная экспедиция по драгоценным и поделочным камням, Душанбе

⁴Институт Минералогии УрО РАН, Миасс

Уранополикраз $(U,Y)(Ti,Nb)_2O_6$ обнаружен в миароловом кварц-микроклин-олигоклазовом пегматите Музейный в контурах месторождения благородной шпинели Кухилал (Ю-З Памир) в блоковом полупрозрачном, молочном кварце околомаролового комплекса. Образует таблитчатые зерна прямоугольного сечения, редко кристаллы до 0.6 x 4 мм. Иногда сростается с Nb-содержащим рутилом (Nb_2O_5 5.68 вес.%). Внешне не отличим от ассоциирующего поликраза-(Y). Цвет черный, излом раковистый, блеск на сколе смолистый. Хрупкий. Черта светло-коричневая. В отраженном свете светло-серый, $R \sim 20\%$, изотропный. Внутренние рефлексии редкие красно-коричневые. Микротвердость $VHN_{100} = 596$. Хим. состав (м.з., вес.%): Nb_2O_5 8.75–13.27, Ta_2O_5 0.63–1.59, WO_3 0.95–1.97, TiO_2 31.00–34.39, UO_2 31.59–41.41, ThO_2 2.45–5.20, Y_2O_3 5.95–9.85, Ce_2O_3 0.00–0.77, Nd_2O_3 0.00–0.38, Dy_2O_3 0.99–2.12, Ho_2O_3 0.00–0.96, Er_2O_3 0.84–1.87, Yb_2O_3 0.73–1.97, FeO 0.00–0.32, MnO 0.00–0.32, CaO 0.00–0.69, сумма 98.16–101.32. Усредненная формула (расчет на O = 6 ат.): $(U_{0.54}Y_{0.26}Th_{0.05}Dy_{0.03}Er_{0.03}Yb_{0.03}Ho_{0.01}Nd_{0.01}Ca_{0.02}Fe_{0.01}Mn_{0.01})_{1.00} (Ti_{1.63}Nb_{0.34}Ta_{0.02}W_{0.02})_{2.01}O_6$. Метамиктен. После прокаливании (1000 °C, ток Ar) дает рентгенограмму уранополикраза с подчиненным количеством браннерита. Зоны вдоль микротрещин замещаются, предположительно, рентгеноаморфной фазой пирохлорового типа (после прокаливании $a = 10.299(4)$ Å). Минералы ряда поликраза являются главными концентраторами урана в пегматите Музейный. Является первой находкой в Таджикистане.

Ключевые слова: миароловый пегматит, Юго-Западный Памир, пегматит Музейный, Таджикистан, Кухилал, уранополикраз, поликраз-(Y), браннерит, метамиктний.

Введение

Уранополикраз $(U,Y)(Ti,Nb)_2O_6$ (ромб., пр. группа *Pbcn*) был описан как новый минерал из пегматита Fonte del Prete на острове Эльба, Италия (Aurischio e.a., 1993). Минерал принадлежит к группе эвксенита, включающей, кроме уранополикраза, эвксенит-(Y) $Y(Nb,Ti)_2O_6$, тантэвксенит-(Y) $Y(Ta,Ti,Nb)_2O_6$, поликраз-(Y) $Y(Ti,Nb)_2O_6$ и ферсмит $(Ca,Ce,Na)(Nb,Ta,Ti)_2(O,OH,F)_6$. Минералы этой группы – характерные минералы некоторых гра-

нитных и щелочных сиенитовых пегматитов, фенитов, альбититов, аксессуарные минералы литий-фтористых гранитов и онгонитов (Scheerer, 1840; Ферсман, 1940; Попова, 2009; Алексеев, Марин, 2014 и др.). Наиболее распространенным минералом этой группы является эвксенит-(Y), уранополикраз же довольно редок и описан или упомянут в весьма ограниченном числе геологических объектов Италии (Aurischio e.a., 1993, 2002), Мексики (Prol-Ledesma e.a., 2012), Словакии (Uher e.a., 2009), Швейцарии, США (Spilde e.a., 2001; Lupulescu e.a.,

2012), России (Попова, Губин, 2008; Попова, 2009; Алексеев, Марин, 2014). Нами уранополикраз обнаружен в миароловом гранитном пегматите на Юго-Западном Памире.

Место находки

Уранополикраз обнаружен при полевых работах в 2016 г. на пегматите Музейный в контурах знаменитого месторождения благородной шпинели Кухилал (рис. 1). Группа гранитных пегматитов, в которую входит и пегматит Музейный, обнажается на левом борту р. Кухилал, приблизительно на 1.5 км выше устья. Первое описание пегматитов месторождения принадлежит А.Н. Лабунцову (1930), проводившему работы на Кухилале в 1928 г. в составе Памирской экспедиции. Пегматитовые жилы залегают в доломитовых мраморах докембрийской горанской серии и характеризуются ярко проявленной контаминацией и развитием реакционных метасоматических зон на контакте с вмещающими породами. Образование миароловых пегматитов связывают со становлением кайнозойских синметаморфических стресс-гранитов Памирско-Шугнанского гранит-лейкогранитового комплекса. Жила Музейная представляет собой кварц-микроклин-олигоклазовый пегматит графической и апографической структуры с многочисленными небольшими миаролами с горным хрусталем, ортоклазом, альбитом, мусковитом, алюмодравитом и др. Второстепенные и акцессорные минералы представлены кордиеритом, андалузитом, дравитом, апатитом, монацитом, касситеритом, магноколумбитом, цирконом, рутилом, в том числе Nb-содержащим (ильменорутилом) и др. (Лабунцов, 1930; Россовский, 1963; Матиас и др., 1963; Корнетова и др., 1971 и др.). По данным А.Н. Россовского и С.А. Морозова (1991), основанным на температурах гомогенизации флюидных включений в кварце и дравите, кристаллизация порообразующих минералов пегматитов проходила при температурах не ниже 525 °С (без учета поправок на давление), а минералов полостей от 490–400 °С. Более подробную информацию о пегматитах Кухилала, включая жилу Музейную, можно почерпнуть из обобщающих работ (Россовский, 1963; Коноваленко, 2006, 2009; Файзиев и Эльназаров, 2016).

Описание уранополикраза

Уранополикраз встречается в блоковом полупрозрачном, участками молочном кварце околомиаролового комплекса пегматита. Минерал представлен таблитчатыми удлинёнными зёрнами прямоугольного сечения и редко кристаллами до 4 мм длиной и 0.6 мм шириной (рис. 2), внешне не отличимыми от выделений поликраза-(У). Иногда в сростании с уранополикразом, кроме кварца, находится Nb-содержащий рутил (м.з. ан.: $TiO_2 - 88.80$; $Al_2O_3 - 0.55$; $Fe_2O_3 - 0.60$; $Nb_2O_5 - 5.68$; $Ta_2O_5 - 1.71$; $SnO_2 - 1.34$; $MnO - 0.22$; $MgO - 0.21$; сумма - 99.11 мас.%) (рис. 3, рис. 4). Уранополикраз имеет чёрный цвет,

раковистый излом, на сколе сильный смолистый блеск. Хрупкий. Черта светло-коричневая.

В отраженном свете светло-серый, отражательная способность умеренная (около 20%), изотропный. Внутренние рефлексы наблюдаются редко, красно-коричневые. Микротвердость, измеренная на микротвердомере ПИМТ-3, тарированном по NaCl, составила $VHN_{100} = 596$ (среднее по 8 замерам, разброс 584–629), что несколько ниже, чем микротвердость уранополикраза из Италии $VHN_{20} = 659$ (Auricchio e.a., 1993). Пониженная микротвердость изученного поликраза может быть связана с большей степенью метамиктности минерала.



Рис. 1. Общий вид района месторождения Кухилал на Юго-Западном Памире. На заднем плане видны белые отвалы штолен месторождения благородной шпинели. Фото 2016 г.



Рис. 2. Кристалл уранополикраза (длиной 4 мм) в кварце из пегматита Музейный (Кухилал, Ю-3 Памир). Фото М.А. Миракова.

Химический состав уранополикраза из жилы Музейной изучен методами локального электроннозондового анализа на микроанализаторе JСХА-733 фирмы JEOL с помощью энергодисперсионного Si(Li)-детектора и системы анализа INCA Energy 350 фирмы Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА, времени набора спектров 100–150 с живого времени (табл. 1). По пяти анализам усредненная формула минерала (расчет на 6 атомов О): $(U_{0.54}Y_{0.26}Th_{0.05}Dy_{0.03}Er_{0.03}Yb_{0.03}Ho_{0.01}Nd_{0.01}Ca_{0.02}Fe_{0.01}Mn_{0.01})_{1.00}(Ti_{1.63}Nb_{0.34}Ta_{0.02}W_{0.02})_{2.01}O_6$.

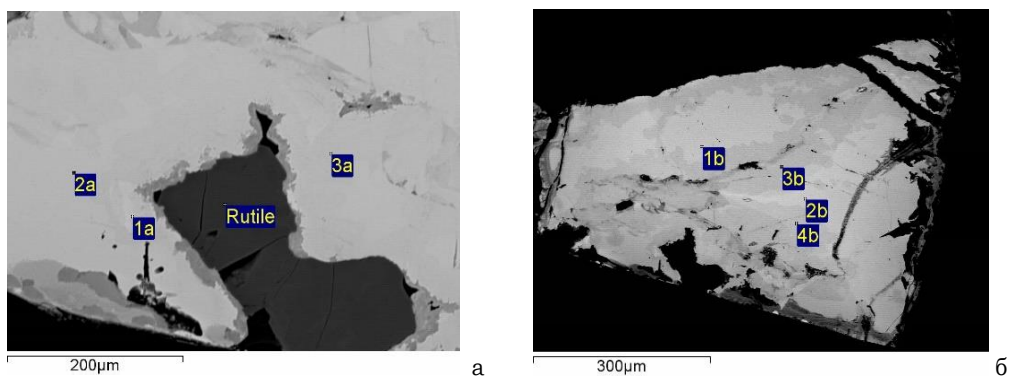


Рис. 3. Изображение в режиме BSE полированного фрагмента кристалла уранополиксаза из жилы Музейной (район Кухилала, Ю-3 Памир), монтированного в эпоксидной смоле:

а) – срастание рутила (Rutile) с уранополиксазом (светло-серое), б) – обзорный снимок зерна, фрагмент которого показан на предыдущем рисунке. Видны более темные (более легкие) зоны изменения уранополиксаза около трещин и краев зерна. Номера в квадратах на рисунках соответствуют точкам анализов в табл. 1.

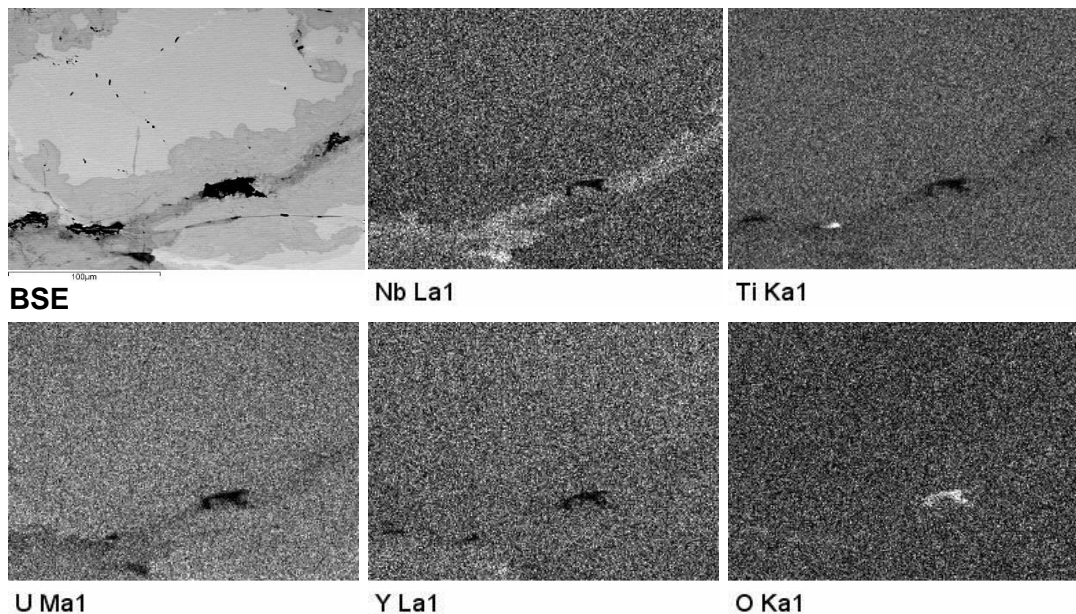


Рис. 4. Изображение в режиме BSE полированного зерна уранополиксаза (фрагмент рис. 3б) с зонами изменения вдоль трещины и рентгеновские карты распределения указанных элементов.

Как видно из пересчета анализов, в изученном минерале в А-позиции $U > Y$, а в В-позиции $Ti >> Nb$, что и определяет отнесение изученного минерала к уранополиксазу. Отметим, что не все изученные зерна аналогичного вида (8 зерен) из пегматита Музейный оказались уранополиксазом, одно из них представлено поликразом-(Y), а в трех зернах – одни участки кристаллов (зоны, пирамиды нарастания?) соответствуют уранополиксазу, другие – поликразу-(Y).

Рентгеновское изучение минерала показало, что он рентгеноаморфен, т.е. метамиктен. Для рекри-

сталлизации минерала несколько зерен было прокалено в течение 10 часов в токе аргона при 1000 °С. Дифрактограмма прокаленного материала, полученная на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 (Cu-анод, Ni-фильтр, скорость счетчика 1 градус/мин), показана на рис. 5. Преобладающей фазой в продуктах прокаливания минерала, судя по рентгеновской порошкограмме, является уранополикраз. Второй фазой, которая присутствует в подчиненном, но ощутимом количестве во всех четырех прокаленных зернах, является браннерит. Не ясно, синтезировался ли браннерит в результате прокаливания метамиктного минерала или он при-

существовал в минерале в виде необнаруживаемых в отраженном свете и в отраженных электронах вросках метамиктного браннерита.

Изученные образцы уранополикраза из жилы Музейной в той или иной мере по периферии зерен и вдоль микротрещин имеют участки изменения колломорфной формы, хорошо видимые в отраженных электронах (рис. 3, 4) по более темному тону (имеют более низкий средний атомный номер). Такие участки характеризуются более низкими суммами анализов (табл. 1, ан. 3b и 4b), вероятно, связанными с гидратацией минерала. Общий состав в этих зонах изменения мало отличается от неизмененного уранополикраза (рис. 4) и характеризуется незначительным дефицитом катионов в позиции А.

Осевые зоны в областях изменения, приуроченные к трещинам, реже к краям зерен, иногда содержат области, значительно более темные на изображениях в режиме BSE, обогащены ниобием и несколько обеднены титаном, ураном и иттрием (рис. 4). Мы предполагаем, что это участки замещения уранополикраза рентгеноаморфной (тонкодисперсной?) фазой пирохлорового типа, чему не противоречит появление в рентгеновской порошковой диаграмме прокаленного в вакууме сильно измененного зерна уранополикраза сильных отражений кубической фазы с параметром элементарной ячейки $a = 10.299(4) \text{ \AA}$.

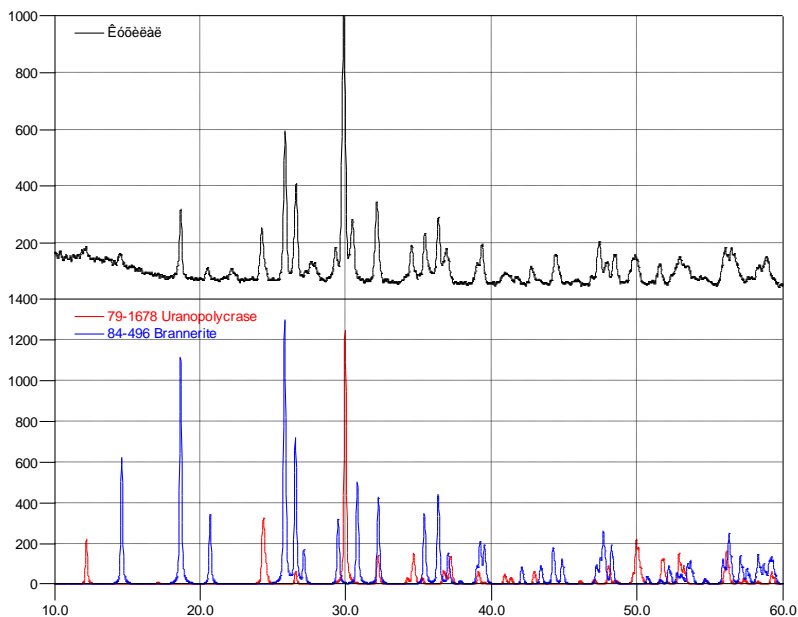


Рис. 5. Сравнение рентгеновской дифрактограммы (Cu K-излучение) прокаленного при 1000 °C в токе аргона минерала с Ю-З Памира (верхний черный спектр) с модельными спектрами уранополикраза из картотеки JCPDS 79-1678 (красный спектр) и браннерита JCPDS 84-496 (синий спектр).

Таблица 1. Химический состав (мас.%) уранополикраза и продуктов и его изменения

Компонент	Италия		Юго-Западный Памир					
	1	1a	2a	3a	1b	2b	3b	4b
Nb ₂ O ₅	11.27	13.27	13.06	11.52	9.87	8.75	9.92	8.21
Ta ₂ O ₅	5.98	0.83	1.59	1.36	1.33	0.63	0.99	0.56
WO ₃		0.98	1.97	1.67	1.11	0.95	0.82	0.00
TiO ₂	27.36	31.00	32.04	32.95	33.95	34.39	33.15	33.75
UO ₂	39.08	36.89	31.59	34.34	39.74	41.41	38.44	40.72
ThO ₂	4.14	5.20	3.19	2.78	2.45	3.74	3.08	2.43
Y ₂ O ₃	7.78	5.95	9.85	8.15	7.10	6.20	6.68	5.72
Ce ₂ O ₃		0.19	0.77	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
Nd ₂ O ₃	0.37	0.34	0.11	0.00	0.38	0.22	0.21	0.67
Dy ₂ O ₃		0.99	2.12	1.68	0.99	1.28	1.21	1.17
Ho ₂ O ₃		0.30	0.96	0.63	0.00	0.61	0.54	0.00
Er ₂ O ₃		0.91	1.87	0.84	1.24	0.85	0.88	0.00
Yb ₂ O ₃		0.99	1.97	1.68	1.78	0.73	0.81	0.00

FeO		0.28	0.04	0.32	0.17	0.00	0.00	0.00
MnO	0.48	0.51	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.22	0.69	0.29	0.12	0.00	0.00	0.00	0.22
Сумма	96.68*	99.32	101.42	98.16	100.11	99.76	97.02	93.45
Формульные коэффициенты при расчете O = 6								
U	0.62	0.55	0.45	0.51	0.59	0.62	0.58	0.64
Th	0.07	0.08	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04
Ca	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Mn	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe		0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Y	0.29	0.21	0.34	0.29	0.25	0.22	0.24	0.21
Ce		0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Nd	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
Dy		0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03
Ho		0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Er		0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00
Yb		0.02	0.04	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00
ΣA	1.04	1.02	1.02	0.98	0.99	0.98	0.97	0.96
Ti	1.47	1.56	1.55	1.64	1.69	1.73	1.70	1.78
Nb	0.36	0.40	0.38	0.34	0.30	0.26	0.31	0.26
Ta	0.12	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
W		0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00
ΣB	1.95	2.00	1.99	2.03	2.03	2.02	2.04	2.05

Примечание. 1 – анализ уранополикраза с места первой находки на острове Эльба, Италия (Aurischio e.a., 1993). Пустые клетки в таблице – данные отсутствуют в первоисточнике. * – в оригинале приведена сумма анализа 96.73%; 1a – 4b – анализы уранополикраза из жилы Музейной (Кухилал, Ю-3 Памир), из них 3b и 4b относятся к зоне изменения минерала. Номера анализов соответствуют номерам точек анализов, показанных на рис. 3.

Обсуждение

В гранитном миароловом пегматите Музейный в районе месторождения Кухилал на Юго-Западном Памире диагностирован уранополикраз. Судя по доступной литературе, это первая находка уранополикраза в Таджикистане.

По химическому составу уранополикраз с Кухилала находится ближе к конечному члену UTi_2O_6 , чем уранополикраз из места первого описания –

пегматитов острова Эльба, Италия. Минералы ряда поликраза, вероятно, являются главными минералами-концентраторами урана в пегматите Музейный на Юго-Западном Памире.

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в проведении полевых работ Н.С. Сафаралиева, С.А. Эльназарова, Ф.А. Малахова и Р.У. Сабирову.

Список литературы:

Алексеев В.И., Марин Ю.Б. (2014) Акцессорная минерализация пород позднемеловых интрузивных серий с Li-F гранитами Дальнего Востока // ЗРМО. Т. 143. №. 3. С. 1–22.

Коноваленко С.И. (2006) Типы миароловых пегматитов кристаллической толщи юго-западного Памира // Геммология. Сборник статей. Томск: ФГУ «Томский ЦНТИ». С. 69–75.

Коноваленко С.И. (2009) Коллекционное сырье миароловых пегматитов Юго-Западного Памира // Геммология. Сборник статей. Томск: ФГУ «Томский ЦНТИ». С. 6–15.

Корнетова В.А., Казакова М.Е., Александров В.Б. (1971) Ильменорутил из пегматитов месторождения благородной шпинели Кухи-Лал на Юго-Западном Памире и некоторые поправки к формуле магноколумбита // Новые данные о минералах СССР. Тр. Мин. музея им.

А.Е. Ферсмана. М.: Наука. С. 107–113.

Лабунцов А.Н. (1930) Геолого-минералогические исследования на Западном Памире и в провинции Бадахшан в Афганистане в 1928 г. // Труды Памирской экспедиции. Вып. IV. Минералогия. С. 64–66.

Матис В.В., Россовский Л.Н., Шостацкий А.Н., Кумскова Н.М. (1963) О новом минерале – магноколумбите // Докл. АН СССР. Т. 148. № 2. С. 420–423.

Попова В.И., Губин В.А. (2008) Минералогия гранитных керамических пегматитов Адуйского, Соколовского и Зенковского массивов на Среднем Урале // Уральский минералогический сборник. Миасс: ИМин УрО РАН, № 15. С. 61–74.

Попова В.И. (2009) Радиационно-эпигенетические изменения поликраза в гранитных пегматитах Адуйского и Зенковского массивов на Среднем Урале // Литосфера. №. 6. С. 90–94.

- Россовский Л.Н. (1963) Пегматиты в магнезиальных мраморах из района месторождения благородной шпинели Кухилал на Юго-Западном Памире // Тр. Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. Вып. 14. С. 166–181.
- Россовский Л.Н., Морозов С.А. (1991) Особенности формирования гранитных пегматитов, залегающих в магнезиальных мраморах Юго-Западного Памира // ЗВМО. № 4. С. 34–42.
- Файзиев А.Р., Эльназаров С.А. (2016) Минералогические особенности и генезис Кухилалского месторождения благородной шпинели (Юго-Западный Памир). Душанбе: Дониш. 135 с.
- Ферсман А.Е. (1940) Пегматиты. Т. 1. Гранитные пегматиты. М.-Л. С. 712.
- Aurisicchio C., Orlandi P., Pasero M., Perchiazzi N. (1993) Uranopolycrase, the uranium-dominant analogue of polycrase-(Y), a new mineral from Elba Island, Italy, and its crystal structure // European journal of mineralogy. V. 5. P. 1161–1165.
- Aurisicchio C., De Vito, C., Ferrini V., Orlandi P. (2002) Nb and Ta oxide minerals in the Fonte del Prete granitic pegmatite dike, Island of Elba, Italy // Canadian Mineralogist. V. 40. № 3. P. 799–814.
- Lupulescu M.V., Chiarenzelli J.R., Bailey D.G. (2012) Mineralogy, classification, and tectonic setting of the granitic pegmatites of New York State, USA // Canadian Mineralogist. V. 50. №. 6. P. 1713–1728.
- Prol-Ledesma R.M., Melgarejo J.C., Martín R.F. (2012) The El Muerto “NYF” granitic pegmatite, Oaxaca, Mexico, and its striking enrichment in allanite-(Ce) and monazite-(Ce) // The Canadian Mineralogist. V. 50. №. 4. С. 1055–1076.
- Scheerer T. (1840) Ueber den euxenite, eine neue mineralspecies // Annalen der Physik und Chemie. Band 50. S. 149–153.
- Spilde M.N., DUBYK S., Salem B., Moats W.P. (2001) Rare earth bearing-minerals of the Petaca District, Rio Arriba county, New Mexico. // New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 62-Field Conference, Geology of the Tusas – Ojo Caliente. P. 389–398.
- Tomašić, N., Gajović, A., Bermanec, V., Rajić, M. (2004) Recrystallization of metamict Nb-Ta-Ti-REE complex oxides: a coupled X-ray-diffraction and Raman spectroscopy study of aeschynite-(Y) and polycrase-(Y) // Canadian mineralogist. V. 42. № 6. P. 1847–1857.
- Uher P., Malachovský P., Bačák P., Chudík P., Števkó M. (2009) Polykras-(Y), uranopolykras a Ti-Nb-Ta-Fe minerál v kremenných žilách a exokontaktných zónach granitov gemerika, Slovenské rudohorie // Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz.(Praha). V. 17. № 1. P. 14–24.