

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ЭШИННИТА ИЗ ВИШНЁВЫХ ГОР (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**В.И. Попова¹, В.А. Попов¹, А.В. Касаткин², А.М. Кузнецов³**¹ Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru² Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18/2, г. Москва, 119071 Россия³ ул. Октябрьская 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия**AESCHYNITE GROUP MINERALS FROM VISHNEVYE MOUNTAINS (SOUTH URALS)****V.I. Popova¹, V. A. Popov¹, A.V. Kasatkin², A.M. Kuznetsov³**¹ South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru² Fersman Mineralogical Museum of RAS, Leninskiy pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia³ Oktyabrskaya, 5-337, Chelyabinsk, 454071 Russia

В статье приведены форма кристаллов, минеральные ассоциации и химический состав минералов группы эшинита из Вишнёвых гор на Южном Урале. Некоторые жилы биотитовых сиенитовых пегматитов содержат эшинит-(Ce) и «тороэшинит». В кальцит-эгириин-полевошпатовых пегматитах и кварц-арфведсонитовых жилках развиты ниобозэшинит-(Ce) и «алюмоэшинит». Эшинит-(Y) и ниобозэшинит-(Y) выявлены в аннит-полевошпатовых агрегатах с силикатами и карбонатами РЗЭ. Ниобозэшинит-(Y) – это первая находка в России.

Илл. 7. Табл. 2. Библ. 13.

Ключевые слова: эшинит, щелочные пегматиты, Вишнёвые горы, Южный Урал.

The crystals morphology, mineral assemblages and chemical composition of aeschynite group minerals from the Vishnevye Mountains (South Urals, Russia) are presented. Some veins of syenitic pegmatites host aeschynite-(Ce) and «thoroaeschynite». The calcite-aegirine-feldspar pegmatites and quartz-arfvedsonite veins contain nioboaeschynite-(Ce) and «alumoaeschynite». Aeschynite-(Y) and nioboaeschynite-(Y) are found in annite-feldspar aggregates in assemblage with REE silicates and carbonates. The find of nioboaeschynite-(Y) is first in Russia.

Figures 7. Table 2. References 13.

Key words: aeschynite, alkaline pegmatites, Vishnevye Mountains, SouthUrals.**Введение**

Вишнёвые горы на Южном Урале – один из известнейших минералогических объектов России. Щелочные сиениты и нефелиновые сиениты (миаскиты) широко распространены здесь и приурочены к субмеридиональной гряде гор общей длиной около 15 км. В миаскитах, биотитовых и биотит-пироксеновых сиенитах и фенитах локализованы жильные тела щелочных пегматитов. Многие серии жил составляют рудные зоны (рис. 1), активно разрабатывавшиеся в прошлом веке на ниобий и

тантал. Металлы извлекались, главным образом, из пирохлора.

Минералы группы эшинита выявлены в щелочных пегматитах на севере и северо-западе Вишнёвых гор в пегматитовых жилах №№ 31, 32, 33, 35, 36, 37, 114, 125, 133, в рудной зоне 140 и в поздних кварц-арфведсонитовых прожилках. Эти минералы встречены в карьерах и штольнях, в канавах и шурфах, вскрывающих отдельные жилы и серии жил, и в керне разведочных скважин (Исаков, 1952; Еськова и др., 1964; наши данные).

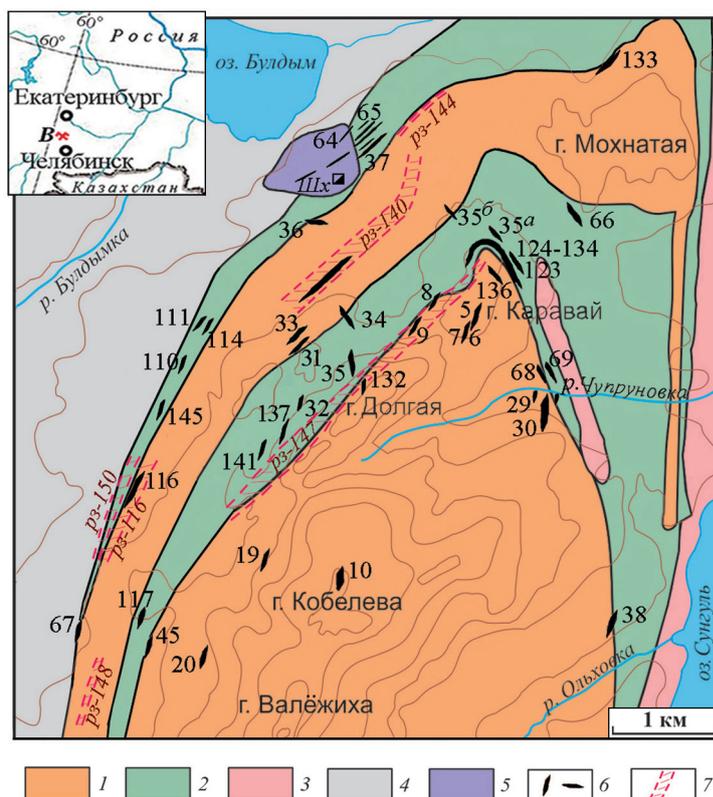


Рис. 1. Расположение щелочных пегматитов в северной части Вишнёвых гор (с дополнениями по материалам М.Г. Исакова, В.С. Красулина, Е.А. Кузнецова, Ф.А. Сенникова, В.Д. Водопьянова и Вишневогорской ГРП).

1–5 – вмещающие породы: 1 – миаскиты, 2 – щелочные сиениты и фениты, 3 – гранитогнейсы, 4 – плагиогнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, 5 – серпентиниты; 6 – жилы щелочных пегматитов; 7 – рудные зоны.

Fig. 1. Location of alkaline pegmatite veins in the northern part of the Vishnevye Mountains (modified after materials of M.G. Isakov, V.S. Krasulin, E.A. Kuznetsov, F.A. Sennikov, V.D. Vodop'yanov, and Vishnevogorsk Geological Prospecting Party).

1–5 – host rocks: 1 – miaskites, 2 – alkali syenites and fenites, 3 – granite gneisses, 4 – plagiogneisses, crystal schists, amphibolites, quartzites, 5 – serpentinites; 6 – veins of alkaline pegmatites; 7 – ore zones.

Впервые для территории Вишнёвых гор присутствие эшинита предположено Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951), изучившей два кристалла «минерала № 6» с Булдымского участка (вероятно, из жилы № 133, без анализа их состава), полученных от директора Вишневогорского рудника Ф.А. Карпенко. Химические анализы, физические свойства и минеральные ассоциации для минералов группы эшинита приведены Е.М. Еськовой с соавторами (1964).

Наиболее богата минералами группы эшинита серия жил № 133 на северо-западном склоне г. Мохнатой (рис. 2), где в 1939 г. М.Г. Исаковым найдены кристаллы эшинита до 5 см (Исаков и др., 1961ф). При опытной добыче (~12 т породы) из этой жилы получен концентрат массой 55 кг, содержащий ~15 мас. % редких земель и ~12 мас. % Nb_2O_5 (Исаков, 1952ф).

В настоящей статье обобщены как ранее известные, так и недавно полученные нами данные о составе минералов группы эшинита, форме их кристаллов и минеральных ассоциациях ряда эшинитсодержащих пегматитовых жил Вишнёвых гор. Химический состав минералов исследован в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН В.А. Котляровым (СЭМ РЭММА-202М с ЭДА) и И.А. Блиновым (СЭМ Vega3 Tescan с ЭДА), частично – в Москве (СЭМ CamScan 4D, аналитик А.В. Касаткин) и Брно, Чехия (рентгеноспектральный микроанализатор Camebax SX-100, аналитики Р. Шкода и А.В. Касаткин). Форма крупных кристаллов определена В.А. Поповым измерениями на столике Фёдорова СФ-4 в качестве гониометра.

Минералы группы эшинита из пегматитов Вишнёвых гор

К настоящему времени в щелочном комплексе Вишнёвых гор выявлены эшинит-(Ce), «тороэшинит», «алюмоэшинит», ниобоэшинит-(Ce), эшинит-(Y) и ниобоэшинит-(Y).

Эшинит-(Ce) наиболее характерен для биотит-полевошпатовых пегматитов серии жил № 133 на северном склоне г. Мохнатой, залегающих согласно среди пироксеновых и биотитовых сиенитов (фенитов?) в контактовой зоне миаскитов и гранитогнейсов (рис. 2). Мощность жил 1–5 см и более, суммарная мощность до 3 м, прослеженная длина около 100 м (Исаков и др., 1961ф). Жилы сложены среднезернистым аннит-альбит-микрорезновым агрегатом с порфиризовидными выделениями олигоклаза до 1–10 см, часто окруженными агрегатами аннита с черным эшинитом-(Ce) в виде кристаллов размером до 0.5–5 см. Отдельные кристаллы достигают в длину 12 см (находка А.М. Кузнецова). Кристаллы эшинита-(Ce) удлинены по оси [001] и имеют призматический габитус с гранями $m\{110\}$, $r\{120\}$, $b\{010\}$, $x\{021\}$, $c\{001\}$, $p\{111\}$ (рис. 3) с участками индукционных поверхностей сокристаллизации с полевыми шпатами, аннитом, мусковитом и цирконом (рис. 4а–в). В жилах также присутствуют монацит-(Ce) (рис. 3г), алланит-(Ce), магнетит, эгирин и редкие поздние кальцит, клинохлор и кварц. В некоторых зернах эшинита-(Ce) из серии жил № 133 встречаются сравнительно крупные включения полевых шпатов, а в сечениях индивиды эшинита похожи на «футляры» (рис. 4г), и поэтому они ранее принимались за метакристаллы (Еськова и др., 1964), что, по нашему мнению, ошибочно. При объемном препарировании поверхностей кристаллов нами обнаружены индукционные поверхности между эшинитом, полевыми шпатами, аннитом и цирконом, что указывает на первичную сокристаллизацию этих минералов.

Состав эшинита из пегматитов серии жил № 133, изученных весовым химическим методом, характеризовался следующими вариациями содержаний главных компонентов (мас. %): TiO_2 21.5–26.6, Nb_2O_5 23.6–32.2, ThO_2 0.7–13.1 и суммой $Ln + Y_2O_3$ 28.9–33.9 (Исаков и др., 1961ф; Еськова и др., 1964; Минералы, 1967). Электронно-зондовые анализы одного кристалла эшинита-(Ce) (в сечении $\perp[001]$) из жильной серии № 133 показали, что в разных зонах и секторах роста состав эшинита-(Ce) относительно однороден (Муфтахов,

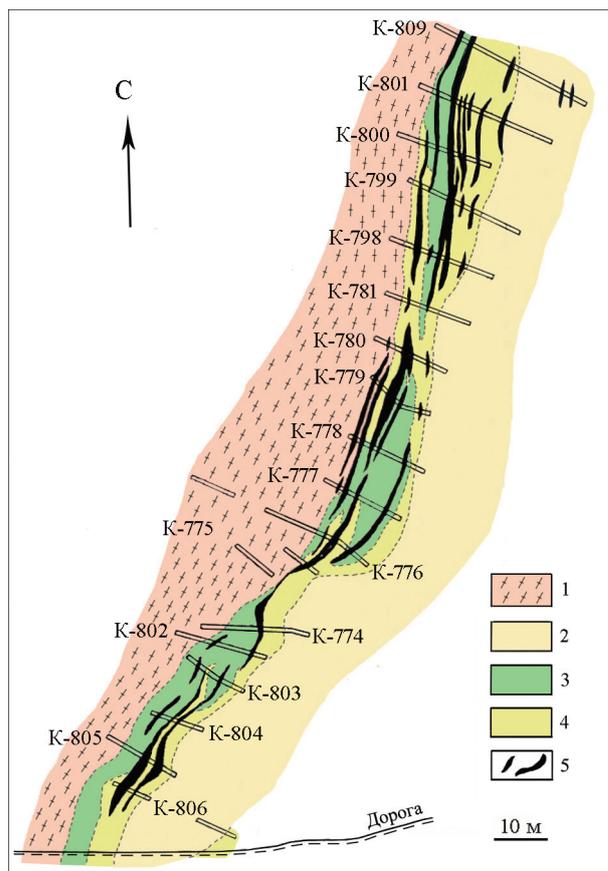


Рис. 2. Расположение и формы серии эшинитсодержащих жил № 133 на г. Мохнатой (по М.Г. Исакову и др., 1961ф).

1 – гранитогнейсы, 2 – миаскиты, 3, 4 – пироксеновые (3) и биотитовые (4) сиениты, 5 – эшинитсодержащие жилы.

Fig. 2. Location and forms of series of aeschynite-bearing veins no. 133 at Mount Mokhnataya (after unpublished report of M.G. Isakov et al., 1961).

1 – granite gneisses, 2 – miaskites, 3, 4 – pyroxene (3) and biotite (4) syenites, 5 – aeschynite-bearing veins.

1999). По данным семи близких анализов выявлено уменьшение содержания ThO_2 от 15 до 12 мас. % от центра кристалла к его периферии при незначительных вариациях прочих компонентов.

В исследованных кристаллах эшинита-(Ce) в сечениях $\sim(001)$ и $\sim(010)$ из серии жил № 133 зональность не проявлена (в отраженных электронах), но имеются небольшие вариации содержаний ряда компонентов в участках пирамид роста грани разных простых форм (рис. 5а; табл. 1). Так, краевая зона роста грани пинакоида $\{010\}$ (табл. 1, ан. 2) характеризуется пониженными содержаниями Ca, Th, Y, Nb и повышенными – La, Ce, Ti, Ta и U относительно центральной части зерна (табл. 1, ан. 1). Краевая зона роста грани призмы $\{110\}$ в

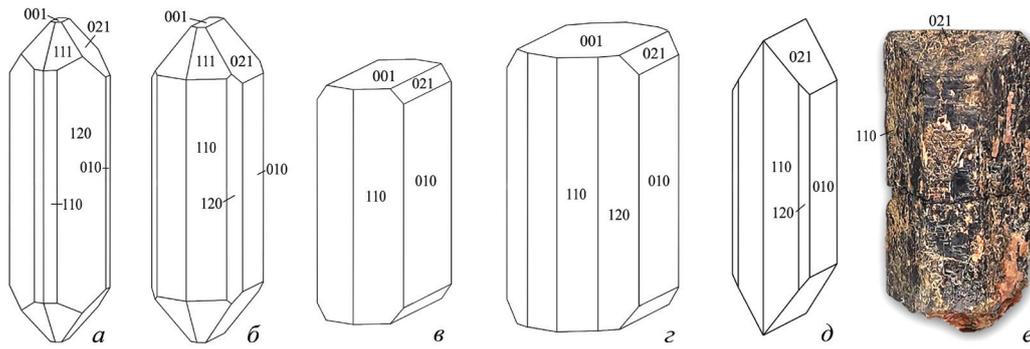


Рис. 3. Идеализированная форма типичных кристаллов эшинита-(Ce) из серии жил № 133.

а, б – по Е.М. Еськовой и др. (1964); в, г – из коллекции А.М. Кузнецова; д, е – из коллекции С.В. Колисниченко (е – вид реального кристалла; фото С.В. Колисниченко).

Fig. 3. Idealized form of typical aeschynite-(Ce) crystals from series of veins no. 133.

а, б – by Es'kova et al. (1964); в, г – А.М. Kuznetsov's collection, д-е – S.V. Kolisnichenko's collection; е – real crystal (photo: S.V. Kolisnichenko).

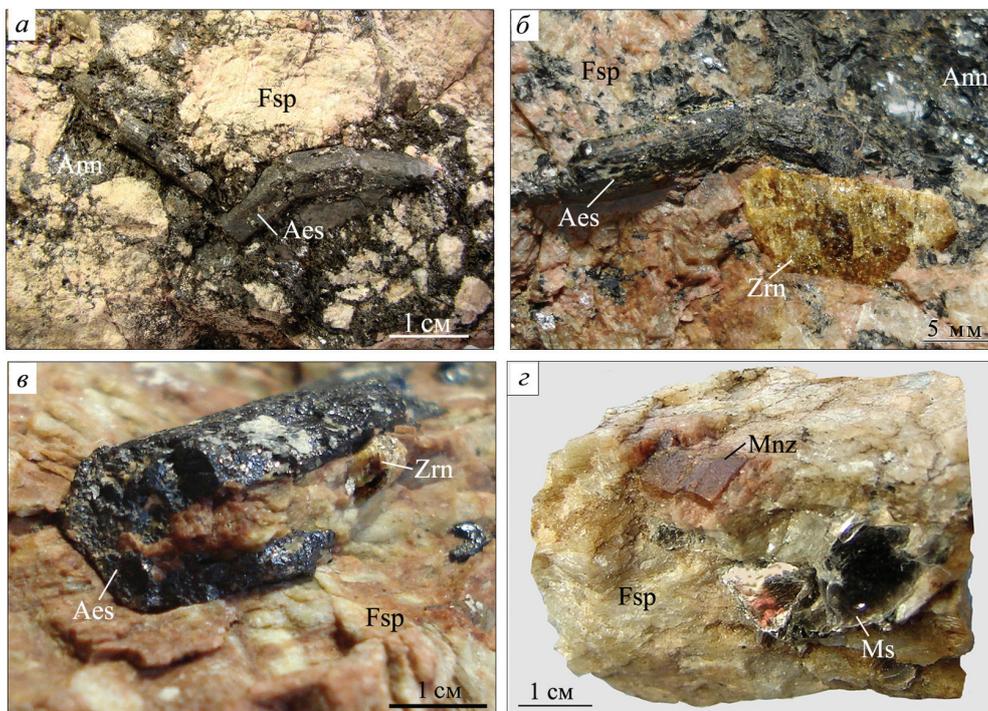


Рис. 4. Деформированные (а, б) и футляровидные (в) кристаллы эшинита-(Ce) (Aes) и монацит-(Ce) (г, Mnz) в аннит-полевошпатовом агрегате с цирконом (Zrn), мусковитом (Ms) и магнетитом из серии жил № 133.

Фото и образцы: А.М. Кузнецов.

Fig. 4. Deformed (a, б) and case-shaped (в) aeschynite-(Ce) crystals (Aes) and monazite-(Ce) (г, Mnz) in annite-feldspar aggregate with zircon (Zrn), muscovite (Ms) and magnetite from series of veins no. 133.

Photo and samples: А.М. Kuznetsov.

кристалле В-26(1) отличается меньшими содержаниями Ca, Th, Y, La, Ce, Pr, Nb и Ta (рис. 5а, табл. 1, ан. 4), чем в кристалле В-26(3) при близкой сумме анализов (рис. 5б; табл. 1, ан. 10). В последовательных зонах роста грани призмы {021} выявлено увеличение содержаний Ca, La, Ce, Nb и Ta (рис. 5б, табл. 1, ан. 6–9). В некоторых анализах (№ 2, 4, б) определена примесь Na₂O, в других (№ 1, 3,

5, 7–9) – примесь SiO₂, что, вероятно, обусловлено разными микровключениями. В эшините-(Ce) диагностированы включения альбита, микроклина, мусковита, аннита, а также редкие мелкие зерна циркона и магнетита.

Необычный мелкозернистый жёлтый эшинит-(Ce) найден А.М. Кузнецовым в образце разномзернистого агрегата кальцита, полевых шпатов

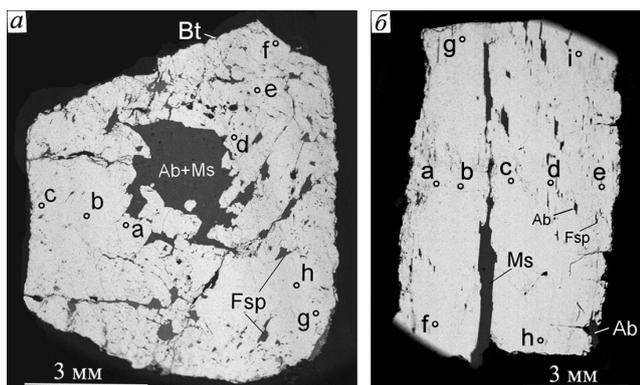


Рис. 5. Кристаллы эшинита-(Ce) в сечениях $\sim (001)$ (а) и $\sim (010)$ (б) с включениями альбита (Ab), мусковита (Ms) и К-полевого шпата (Fsp) из серии жил № 133.

Образцы: С.Г. Епанчинцев. BSE-фото с точками анализа (см. таблицу 1).

Fig. 5. Aeschnite-(Ce) crystals in sections $\sim (001)$ (a) and $\sim (010)$ (б) with inclusions of albite (Ab), muscovite (Ms) and K-feldspar (Fsp) from series of veins no. 133.

Samples S.G. Epanchintsev. BSE-photo with points of analyses (see Table 1).

и эгирина (рис. 6а) из кварц-эгири-амфиболовых прожилков с ильменитом среди фенитов в районе технологической штольни у западного подножия г. Каравай. Химический состав желтого эшинита-(Ce) характеризуется содержанием Ce_2O_3 17.45 мас. % и суммой REE_2O_3 25.14 мас. % (табл. 2, ан. 11).

Коричневый эшинит-(Ce) с содержанием ThO_2 29.6 мас. % – темно-бурый «тороэшинит» $(\text{Th,REE,Ca})(\text{Ti,Nb})_2(\text{O,OH})_6$ – встречен А.Г. Жабиным в 1958 г. в микроклиновом прожилке в районе жилы № 35 на г. Долгой (Еськова и др., 1964). В настоящее время «тороэшинит» не рассматривается как минеральный вид. При электронно-микроскопическом исследовании концентрически-зонального агрегата минералов вокруг кристалла монацита-(Ce) из карьера жилы № 35 нами обнаружен черный высокотемпературный эшинит-(Ce) с содержанием ThO_2 26.53–28.15 мас. % (Попов, 2019). Состав неизменной (преобладающей) части зерна выделяется повышенным содержанием TiO_2 (32.49 мас. %) и меньшим – Nb_2O_5 (табл. 2, ан. 12).

Ниобозшинит-(Ce) $(\text{REE,Ca,Th})(\text{Nb,Ti})_2(\text{O,OH})_6$ найден в кварц-арфведсонитовых прожилках среди фенитов (Жабин и др., 1960) в северном экзоконтакте массива миаскитов в районе жилы № 125 (Еськова и др., 1964). Его кристаллы черного цвета (в тонких осколках просвечивают темно-красным) находятся в ассоциации с чевкинитом,

бритолитом-(Ce), кальцитом, галенитом и сфалеритом. В поясе вертикальных призм столбчатых кристаллов ниобозшинита-(Ce) установлены грани $\{010\}$, $\{110\}$, $\{120\}$ и $\{140\}$, на головке – индукционные поверхности. Минерал метамиктный, но после прокалывания при 1100°C параметры его элементарной ячейки ($a = 5.355$, $b = 11.01$, $c = 7.516$ Å) близки параметрам ячейки синтетического CeNbTiO_6 (Еськова и др., 1964). Максимальное количество Nb_2O_5 с преобладанием среди редких земель Ce_2O_3 (~ 9.90 мас. %) определено М.Е. Казаковой в одном из химических анализов. С учетом данных Р.Л. Баринского (Еськова и др., 1964) об относительных содержаниях индивидуальных РЗЭ, нами рассчитана формула (табл. 2, ан. 13).

Черные кристаллы ниобозшинита-(Ce) размером до 3 мм с содержаниями $\text{REE}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ 23.41, Nb_2O_5 44.4 и TiO_2 15.2 мас. % отмечены и в кальцит-апатит-флогопитовом агрегате среди рихтерит-флогопитовых слюдитов жилы № 2 Западного карьера Буддымского месторождения вермикулита (Поляков, Баженова, 1989).

Оранжево-красные удлиненно-пластинчатые кристаллы ниобозшинита-(Ce) размером до 2 мм с совершенной отдельностью по (010), визуально похожие на астрофиллит, найдены в 2016 г. А.М. Кузнецовым в разведочном шурфе в районе свиты жил № 124–134 в пустотах среди ильменита, ильменорутила и титанита в эгири-полевошпатовом пегматите (рис. 6б). Состав этого минерала характеризуется более высокими содержаниями TR и TiO_2 при меньших – CaO и Nb_2O_5 (табл. 2, ан. 14).

Минерал с существенной примесью Al_2O_3 под названием «алюмоэшинит» встречен в 1959 г. А.Г. Жабиным в районе жилы № 35 на г. Долгой в кварцсодержащих прожилках среди фенитов, где он образует отдельные зерна до 1 см и тонкие прожилки в титансодержащем ферроколумбите (Еськова и др., 1964). Состав «алюмоэшинита» выделяется существенной примесью Al_2O_3 (7.37 мас. %) и Fe_2O_3 при наиболее низком содержании TiO_2 (табл. 2, ан. 15; химический анализ М.Е. Казаковой). Из редких земель в составе минерала преобладает Ce_2O_3 (49.4 % от их суммы). С учетом относительных содержаний оксидов РЗЭ, определенных Р.Л. Баринским, нами рассчитана формула «алюмоэшинита» (табл. 2, ан. 15). Этот анализ отличается от анализов собственно эшинита-(Ce) не только составом, но и меньшим параметром ячейки $c = 7.051$ Å. По современной номенклатуре минералов

Таблица 1

Химический состав (мас. %) эшинита-(Ce)
из сиенитового пегматита серии жил № 133 Вишнёвых гор

Table 1

Chemical composition (wt. %) of aeschynite-(Ce) from syenitic pegmatite
of vein series no. 133, Vishnevye Mountains

№ обр.	B-26(1), сечение ~ (001)					B-26(3), сечение ~ (010)				
	<010>		<010>		<020>	<021>				<110>
Сектор										
№ ан.	1а-ц	2с-к	3д-ц	4ф-к	5г-к	6с-ц	7д-ср	8ф-к	9и-к	10е-к
CaO	2.43	2.02	2.47	2.28	2.13	2.37	2.37	2.41	2.43	3.13
Na ₂ O	–	0.64	–	1.52	–	1.15	–	–	–	–
ThO ₂	10.99	10.27	11.24	11.21	10.28	10.63	10.24	10.14	10.24	9.26
Y ₂ O ₃	2.51	2.17	2.41	2.32	1.88	2.12	1.88	1.83	1.55	1.45
La ₂ O ₃	3.49	4.06	3.10	3.00	3.91	3.42	4.01	3.61	3.86	4.94
Ce ₂ O ₃	13.50	14.08	13.38	13.09	13.77	13.19	14.24	13.62	14.04	14.72
Pr ₂ O ₃	1.40	1.42	1.52	1.38	1.64	1.74	1.39	1.34	1.60	1.79
Nd ₂ O ₃	5.04	5.20	5.06	5.17	5.26	4.97	4.75	5.12	4.72	4.62
Sm ₂ O ₃	0.81	0.91	1.01	1.30	0.79	0.87	1.25	1.48	1.39	0.23
Gd ₂ O ₃	1.03	0.96	0.78	–	0.82	0.85	0.78	1.02	0.11	0.36
Sc ₂ O ₃	0.17	–	0.17	0.15	0.20	0.09	0.20	0.28	0.14	0.24
TiO ₂	27.7	29.3	28.49	28.02	28.45	27.58	28.16	27.01	27.7	27.09
Nb ₂ O ₅	28.43	25.25	26.95	27.48	26.74	27.51	27.62	28.42	28.32	28.69
Ta ₂ O ₅	0.85	1.12	0.49	0.72	0.75	0.60	0.60	0.88	1.01	1.37
FeO	0.96	0.87	0.83	0.88	0.78	0.85	0.87	0.69	0.77	0.63
SiO ₂	0.35	–	0.81	–	1.06	–	0.40	0.80	1.08	–
UO ₂	–	0.64	0.58	0.63	0.49	0.34	0.38	0.48	0.26	0.64
Сумма	99.33	98.91	99.29	99.15	98.95	98.28	99.14	99.13	99.22	99.16

Кристаллохимические формулы

1 – [(Ce _{0.30} Nd _{0.11} La _{0.08} Pr _{0.03} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.56} (Ca _{0.16} Th _{0.15} Y _{0.08} Fe _{0.03} Sc _{0.01} U _{0.43}) _{Σ0.99} (Ti _{1.23} Nb _{0.74} Ta _{0.01} Si _{0.02}) _{Σ2.0} O _{5.96} (OH) _{0.04}
2 – [(Ce _{0.31} Nd _{0.11} La _{0.09} Pr _{0.03} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.58} (Ca _{0.13} Na _{0.07} Th _{0.14} Y _{0.07} Fe _{0.04} U _{0.01}) _{Σ0.46} Σ1.04(Ti _{1.30} Nb _{0.68} Ta _{0.02}) _{Σ2.0} O _{5.91} (OH) _{0.09}
3 – [(Ce _{0.28} Nd _{0.11} La _{0.06} Pr _{0.03} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.53} (Ca _{0.15} Th _{0.14} Y _{0.08} Fe _{0.04} Sc _{0.01} U _{0.01}) _{Σ0.43} Σ0.96(Ti _{1.24} Nb _{0.70} Ta _{0.01} Si _{0.05}) _{Σ2.0} O _{5.95} (OH) _{0.05}
4 – [(Ce _{0.28} Nd _{0.11} La _{0.06} Pr _{0.03} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.50} (Ca _{0.15} Na _{0.17} Th _{0.15} Y _{0.07} Fe _{0.04} Sc _{0.01} U _{0.01}) _{Σ0.60} Σ1.10(Ti _{1.25} Nb _{0.74} Ta _{0.01}) _{Σ2.0} O _{5.88} (OH) _{0.12}
5 – (Ce _{0.29} Nd _{0.10} La _{0.09} Pr _{0.04} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.56} (Ca _{0.14} Th _{0.14} Y _{0.06} Fe _{0.04} Sc _{0.01} U _{0.01}) _{Σ0.40} Σ1.06(Ti _{1.24} Nb _{0.69} Ta _{0.01} Si _{0.06}) _{Σ2.0} O _{5.96} (OH) _{0.04}
6 – [(Ce _{0.30} Nd _{0.11} La _{0.07} Pr _{0.04} Sm _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ0.56} (Ca _{0.15} Na _{0.13} Th _{0.15} Y _{0.07} Fe _{0.04} Sc _{0.005} U _{0.005}) _{Σ0.55} Σ1.11(Ti _{1.24} Nb _{0.75} Ta _{0.01}) _{Σ2.0} O _{5.89} (OH) _{0.11}
7 – [(Ce _{0.30} Nd _{0.10} La _{0.09} Pr _{0.03} Sm _{0.03} Gd _{0.02}) _{Σ0.57} (Ca _{0.15} Th _{0.14} Y _{0.06} Fe _{0.04} Sc _{0.01} U _{0.005}) _{Σ0.395} Σ0.965(Ti _{1.24} Nb _{0.73} Ta _{0.01} Si _{0.02}) _{Σ2.0} O _{5.95} (OH) _{0.05}
8 – [(Ce _{0.30} Nd _{0.11} La _{0.08} Pr _{0.03} Sm _{0.03} Gd _{0.02}) _{Σ0.57} (Ca _{0.15} Th _{0.14} Y _{0.06} Fe _{0.03} Sc _{0.01} U _{0.006}) _{Σ0.396} Σ0.966(Ti _{1.19} Nb _{0.75} Ta _{0.01} Si _{0.05}) _{Σ2.0} O _{5.96} (OH) _{0.04}
9 – [(Ce _{0.29} Nd _{0.11} La _{0.08} Pr _{0.03} Sm _{0.03} Gd _{0.02}) _{Σ0.542} (Ca _{0.15} Th _{0.14} Y _{0.05} Fe _{0.04} Sc _{0.007} U _{0.003}) _{Σ0.40} Σ0.953(Ti _{1.19} Nb _{0.73} Ta _{0.02} Si _{0.06}) _{Σ2.0} O _{5.96} (OH) _{0.04}
10 – [(Ce _{0.31} Nd _{0.10} La _{0.11} Pr _{0.04} Sm _{0.005} Gd _{0.007}) _{Σ0.572} (Ca _{0.20} Th _{0.13} Y _{0.05} Fe _{0.03} Sc _{0.013} U _{0.01}) _{Σ0.433} Σ1.005(Ti _{1.21} Nb _{0.77} Ta _{0.02}) _{Σ2.0} O _{5.95} (OH) _{0.05}

Примечание. Участки ан. 1–5 (рис. 5а), ан. 6–10 (рис. 5б), центральная (ц), средняя (ср) и краевая (к) части кристаллов. Прочерк – не обнаружено. СЭМ РЭММА-202М с ЭДА, аналитик В.А. Котляров. Здесь и далее, расчет на 2 а.ф. в позиции В, расчет H₂O – по балансу зарядов.

Note. Areas of an. 1–5 (Fig. 5a), an. 6–10 (Fig. 5b); central (ц), middle (ср) and marginal (к) parts of the crystals. Dash – not found. SEM REMMA-202M with EDA, analyst V.A. Kotlyarov. Hereinafter, the formulas are recalculated to 2 f.u. in position B; H₂O – is recalculated on the basis of charge balance.

группы эшинита, он ближе к богатой Al разновидности виджецита: Ca > ΣREE, Nb преобладает среди В-катионов. Нами такой минерал не встречен.

Эшинит-(Y) (Y, Ln, Ca, Th)(Ti, Nb)₂(O, OH)₆ выявлен А.В. Касаткиным в образце пегматита, найденном А.М. Кузнецовым в июле 2016 г. в отвалах карьера жилы № 35. Минерал образует черные зерна до 3 мм с сильным смоляным блеском в ро-

зоватом микроклине и бесцветном кварце (рис. 7а) в ассоциации с молибденитом, пиритом и фторантитом. В той же пегматитовой глыбе, но не в непосредственной ассоциации с эшинитом-(Y), отмечены фторкарбонаты REE – рентгенит-(Ce), паризит-(Ce), синхизит-(Ce) и бастнезит-(Ce) (Касаткин и др., 2019), а также алланит-(Ce), альбит, ильменит, кальцит, кричтонит, монацит-(Ce), мусковит, ру-

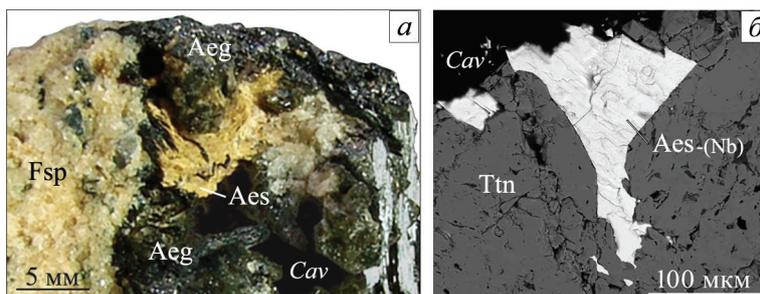


Рис. 6. Желтый эшинит-(Ce) (а, Aes) и оранжево-красный ниобозэшинит-(Ce) (б, Aes-Nb) из жилы № 125.

Fsp – полевой шпат, Aeg – эгирин, Ttn – титанит, Cav – полости растворения от кальцита. Коллекция А.М. Кузнецова (а – фото: В.А. Попов, б – BSE-фото, СЭМ Vega3 Tescan).

Fig. 6. Yellow aeschynite-(Ce) (a, Aes) and orange-red nioboaeschynite-(Ce) (б, Aes-Nb) from vein no. 125.

Fsp – feldspar, Aeg – aegirine, Ttn – titanite, Cav – cavities of dissolution of calcite. A.M. Kuznetsov's collection (a – photo by V.A. Popov, б – BSE-photo, SEM Vega3 Tescan).

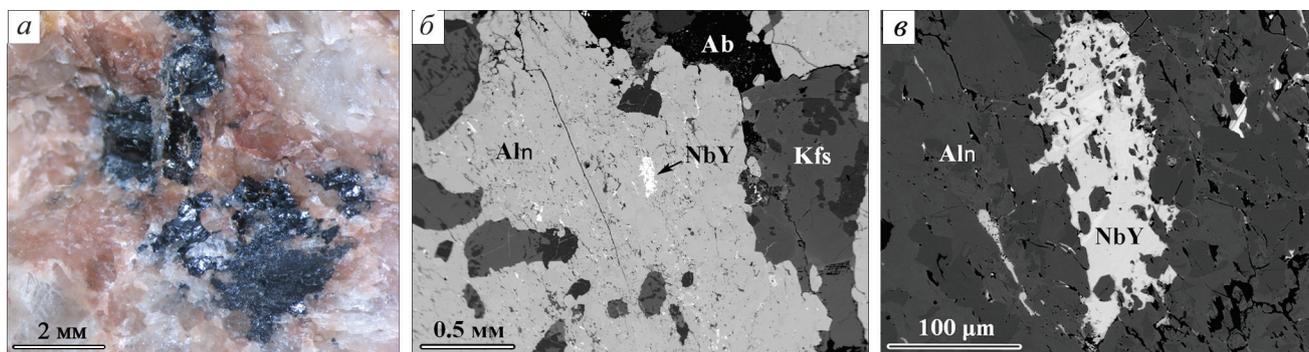


Рис. 7. Черные зерна эшинита-(Y) среди микроклина (Kfs) и кварца (а) и ниобозэшинит-(Y) (NbY) в алланите-(Ce) (Aln) с альбитом (Ab) и калиевым полевым шпатом (Kfs) (б, в).

а – общий вид агрегата, б, в – деталь образца, BSE-фото, СЭМ CamScan 4D.

Fig. 7. Black aeschynite-(Y) grains (а) in microcline (Kfs) and quartz (а) and nioboaeschynite-(Y) (NbY) in allanite-(Ce) (Aln) with albite (Ab) and K-feldspar (Kfs).

а – general view of sample; б, в – details of previous photo, BSE-photo, SEM CamScan 4D.

тил, титанит, торит, флюорит, фторапатит, циркон и шамозит. В исследованном эшините-(Y) определено 10.35 мас. % Y_2O_3 при пониженном количестве оксидов REE и суммы анализа (табл. 2, ан. 16).

Ниобозэшинит-(Y) (Y, Ln, Ca, Th)(Nb, Ta, Ti, Fe) $_2$ (O, OH) $_6$ выявлен А.В. Касаткиным при электронно-микроскопическом исследовании образца пегматита, найденного А.М. Кузнецовым в октябре 2018 г. в западном отвале жилы № 35. В образце встречено единственное включение этого минерала размерами 250×80 мкм в алланите-(Ce) в ассоциации с альбитом и калиевым полевым шпатом (рис. 7б, в). Зерно ниобозэшинита-(Y) имеет продолговатую форму, черный цвет и смоляной блеск. В этой же ассоциации установлены анкилит-(Ce), барит, бастнезит-(Ce), галенит, кальцит, колумбит-(Fe), колумбит-(Mn), гидроксикальциопирохлор, гидроксинатропирохлор, высоколантановый синхизит-(Ce), торит, торутит, фергусонит-(Y), циркон, шамозит и шеелит.

Химический состав ниобозэшинита-(Y), по сравнению с вышеуказанным эшинитом-(Y), характеризуется меньшим содержанием Y_2O_3 (3.81 мас. %), более высоким содержанием суммы REE $_2O_3$, но также пониженной суммой анализа (табл. 2, ан. 17). Относительно низкая сумма анализа является довольно типичной для минералов группы эшинита, а высокое содержание ThO_2 и UO_2 свидетельствует о его метамиктном состоянии и абсорбции некоторого количества неструктурной воды. Поскольку содержание ThO_2 существенно превышает количество UO_2 , то, согласно рекомендациям (Ewing, 1976), исследованный нами минерал отнесен к эшиниту (а не к поликразу, где $U > Th$). Методика рутинного дискриминантного анализа (Ercit, 2005) также позволяет отнести минерал к группе эшинита, поскольку сумма массовых процентов оксидов ($La_2O_3 + Ce_2O_3 + Pr_2O_3 + Sm_2O_3 + Eu_2O_3$) больше, чем коэффициент, учитывающий

Таблица 2

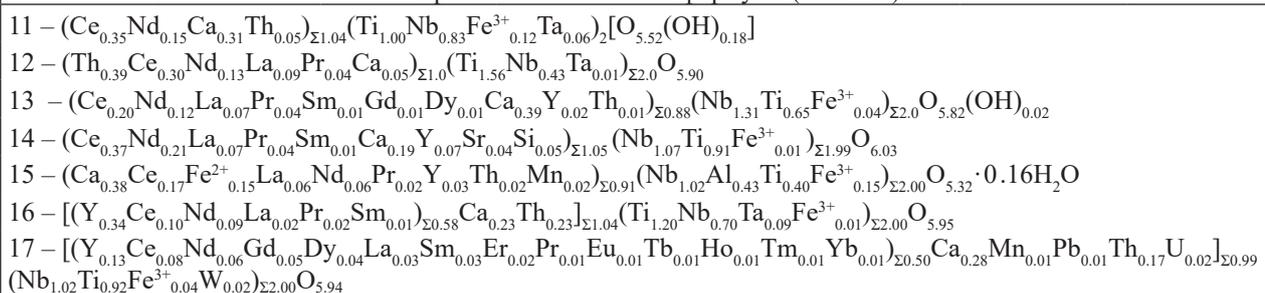
Химический состав (мас. %) желтого эшинита-(Ce), «тороэшинита», ниобозэшинита-(Ce), «алюмоэшинита», эшинита-(Y) и ниобозэшинита-(Y) из щелочных пегматитов Вишнёвых гор

Table 2

Chemical composition (wt. %) of yellow aeschynite-(Ce), «thoroeschynite», nioboeschynite-(Ce), «alumoeschynite», aeschynite-(Y), and nioboeschynite-(Y) from alkaline pegmatites, Vishnevye Mountains

№ обр.	1-Ce	2-Th	3-Nb	4-Nb	5-Al	6-Y	7-Nb-Y
№ ан.	11 ¹	12 ²	13 ³	14 ²	15 ³	16 ¹	17 ⁴
CaO	5.31	0.66	6.53	2.89	7.15	3.54	4.23
MnO	—	—	—	—	0.36	—	0.14
ThO ₂	3.69	26.90	0.86	—	1.83	16.23	11.85
UO ₂	—	—	—	—	—	0.15	1.22
Y ₂ O ₃	—	—	—	2.26	—	10.35	3.81
La ₂ O ₃	—	4.04	—	3.25	—	0.75	1.22
Ce ₂ O ₃	17.45	12.81	Σ23.58	16.98	18.89	4.25	3.43
Pr ₂ O ₃	—	1.67	—	1.66	—	1.06	0.25
Nd ₂ O ₃	7.69	5.81	—	9.99	—	4.01	2.78
Sm ₂ O ₃	—	—	—	0.66	—	0.45	1.47
Gd ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	2.55
Dy ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	2.11
Tb ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.30
Er ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	1.07
Yb ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.61
Ho ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.42
Tm ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.29
TiO ₂	24.47	32.49	15.61	20.25	10.76	26.05	19.71
Nb ₂ O ₅	33.94	14.89	52.22	39.58	45.48	25.10	36.14
Ta ₂ O ₅	3.79	0.52	—	—	—	5.22	0.15
Fe ₂ O ₃	2.92	—	0.87	0.31	7.68	0.24	0.80
WO ₃	—	—	—	—	—	—	1.30
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	7.37	—	—
H ₂ O	0.50	—	0.51	—	0.96	—	—
Сумма	99.76	99.79	100.18	99.74	100.48	97.40	96.43

Кристаллохимические формулы (на B = 2)



Примечание. Анализы: желтый эшинит-(Ce) – ан. 11, «тороэшинит» – ан. 12, ниобозэшинит-(Ce) – ан. 13, 14, «алюмоэшинит» – ан. 15, эшинит-(Y) – ан. 16, ниобозэшинит-(Y) – ан. 17. Минералы содержат (мас. %): ан. 14 – SrO 1.01, SiO₂ 0.90; ан. 17 – PbO 0.43; ¹ – СЭМ CamScan 4D; ² – SEM Tescan Vega3; ³ – (Еськова и др., 1964); ⁴ – Cameca SX 100. Формулы для химических анализов, заимствованных из работы (Еськова и др., 1964), рассчитаны нами с учетом относительных содержаний оксидов РЗЭ.

Note. Analyses: yellow aeschynite-(Ce) – an. 11, «thoroeschynite» – an. 12, nioboeschynite-(Ce) – an. 13, 14, «alumoeschynite» – an. 15, aeschynite-(Y) – an. 16, nioboeschynite-(Y) – an. 17; ¹ – СЭМ CamScan 4D; ² – SEM Tescan Vega3; ³ – (Eskova et al, 1964); ⁴ – Cameca SX 100. The minerals contain (wt. %) 1.01 SrO, 0.90 SiO₂ (an. 14) and 0.43 PbO (an. 17). Formulas for chemical analyses taken from (Eskova et al., 1964) are calculated by the authors taking into account of relative REE oxide contents.

содержания оксидов титана и ниобия (мас. %) и рассчитанный как $(0.326\text{TiO}_2 - 0.06\text{Nb}_2\text{O}_5 + 3.1)$.

Ниобозшинит-(Y) является редким минералом. Впервые он был описан в провинции Онтарио, Канада (Bermanec et al., 2008), а в ресурсе www.mindat.org упоминаются еще две страны, в которых он был найден (Финляндия и Южная Корея). Находки его на территории России до настоящего времени нам неизвестны.

Заключение

В щелочно-сиенитовых пегматитах и поздних кварцсодержащих прожилках с амфиболом Вишнёвых гор минералы группы эшинита представлены эшинитом-(Ce), высокоториевым эшинитом-(Ce) («тороэшинитом»), ниобозшинитом-(Ce), эшинитом-(Y) и ниобозшинитом-(Y), а также предполагающимся «алюмоэшинитом». Эти минералы характеризуются существенными вариациями химического состава, формы кристаллов и цвета.

В генетическом отношении необходимо пересмотреть утверждение, что минералы группы эшинита Вишневогорского комплекса преимущественно образовались в процессе метасоматоза и являются метакристаллами (Еськова и др., 1964). Препарирование поверхностей кристаллов эшинита-(Ce) и анализ его взаимоотношений с другими минералами показали наличие индукционных поверхностей сокристаллизации с окружающими первичными минералами пегматитов, указывая на их одновременный или частично одновременный рост. Ростовая зональность состава в исследованных минералах не проявлена (в BSE). Однако, в кристаллах эшинита-(Ce) из наиболее богатой этим минералом серии жил № 133 вариации содержаний ряда компонентов в пирамидах роста граней разных простых форм отражают слабо проявленную зональность и секториальность.

Для жил биотитовых сиенитовых пегматитов характерны эшинит-(Ce) и «тороэшинит». В кальцит-эгирин-полевошпатовых пегматитах и кварц-арфведсонитовых жилах развит ниобозшинит-(Ce); там же отмечен требующий дальнейшего изучения «алюмоэшинит». Эшинит-(Y) и ниобозшинит-(Y) выявлены в аннит-полевошпатовых агрегатах с силикатами и карбонатами редкоземельных элементов; находка ниобозшинита-(Y), вероятно, является первой в России.

Авторы благодарны В.А. Котлярову, И.А. Блинову и Р. Шкоде за ряд электронно-зондовых анализов и С.Г. Епанчинцеву – за предоставление некоторых образцов эшинита, а также И.В. Пекову, Е.В. Белогуб и И.Ю. Мелекесцевой – за конструктивные замечания. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы АААА-А17-117020250032-1 Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН.

Литература

Бонштедт-Куплетская Э.М. (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. Москва, АН СССР, 175 с.

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. Москва, Наука, 320 с.

Исаков М.Г. (1952*ф*) Материалы к изучению и промышленной оценке Вишневогорского месторождения редких земель. Свердловск, Уральская экспедиция треста «Союзредметразведка», 27 с.

Исаков М.Г., Свяжин Н.В., Авдонин В.Н. (1961*ф*) Редкоземельные минералы и некоторые особенности их распределения в щелочном комплексе Вишнёвых гор. Свердловск, НИИ «Уралмеханобр», 98 с.

Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н., Казакова М.Е. (1960) Парагенетические ассоциации акцессорных минералов редких элементов в экзоконтактных фенитизированных породах интрузии миаскитов Вишнёвых гор. *Вопросы минералогии, геохимии и генезиса месторождений редких элементов*. Труды ИМГРЭ, вып. 4. Москва, АН СССР, 51–73.

Касаткин А.В., Шкода Р., Нестола Ф., Кузнецов А.М., Белогуб Е.В., Агаханов А.А. (2019) Рентгенит-(Ce) и другие фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35, Вишнёвые горы, Южный Урал. *Минералогия*, 5(2), 10–22.

Минералы: Справочник (1967). Том 2, вып. 3. Москва, Наука, 360–371 (эшинит).

Муфтахов В.А. (1999) Неоднородности состава эшинита из жилы 133 Вишнёвых гор. *Металлогения древних и современных океанов-99. Рудоносность гидротермальных систем*. Миасс, ИМин УрО РАН, 183–185.

Поляков В.О., Баженова Л.Ф. (1989) Акцессорная редкометалльно-редкоземельная минерализация в апогипербазитовых фенитах и карбонатитах Ильменогорско-вишневогорского комплекса. *Минералы и минеральное сырьё горно-промышленных районов Урала*. Свердловск, УрО РАН, 11–19.

Попов В.А. (2019) Концентрически-зональный агрегат редкоземельных минералов в полевошпатовом пегматите Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, 5(1), 24–28.

Bermanec V., Tomašić N., Kniewald G., Back M.E., Zagler G. (2008) Niobaeschynite-(Y), a new member of the

aeschnite group from the Bear Lake diggings, Haliburton County, Ontario, Canada. *Canadian Mineralogist*, **46**(2), 395–402.

Ercit T.S. (2005) Identification and alteration trends of granitic-pegmatite-hosted (Y,REE,U,Th)—(Nb,Ta,Ti) oxide minerals: a statistical approach. *Canadian Mineralogist*, **43**(4), 1291–1303.

Ewing R.C. (1976). A numerical approach toward the classification of complex, orthorhombic, rare-earth, AB_2O_6 Nb–Ta–Ti oxides. *Canadian Mineralogist*, **14**(2), 111–119.

References

Bermanec V., Tomašić N., Kniewald G., Back M.E., Zagler G. (2008) Nioboaeschnite-(Y), a new member of the aeschnite group from the Bear Lake diggings, Haliburton County, Ontario, Canada. *Canadian Mineralogist*, **46**(2), 395–402.

Bonshtedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishneve Mountains]. Moscow, AN USSR, 175 p. (in Russian)

Ercit T.S. (2005) Identification and alteration trends of granitic-pegmatite-hosted (Y,REE,U,Th)—(Nb,Ta,Ti) oxide minerals: a statistical approach. *Canadian Mineralogist*, **43**(4), 1291–1303.

Es'kova E.M., Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N. (1964) [Mineralogy and Geochemistry of rare elements of Vishneve Mountains]. Moscow, Nauka, 320 p. (in Russian)

Ewing R.C. (1976). A numerical approach toward the classification of complex, orthorhombic, rare-earth, AB_2O_6 Nb–Ta–Ti oxides. *Canadian Mineralogist*, **14**(2), 111–119.

Isakov M.G. (1952*φ*) [Materials for the study and industrial assessment of the Vishnevogorsk rare earths deposit]. Sverdlovsk, Ural'skaya ekspeditsiya tresta «Soyuzredmetrazvedka», 27 p. (in Russian)

Isakov M.G., Svyazhin N.V., Avdonin V.N. (1961) [Rare earth minerals and some features of their distribution in the alkaline complex of Vishneve Mountains]. NII «Uralmekhanobr», Sverdlovsk, 98 p. (in Russian)

Kasatkin A.V., Škoda R., Nestola F., Kuznetsov A.M., Belogub E.V., Agakhanov A.A. (2019) [Roentgenite-(Ce) and other REE-fluorocarbonates from the Vein No. 35, Vishneve Mountains, South Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(2), 10–22. (in Russian)

Minerals: Handbook (1967). Volume 2, Issue 3. Moscow, Nauka, 360–371 (aeschnite). (in Russian)

Muftakhov V.A. (1999) [Heterogeneity of aeschnite from Vein No. 133 of Vishneve mountains]. *Metallogeniya drevnich i sovremennykh okeanov-99 [Metallogeny of ancient and modern oceans-99. Ore content of hydrothermal systems]*. Miass, IMin UrO RAN, 183–185. (in Russian)

Polyakov V.O., Bazhenova L.F. (1989) [Accessory rare-metal – rare-earth mineralization in the apohyperbasitic phenite and carbonatites of the Ilmenogorsky-Vishnevogorsky complex]. *Mineraly i mineralnoe syr'e gorno-promyshlennykh regionov Urala [Minerals and mineral raw material of the mining-industrial regions of the Urals]*. Sverdlovsk, UrO RAN, 11–19. (in Russian)

Popov V.A. (2019) [Concentric-zonal aggregate of REE minerals in feldspar pegmatite of the Vishneve Mountains, South Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 24–28. (in Russian)

Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N., Kazakova M.E. (1960) [Paragenetic associations of accessory minerals of rare elements in exocontact phenitized rocks of the Vishneve Mountain miaskite intrusion]. In: Questions of mineralogy, geochemistry and genesis of deposits of rare elements. *Trudy IMGRE [Proceedings IMGRE]*, **4**. Moscow, AN USSR, 51–73. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 17 октября 2019 г.