

АЛЛАНИТ-(Nd) ИЗ САПФИРИНОВОЙ КОПИ, ЮЖНЫЙ УРАЛ: ПЕРВАЯ НАХОДКА В РОССИИ

А.В. Касаткин¹, Р. Шкода², А.М. Кузнецов³

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18, корп. 2, г. Москва, 119071 Россия; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Масариков университет, Котлариска 2, г. Брно, 611 37 Чехия

³ул. Октябрьская 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия

ALLANITE-(Nd) FROM SAPFIRINOVAYA PIT, SOUTHERN URALS: FIRST FIND IN RUSSIA

A.V. Kasatkin¹, R. Škoda², A.M. Kuznetsov³

¹Fersman Mineralogical Museum RAS, Leninsky pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Masaryk University, Kotlářská 2, Brno, 611 37 Czech Republic

³Oktyabrskaya str., 5-337, Chelyabinsk, 454071 Russia

Алланит-(Nd) с формулой $(Ca_{1.20}Mn_{0.02}Nd_{0.33}Ce_{0.21}Sm_{0.07}Pr_{0.06}La_{0.03}Gd_{0.02}Y_{0.01})_{\Sigma 1.95}(Al_{1.94}Fe^{2+}_{0.46}Fe^{3+}_{0.42}Mg_{0.08}Sc_{0.06}Ti_{0.01})_{\Sigma 2.97}[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$ установлен в виде черных кристаллов и зерен до 0.12 мм в сапфиринодержащих породах Сапфириновой копи в окрестностях пос. Тайгинка Кыштымского района Челябинской области. Это первая достоверная находка минерала в России. Сильные полосы спектра КР минерала (106, 205, 283, 321, 385, 444, 495, 568, 688, 874, 970, 1051 cm^{-1}) показывают его принадлежность к структурной группе алланита надгруппы эпидота. В ассоциации с алланитом-(Nd) обнаружены давидит-(Ce) и монацит-(Nd) (первые находки на Южном Урале).

Илл. 5. Табл. 3. Библ. 18.

Ключевые слова: алланит-(Nd), Сапфириновая копь, Тайгинка, Южный Урал, первая находка минерала в России, давидит-(Ce), монацит-(Nd).

Allanite-(Nd) $(Ca_{1.20}Mn_{0.02}Nd_{0.33}Ce_{0.21}Sm_{0.07}Pr_{0.06}La_{0.03}Gd_{0.02}Y_{0.01})_{\Sigma 1.95}(Al_{1.94}Fe^{2+}_{0.46}Fe^{3+}_{0.42}Mg_{0.08}Sc_{0.06}Ti_{0.01})_{\Sigma 2.97}[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$ was found first in Russia as black crystals and grains up to 0.12 mm in size in a sapphirine-bearing rock of the Sapfirinovaya pit, near settlement of Tayginka in Kyshtym area of Chelyabinsk district, Southern Urals. According to strong bands of Raman spectrum of allanite-(Nd) (106, 205, 283, 321, 385, 444, 495, 568, 688, 874, 970, 1051 cm^{-1}), it belongs to the allanite group of the epidote supergroup. Allanite-(Nd) is associated with davidite-(Ce) and monazite-(Nd) (first finds in Southern Urals).

Figures 5. Tables 3. References 18.

Key words: allanite-(Nd), Sapfirinovaya Pit, Tayginka, Southern Urals, first find of mineral in Russia, davidite-(Ce), monazite-(Nd).

Введение

Алланит-(Nd) $CaNd(Al_2Fe^{2+})[Si_2O_7][SiO_4](OH)$, относящийся к группе алланита надгруппы эпидота, в качестве самостоятельного минерального вида был впервые описан на шведском месторож-

дении Аскаген (Škoda et al., 2012). Ранее, еще до присвоения ему официального статуса Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА, сообщалось о находках Nd-доминантных составов для алланита из гранитных пегматитов Ла Кабрера в Испании (González

del Tánago, 1997), Риоке и Хиросима в Японии (Minakawa et al., 2001) и полевошпатовом руднике Кингман в штате Аризона, США (Hanson et al., 2012). В августе 2018 г. в ходе поездки по Южному Уралу авторы посетили Сапфириновую копь в окрестностях пос. Тайгинка Кыштымского района Челябинской области и отобрали каменный материал (рис. 1), в котором были установлены алланит-(Nd) и ряд других редких минералов. Описанная ниже находка алланита-(Nd) является первой в России, и, вероятно, пятой в мире для данного минерального вида.

Местонахождение алланита-(Nd)

Обнажение измененных ультраосновных пород, известное как Сапфириновая копь, вскрыто в борту небольшой дорожной выемки на обочине проселочной грунтовой дороги, приблизительно в 3 км юго-западнее пос. Тайгинка (55°36'21.6" с.ш. и 60°27'43.3" в.д.) (Кориневский и др., 2016). Первое упоминание этого объекта в литературе датируется серединой 1980-х гг. (Ленных и др., 1986), однако только недавно В.Г. Кориневский с соавторами (2016, 2017) дали его подробное описание и геологическую схему.

В геологическом отношении Сапфириновая копь относится к Тайгинскому участку Ильмено-Вишневогорского комплекса. В северной придорожной выемке высотой около 2 м на протяжении 20 м наблюдаются выходы меланократовых полнокристаллических массивных пород. Основной объем обнажения слагают средне- и крупнозернистые оливинсодержащие амфиболовые ортопироксены, восточнее которых располагается вертикально залегающее тело гигантозернистых энстатитов мощностью 1.2 м, сложенное светло-бурыми расщепленными кристаллами энстатита. К востоку от энстатитов на протяжении 3 м преобладают специфические массивные горнблендиты неравнозернистой структуры, сложенные преимущественно амфиболом паргасит-чермакитового состава, шпинелью и сапфирином (Кориневский и др., 2016, 2017). Именно присутствие в обнажении породообразующего сапфирина, в отдельных участках слагающего до 40 % объема породы, дало название всей копии.



Рис. 1. Отбор образцов из Сапфириновой копии. Фото: М.Ю. Аносов.

Fig. 1. Collecting samples from Sapfirinovaya pit. Photo: M. Yu. Anosov.

Методы исследования

Предварительный полуколичественный анализ химического состава минералов выполнен в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва) на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4D с использованием энергодисперсионного спектрометра и микроанализатора INCA Energy при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе зонда 5 нА на металлическом кобальте и диаметре зонда 5 мкм.

Химический состав минералов также был изучен в лаборатории электронной микроскопии и микроанализа Департамента геологических наук Масарикова университета (г. Брно, Чехия) с помощью волнового электронно-зондового микроанализатора Cameca SX 100 при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе зонда 20 нА, диаметре зонда 2 мкм и времени накопления импульсов на пике – 10 с для основных элементов и 20–120 с для второстепенных. В качестве стандартов использовались NaK_{α} (альбит), MgK_{α} (Mg_2SiO_4), AlK_{α} , SiK_{α} (санидин), PK_{α} (фторопатит), KK_{α} (ортоклаз), CaK_{α} (волластонит), ScK_{α} ($ScVO_4$), TiK_{α} (анатаз Хардангервида), VK_{β} (ванадинит), MnK_{α} (спессартин), FeK_{α} (альмандин),



Рис. 2. Сапфириносодержащая порода в руках у Радека Шкоды – первооткрывателя алланита-(Nd).

Fig. 2. Radek Škoda, the discoverer of allanite-(Nd), holding samples of a sapphirine-bearing rock.

SrL_{α} ($SrSO_4$), YLa_{α} (YAG), ZrL_{α} (циркон), NbL_{α} (колумбит Ивигтут), LaL_{α} ($LaPO_4$), CeL_{α} ($CePO_4$), PrL_{β} ($PrPO_4$), NdL_{β} ($NdPO_4$), SmL_{β} ($SmPO_4$), EuL_{β} ($EuPO_4$), GdL_{β} ($GdPO_4$), DyL_{β} ($DyPO_4$), YbL_{α} ($YbPO_4$), TaL_{α} ($CrTa_2O_6$), ThM_{α} ($CaTh(PO_4)_2$) и UM_{β} (U).

Спектр комбинационного рассеяния света (КР) для алланита-(Nd) получен в лаборатории рамановской спектроскопии Масарикова университета. Спектр зарегистрирован на спектрометре Horiba LabRAM HR Evolution, оснащённом оптическим микроскопом Olympus BX 41, голографической решёткой (600 штрих/мм) и CCD детектором на основе кремния с охлаждением Пельтье. Источником монохроматического возбуждающего излучения служил полупроводниковый лазер с рабочей длиной волны излучения 633 нм и выходной мощностью 5 мВт. Эффективный диаметр лазерного пучка вблизи поверхности образца составил около 2.6 мкм. КР спектр регистрировался в 180-градусной геометрии рассеяния в диапазоне 100–1500 cm^{-1} со спектральным разрешением $\sim 2 cm^{-1}$.

Результаты и их обсуждение

Изученная сапфириносодержащая порода имеет голубовато-серый цвет, грубозернистую структуру (рис. 2) и сложена, главным образом, сапфирином, клинохлором, паргаситом и шпинелью. К числу второстепенных минералов относятся альбит, ильменит, мусковит, рутил и Cl-содержащий фторапатит. В аксессуарных количествах встречены барит,

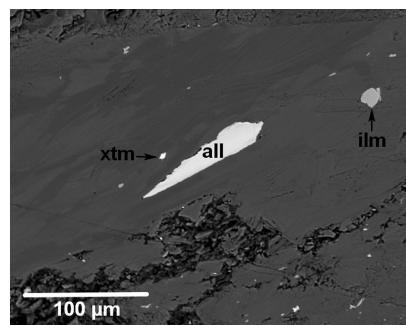


Рис. 3. Удлиненный кристалл алланита-(Nd) (all) в сапфирине (серый) и клинохлоре (темно-серый) в ассоциации с зернами ксенотима-(Y) (xtm) и ильменита (ilm). BSE фото.

Fig. 3. Elongated crystal of allanite-(Nd) (all) in sapphirine (gray) and clinocllore (dark-gray) associated with xenotime-(Y) (xtm) and ilmenite (ilm) grains. BSE image.

магнетит, U-содержащий торинанит, торит, циркон, чералит и минералы РЗЭ. Последние представлены членами группы алланита, минералом группы кричтонита, определенным нами как давидит-(Ce), и фосфатами групп монацита и ксенотима. Учитывая имеющиеся данные, на данный момент корректно определить временные соотношения минералов между собой не представляется возможным.

Алланит-(Nd) образует редкие (20 зерен и кристаллов в трех шлифах) зерна неправильной формы и удлиненные кристаллы размером до 0.12×0.025 мм (рис. 3). Минерал имеет черный цвет, стеклянный блеск, просвечивает в тонких сколах. Наблюдается умеренный плеохроизм в серовато-коричневых тонах. По содержанию Nd_2O_3 минерал близок к алланиту-(Nd) месторождения Аскаген (9.93 (0.33 а.ф.) и 9.91 (0.34 а.ф.) мас. %, соответственно), однако уступает ему по общему количеству РЗЭ (21.6 и 24.0 мас. %, соответственно) (табл. 1). Интересной особенностью химического состава уральского минерала является небольшая, но устойчивая примесь Sc_2O_3 (до 0.8 мас. %). Следует также отметить химическую однородность изученных зерен: Nd в них доминирует над другими РЗЭ, и вариативность химического состава, часто присущая алланиту, практически отсутствует.

К сожалению, мелкий размер агрегатов и трудности с их извлечением ввиду высокой твердости вмещающей породы не позволили изучить мине-

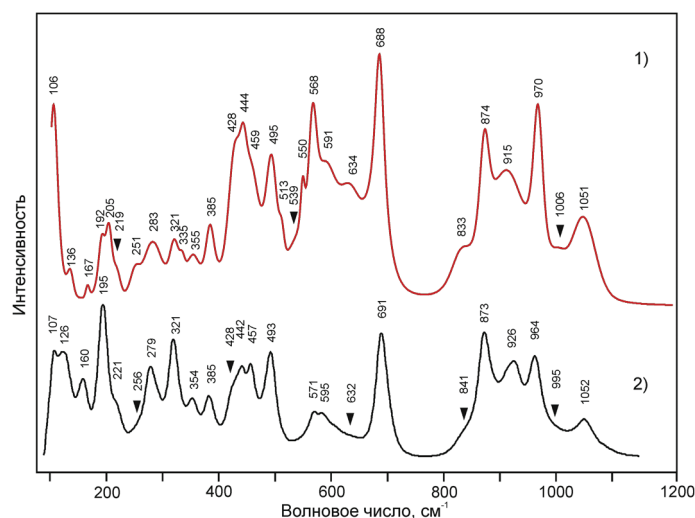


Рис. 4. КР спектры алланита-(Nd) из Сапфириновой копи (1) и гранитного пегматита Аскаген (2), Швеция (Čorjaková et al., 2015).

Fig. 4. Raman spectra of allanite-(Nd) from Sappfirinovaya pit (1) and Åskagen granitic pegmatite (2), Sweden (Čorjaková et al., 2015).

рал рентгенографическим методом, однако полученный КР спектр отвечает структурному типу минералов надгруппы эпидота и имеет полное сходство с КР спектром алланита-(Nd) из Швеции (рис. 4). Характеристические полосы спектра проинтерпретированы, следуя данным (Wang et al., 1994; Makreski et al., 2007; Lopéz, Frost, 2015). Сильные полосы в диапазоне 800–1100 cm^{-1} соответствуют симметричным валентным колебаниям связей $\text{Si}-\text{O}_{\text{nb}}$, (где O_{nb} – немостиковый атом кислорода) анионов $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ и $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Полосы при 591, 634 и 688 cm^{-1} можно отнести к валентным колебаниям $\text{Si}-\text{O}_{\text{b}}-\text{Si}$ связей, где O_{b} – мостиковый атом кислорода диортогруппы Si_2O_7 . Полосы при 428, 444, 550 и 568 cm^{-1} интерпретируются как деформационные моды $\text{Si}-\text{O}_{\text{b}}-\text{Si}$, в то время как остальные полосы в диапазоне 300–550 cm^{-1} отвечают колебаниям $M-\text{O}$ связей (M – атомы металлов). Сильные полосы в диапазоне до 300 cm^{-1} относятся к решеточным колебаниям.

Помимо алланита-(Nd) в сапфиринсодержащих породах электронно-зондовым методом установлены алланит-(Ce) и диссакисит-(Ce) (табл. 1). Подобно алланиту-(Nd) они слагают зерна размером не более 0.1 мм, но встречаются реже: в трех шлифах установлено только четыре зерна алланита-(Ce) и одно – диссакисита-(Ce).

Алланит (без указания суффикса Левинсона) ранее отмечался в качестве акцессорного минерала сапфиринсодержащих пород копи (Кориневский и др., 2016, 2017). В более поздней работе при-

веден один электронно-зондовый анализ, отнесенный авторами к алланиту (Кориневский и др., 2017). Однако наш расчет эмпирической формулы этого анализа показывает, что он скорее отвечает не алланиту, а диссакиситу-(Ce). К сожалению, в нем, скорее всего, пропущена часть РЗЭ, поэтому сумма катионов в крупнокатионных позициях $A1$ и $A2$ ($\text{Ca} + \text{REE}$) составляет 1.78 а.ф., и, таким образом, качество этого анализа не позволяет однозначно идентифицировать минерал.

Давидит-(Ce) – редкий минерал группы кричтонита – образует зерна сложной формы и таблитчатые кристаллы до 0.05 мм (рис. 5). Несмотря на мелкий размер, они встречаются часто: в трех шлифах обнаружено около 50 зерен. Вариации химического состава в нем шире, чем в алланите. Из более десятка сделанных нами анализов в табл. 2

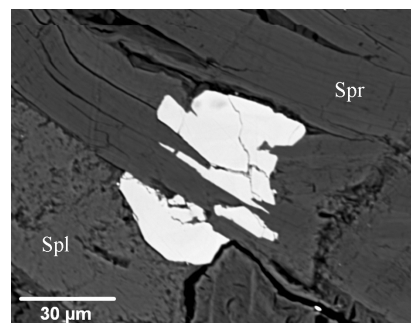


Рис. 5. Зерно давидита-(Ce) (белый) на контакте сапфирина (Spr) и шпинели (Spl). BSE фото.

Fig. 5. Davidite-(Ce) grain (white) at the contact between sapphirine (Spr) and spinel (Spl). BSE image.

Химический состав (мас. %) минералов группы кричтонита из ассоциации с алланитом-(Nd) в Сапфириновой копи

Table 2

Chemical composition (wt. %) of the crichtonite group minerals associated with allanite-(Nd) from Sapfirinovaaya pit

№ ан.	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	SrO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	MnO	FeO*	Y ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	TiO ₂	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Сумма
1	0.08	0.01	1.12	0.71	0.40	2.23	0.97	0.27	8.05	2.91	0.25	0.24	0.07	0.07	0.40	1.10	1.20	2.24	17.30	57.93	0.30	0.03	0.06	97.95
2	0.06	0.11	0.91	0.64	0.55	2.67	0.66	0.22	6.74	3.35	0.38	0.30	0.02	0.10	0.32	0.84	0.76	4.60	18.51	56.53	0.18	0.10	0.11	98.65
3	0.07	0.01	1.18	0.88	0.30	2.03	0.86	0.28	8.24	2.36	0.14	0.07	0.02	0.02	0.41	1.19	1.32	2.16	17.05	58.41	0.28	0.01	0.05	97.34

Эмпирические формулы, рассчитанные на O = 38 и сумму катионов в позициях B + C + T = 21

1	(Ce _{0.24} Nd _{0.10} La _{0.04} Ca _{0.36} Sr _{0.12} Na _{0.05}) _{20.91} (Y _{0.46} Gd _{0.02} Dy _{0.02} Fe ²⁺ _{0.43} Mn _{0.07}) _{21.00} (Ti _{13.08} Fe ³⁺ _{3.89} Fe ²⁺ _{1.59} V ³⁺ _{0.52} Al _{0.39} Sc _{0.31} Mg _{0.18} Zr _{0.04}) _{20.00} O ₃₈
2	(Ce _{0.29} Nd _{0.07} La _{0.06} Ca _{0.29} Sr _{0.11} K _{0.04} Na _{0.03}) _{20.89} (Y _{0.53} Gd _{0.04} Dy _{0.04} Fe ²⁺ _{0.06} Mn _{0.06} U _{0.01}) _{21.00} (Ti _{12.71} Fe ³⁺ _{4.15} Fe ²⁺ _{1.35} V ³⁺ _{1.10} Al _{0.30} Sc _{0.20} Mg _{0.14} Zr _{0.03} Nb _{0.01} Ta _{0.01}) _{20.00} O ₃₈
3	(Ce _{0.22} Nd _{0.09} La _{0.03} Ca _{0.38} Sr _{0.15} Na _{0.04}) _{20.91} (Y _{0.38} Gd _{0.01} Dy _{0.01} Fe ²⁺ _{0.53} Mn _{0.07}) _{21.00} (Ti _{13.11} Fe ³⁺ _{3.82} Fe ²⁺ _{1.55} V ³⁺ _{0.54} Al _{0.42} Sc _{0.34} Mg _{0.18} Zr _{0.04}) _{20.00} O ₃₈

Примечание. 1, 2 – давидит-(Ce); 3 – незазванный минерал гр. кричтонита; * – отношение Fe²⁺/Fe³⁺ рассчитано по балансу зарядов.

Note. 1, 2 – davidite-(Ce); 3 – unnamed mineral of the crichtonite group; * – Fe²⁺/Fe³⁺ ratio was calculated by charge balance.

приведены два, представительно отражающие эти колебания состава. Если записать общую структурную формулу минералов группы кричтонита как $X^{II}A^VI B^VI C_{18}^{IV} T_2(\Phi)_{38}$ (римскими цифрами указаны координационные числа), где $X^{II}A = Ba, K, Pb, Sr, La, Ce, Na, Ca$; $^VI B = Mn, Y, U, Fe, Zr, Sc$; $^VI C = Ti, Fe, Cr, Nb, V, Mn, Al$; $^{IV} T = Fe, Mn, Mg, Zn$; $(\Phi)_{38} = O, (OH), F$ (Wülser et al., 2004), то наибольшие колебания в соотношении элементов фиксируются в позициях A и B. В частности, в одном из зерен установлены участки состава $Ca > REE$ и $Fe^{2+} > (Y, REE)$ в атомных количествах (табл. 2, ан. 3), не отвечающие ни одному из известных минеральных видов группы кричтонита. Как и в алланите-(Nd), в давидите-(Ce) фиксируется устойчивая примесь Sc_2O_3 (до 1.2 мас. %).

Ранее «хромсодержащий давидит-(Ce)» из копи № 97 Ильменских гор отмечался в сводке по минералам Южного Урала (Колисниченко и др., 2017) со ссылкой на работу В.О. Полякова 1988 г. Однако в списке литературы полное название работы не приводится, поэтому первоисточник информации о давидите-(Ce) не ясен. Предположительно, речь может идти о статье (Поляков, Вилисова, 1988), но приведенный в ней химический анализ неполный (суммы 90.80–93.20 мас. %) без измерения некоторых важных элементов, поэтому достоверно определить, о каком именно минерале группы кричтонита идет речь, не представляется возможным. «Редкоземельный давидит», найденный в сиенитовом пегматите в стенке карьера на западном склоне Ильменских гор и описанный В.О. Поляковым с соавторами (1986), также не является давидитом-(Ce), так как имеет $La > Ce$ и $Ca > REE$. Наконец, химический анализ давидита из сиенит-пегматитов Вишнёвых гор (Жабин и др., 1963; Еськова и др., 1964) соответствует давидиту-(La). Весьма вероятно, что наша находка давидита-(Ce) из Сапфириновой копи является первой для Южного Урала.

Фосфаты РЗЭ, ассоциирующие с алланитом-(Nd) и давидитом-(Ce), представлены монацитом-(Nd), монацитом-(Ce) и ксенотимом-(Y).

Монацит-(Nd) установлен в виде единичных зерен до 0.01 мм. Сумма анализа свидетельствует именно о монаците, а не о рабдофане-(Nd), который содержал бы около 7 мас. % H₂O (табл. 3). Монацит-(Nd) является редким минералом. Ранее на Урале он отмечался в зональных кристаллах монацита из кварцевых жил месторождения Желанное, Приполярный Урал (Репина, 2007). Наша наход-

Таблица 3

Химический состав (мас. %) фосфатов РЗЭ из ассоциации с алланитом-(Nd) в Сапфириновой копи

Table 3

Chemical composition (wt. %) of REE phosphates associated with allanite-(Nd) from Sapfirinovaya pit

№ ан.	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Сумма
1	1.51	–	2.25	20.64	3.90	27.59	7.30	2.53	3.15	–	–	31.15	100.02
2	2.54	–	20.65	33.71	1.88	9.31	–	–	–	–	–	31.55	99.64
3	–	46.71	–	–	–	–	–	–	–	8.47	6.44	37.88	99.50
Эмпирические формулы, рассчитанные на O = 4													
1	(Nd _{0.38} Ce _{0.29} Sm _{0.10} Pr _{0.06} Gd _{0.04} La _{0.03} Eu _{0.03} Ca _{0.06}) _{Σ0.99} P _{1.02} O ₄												
2	(Ce _{0.47} La _{0.29} Nd _{0.13} Pr _{0.03} Ca _{0.10}) _{Σ1.02} P _{1.01} O ₄												
3	(Y _{0.80} Dy _{0.09} Yb _{0.06}) _{Σ0.95} P _{1.03} O ₄												

Примечание. 1 – монацит-(Nd); 2 – монацит-(Ce); 3 – ксенотим-(Y).

Note. 1 – monazite-(Nd); 2 – monazite-(Ce); 3 – xenotime-(Y).

ка является, вероятно, первой на Южном Урале. **Монацит-(Ce)** представлен редкими зернами до 0.05 мм (табл. 3). **Ксенотим-(Y)** установлен в виде многочисленных (около 30 в трех шлифах) мелких зерен размером не более 0.01 мм (табл. 3).

Заключение

Несмотря на небольшую площадь, занимаемую Сапфириновой копью, этот объект несомненно представляет значительный минералогический интерес. Изучение сапфиринсодержащих пород копи предыдущими исследователями выявило присутствие в них тридцати минералов, включая редкие шриланкит и магнезиохёгбомит (Кориневский и др., 2016, 2017). Наши исследования добавили в кадастр минералов этой копи еще несколько редких минеральных видов, при этом алланит-(Nd) найден впервые в России, а ассоциирующие с ним давидит-(Ce) и монацит-(Nd) – впервые на Южном Урале. Все сказанное наглядно показывает, что изучение Сапфириновой копи и ее минералогии необходимо продолжать.

Авторы выражают искреннюю признательность И.В. Пекову, В.И. Поповой и Е.В. Белогуб за ценные замечания и редакторскую правку настоящей статьи, В.А. Попову – за содействие в нахождении литературных источников по уральскому давидиту, а М.Ю. Аносову – за помощь при проведении полевых работ и предоставленные фотографии Сапфириновой копи.

Литература

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов И.Г. (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М., Наука, 319 с.

Жабин А.Г., Воронков А.А., Казакова М.Е., Халезова Е.Б. (1963) Новые данные об акцессорном давидите из Вишнёвых гор на Урале и о так называемом уфертите и ферутите. *Труды ИМГРЭ*, **15**, 110–120.

Колисниченко С.В., Попов В.А., Епанчинцев С.Г., Кузнецов А.М. (2017) Минералы Южного Урала. Минералы Челябинской области. Энциклопедия уральского камня. Челябинск, Санарка, 416 с.

Кориневский В.Г., Котляров В.А., Кориневский Е.В., Миронов А.Б., Штенберг М.В. (2016) Магнезиохёгбомит (Mg,Fe²⁺,Zn)₈(Al,Ti,Fe³⁺)₂₀O₃₈(OH)₂ из Ильмено-Вишневогорского комплекса. *Минералогия*, **2(2)**, 20–33.

Кориневский В.Г., Кориневский Е.В., Котляров В.А., Лебедева С.М., Блинов И.А., Миронов А.Б., Штенберг М.В. (2017) Сапфирин-шпинелевые горнблендиты Ильмено-Вишневогорского комплекса. *Литосфера*, **1**, 68–95.

Ленных В.И., Рассказова А.Д., Петров В.И. (1986) Сапфирин-шпинелевая ассоциация Ильмено-Вишневогорского комплекса. *Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 76–77.

Поляков В.О., Баженова Л.Ф., Иванушкин А.Г. (1986) Акцессорный редкоземельный давидит Ильменских гор. *Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 102–104.

Поляков В.О., Вилисов В.А. (1988) Новая находка акцессорного давидита в Ильменских горах. *Новые данные по минералогии Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 27–28.

Репина С.А. (2007). Монацит как индикатор геологических процессов при формировании кварцевых жил месторождения Желанное (Приполярный Урал). *Записки РМО*, **136**(4), 81–96.

Čopjaková R., Škoda R., Galiová M.V., Novák M., Cempírek J. (2015) Sc-and REE-rich tourmaline replaced by Sc-rich REE-bearing epidote-group mineral from the mixed (NYF + LCT) Kracovice pegmatite (Moldanubian Zone, Czech Republic). *American Mineralogist*, **100**(7), 1434–1451.

González del Tánago J. (1997) Allanite-(Nd) y minerales de elementos raros en las pegmatitas graníticas de La Cabrera, Madrid (Sistema Ibérico Central). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **10**(1–2), 83–105. (in Spanish)

Hanson S.L., Falster A.U., Simmons W.B., Brown T.A. (2012) Allanite-(Nd) from the Kingman feldspar mine, Mojave pegmatite district, northwestern Arizona, USA. *Canadian Mineralogist*, **50**(4), 815–824.

López A., Frost R.L. (2015) Identification of allanite (Ce, Ca, Y)₂(Al, Fe³⁺)₃(SiO₄)₃OH found in marble from Chillagoe, Queensland using Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **138**, 229–233.

Makreski P., Jovanovski G., Kaitner B., Gajović A., Biljan T. (2007) Minerals from Macedonia: XVIII. Vibrational spectra of some sorosilicates. *Vibrational Spectroscopy*, **44**(1), 162–170.

Minakawa T., Funakoshi N., Morioka H. (2001) Chemical properties of allanite from the Ryoke and Hirosima granite pegmatites in Shikoku, Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Ehime University*, **7**, 1–13 (in Japanese with English abstract).

Škoda R., Cempírek J., Filip J., Novák M., Veselovsky F., Čtvrtlík R. (2012) Allanite-(Nd), CaNdAl₂Fe²⁺(SiO₄)₃(Si₂O₇)O(OH), a new mineral from Askagen, Sweden. *American Mineralogist*, **97**(5–6), 983–988.

Wang A., Han J., Guo L., Yu J., Zeng P. (1994) Database of standard Raman spectra of minerals and related inorganic crystals. *Applied Spectroscopy*, **48**(8), 959–968.

Wülser P.-A., Brugger J., Meisser N. (2004) The crichtonite group of minerals: a review of the classification. *Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie*, **16**, 76–77.

References

Čopjaková R., Škoda R., Galiová M.V., Novák M., Cempírek J. (2015) Sc-and REE-rich tourmaline replaced by Sc-rich REE-bearing epidote-group mineral from the mixed (NYF+ LCT) Kracovice pegmatite (Moldanubian Zone, Czech Republic). *American Mineralogist*, **100**(7), 1434–1451.

Es'kova E.M., Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N. (1964) [Mineralogy and geochemistry of rare elements of Vishnevye Mountains]. Moskva, Nauka, 319 p. (in Russian).

González del Tánago J. (1997) Allanite-(Nd) y minerales de elementos raros en las pegmatitas graníticas de La Cabrera, Madrid (Sistema Ibérico Central). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **10**(1–2), 83–105.

Hanson S.L., Falster A.U., Simmons W.B., Brown T.A. (2012) Allanite-(Nd) from the Kingman feldspar mine, Mojave pegmatite district, northwestern Arizona, USA. *Canadian Mineralogist*, **50**(4), 815–824.

Kolitsnichenko S.V., Popov V.A., Epanchintsev S.G., Kuznetsov A.M. (2017) [Minerals of the Southern Urals. Minerals of Chelyabinsk district. Encyclopedia of the Urals stone]. Chelyabinsk, Sanarka, 416 p. (in Russian).

Korinevskiy V.G., Kotlyarov V.A., Korinevskiy E.V., Mironov A.B., Schtenberg M.V. (2016) [Magnesiohögbomite (Mg,Fe²⁺,Zn)₈(Al,Ti,Fe³⁺)₂₀O₃₈(OH)₂ of the Ilmeno-Vishnevogorsky complex]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **2**(2), 20–33 (in Russian).

Korinevskiy V.G., Korinevskiy E.V., Kotlyarov V.A., Lebedeva S.M., Blinov I.A., Mironov A.B., Schtenberg M.V. (2017) [Sapphirine-spinel-bearing hornblendites of the Ilmeno-Vishnevogorsky complex]. *Litosfera [Lithosphere]*, **1**, 68–95 (in Russian).

Lennykh V.I., Rasskazova A.D., Petrov V.I. (1986) [Sapphirine-spinel assemblage of the Ilmeno-Vishnevogorsky complex]. *Novye i maloizuchennyye mineraly i mineralnye assotsiatsii Urala [New and insufficiently studied minerals and mineral assemblages of the Urals]*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 76–77 (in Russian).

López A., Frost R.L. (2015) Identification of allanite (Ce, Ca, Y)₂(Al, Fe³⁺)₃(SiO₄)₃OH found in marble from Chillagoe, Queensland using Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **138**, 229–233.

Makreski P., Jovanovski G., Kaitner B., Gajović A., Biljan T. (2007) Minerals from Macedonia: XVIII. Vibrational spectra of some sorosilicates. *Vibrational Spectroscopy*, **44**(1), 162–170.

Minakawa T., Funakoshi N., Morioka H. (2001) Chemical properties of allanite from the Ryoke and Hirosima granite pegmatites in Shikoku, Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Ehime University*, **7**, 1–13 (in Japanese with English abstract).

Polyakov V.O., Bazhenova L.F., Ivanushkin A.G. (1986) [Accessory REE davidite of the Ilmeny Mountains]. *Novye i maloizuchennyye mineraly i mineralnye assotsiatsii Urala [New and insufficiently studied minerals and mineral assemblages of the Urals]*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 102–104 (in Russian).

Polyakov V.O., Vilisov V.A. (1988) [New find of accessory davidite in Ilmeny Mountains]. *Novye dannye po mineralogii Urala [New data on mineralogy of the Urals]*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 27–28 (in Russian).

Репина С.А. (2007) [Monazite as an indicator of geological processes during the formation of quartz veins of Zhelannoye deposit (Subpolar Urals)]. *Zapiski RMO*

[*Proceedings of Russian Mineralogical Society*], **137**(4), 81–96 (in Russian).

Škoda R., Cempírek J., Filip J., Novák M., Veselovsky F., Čtvrtlík R. (2012) Allanite-(Nd), $\text{CaNdAl}_2\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$, a new mineral from Askagen, Sweden. *American Mineralogist*, **97**(5–6), 983–988.

Wang A., Han J., Guo L., Yu J., Zeng P. (1994) Database of standard Raman spectra of minerals and related inorganic crystals. *Applied Spectroscopy*, **48**(8), 959–968.

Wülser P.-A., Brugger J., Meisser N. (2004) The crichtonite group of minerals: a review of the classification. *Bulletin de Liaison de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie*, **16**, 76–77.

Zhabin A.G., Voronkov A.A., Kazakova M.E., Khalezova E.B. (1963) [New data on accessory davidite from Vishnevye Mountains in Urals and so-called ufertite and ferutite]. *Trudy IMGRE [Proceedings of the Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements]*, **15**, 110–120 (in Russian).

Поступила в редакцию 4 декабря 2018 г.