

УДК 549.02 + 549.621 + 549.691.1

АСКАГЕНИТ-(Nd), $Mn^{2+}NdAl_2Fe^{3+}(Si_2O_7)(SiO_4)O_2$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ НАДГРУППЫ ЭПИДОТА¹

Н.В. Чуканов

УРАН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, *chukanov@icp.ac.ru*

Й. Гётглихер

Исследовательский центр Карлсруэ, Эггенштайн-Леопольдсхафен, Германия, *Joerg.Goettlicher@iss.fzk.de*

Ш. Мёккель

Альфа-Геофюзик, Готхельффридрихсгрунд, Германия, *steffen.moeckel@gmx.de*

З. Софер

Отдел неорганической химии, Институт химической технологии, Прага, Чехия, *Zdenek.Sofer@seznam.cz*

К.В. Ван

УРАН Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, *kvv@iem.ac.ru*

Д.И. Белаковский

УРАН Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана РАН, Москва, *dmz@fmm.ru*

Новый минерал надгруппы эпидота аскагенит-(Nd) найден в гранитном пегматите месторождения Аскаген близ города Филипстад (Вермланд, Швеция) в ассоциации с калиевым полевым шпатом, кварцем, ба-стнезитом, торитом, Nd-доминантным аналогом алланита-(Ce), брукитом, гадолинитом-(Y) и аллофаном. Минерал образует несовершенные призматические и уплощённые кристаллы размерами до 1×4 см. Аскагенит-(Nd) чёрный, со смоляным блеском. Хрупкий, твёрдость по Моосу 6, спайность не наблюдается, излом раковистый. Плотность исходного метамиктного образца, измеренная методом гидростатического взвешивания, равна 3.737(5) г/см³; вычисленная плотность прокалённого образца (600°C, 1 час) равна 4.375 г/см³. Аскагенит-(Nd) оптически изотропный, $n = 1.712(2)$. Приведен ИК-спектр. Химический состав (по данным микронзондовых анализов, вода определена методом Алимарина, отношение $Fe^{2+}:Fe^{3+}$ – методом мёссбауэровской спектроскопии, валентность Mn – по данным XANES-спектроскопии, мас.%): CaO 0.27, Y₂O₃ 2.27, La₂O₃ 0.44, Ce₂O₃ 7.99, Pr₂O₃ 1.76, Nd₂O₃ 11.21, Sm₂O₃ 3.01, Yb₂O₃ 0.21, ThO₂ 0.72, MnO 7.98, FeO 7.75, Fe₂O₃ 9.16, Al₂O₃ 15.85, SiO₂ 29.51, H₂O 0.55, сумма 98.75. Кристаллохимическая формула: $(Mn_{0.69}^{2+}Fe_{0.26}^{2+}Ca_{0.03})_{\Sigma 0.98}(Nd_{0.41}Ce_{0.30}Y_{0.12}Sm_{0.10}Pr_{0.07}La_{0.02}Yb_{0.01}Th_{0.02})_{\Sigma 1.05}(Al_{0.90}Fe_{0.10}^{3+})_{\Sigma 1.00}Al_{1.00}(Fe_{0.60}^{3+}Fe_{0.40}^{2+})_{\Sigma 1.00}Si_{2.99}O_{11}O [O_{0.63}(OH)_{0.37}]_{\Sigma 1.00}$. Сильные линии рентгенограммы прокалённого образца $d, \text{ \AA} (l; hkl)$: 3.50(46; -211), 3.22(50; -212, 201), 2.897(100; -301), 2.850(73; 020), 2.687(73; 120), 2.121(48; -403), 1.630(59; 124). Параметры элементарной ячейки: $a = 8.78(1) \text{ \AA}$, $b = 5.710(6) \text{ \AA}$, $c = 10.02(1) \text{ \AA}$, $\beta = 114.6(2)^\circ$; $V = 456.7(8) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$; пр. гр. $P2_1/m$. Эталонный материал хранится в минералогической коллекции Технического университета Горной академии, г. Фрайберг (Германия); инвентарные номера 82194, 82218.

В статье 3 таблицы, 5 рисунков, список литературы из 14 наименований.

Ключевые слова: аскагенит-(Nd), надгруппа эпидота, пегматит, Аскаген.

Введение

В 2006 г. Комиссия по новым минералам и названиям минералов ММА утвердила номенклатуру минералов группы эпидота, которая объединяет моноклинные (пр. гр. $P2_1/m$) орто-диортосиликаты с общей формулой $A_1A_2M_1M_2M_3(Si_2O_7)(SiO_4)\emptyset 4\emptyset 10$, где $A_1 = Ca, Mn^{2+}$; $A_2 = Ca, REE, Sr, Pb$; $M_1 = Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}$; $M_2 = Al, Fe^{3+}$; $M_3 = Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}$; $\emptyset 4 = O, F$; $\emptyset 10 = OH$ (Armbruster *et al.*, 2006).

Впоследствии, в соответствии с новыми правилами стандартизации групп минералов (заявка 09-A-бис) группа эпидота была переименована в надгруппу эпидота (Mills *et al.*, 2009), а подгруппы клиноцоизита (эпидота), алланита и долласеита – в соответствующие группы. Общие формулы членов этих групп следующие:

группа эпидота –
 $A_1^{2+}A_2^{2+}M_1^{3+}M_2^{3+}M_3^{3+}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$;

группа алланита –
 $A_1^{2+}A_2^{3+}M_1^{3+}M_2^{3+}M_3^{2+}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$;

группа долласеита –
 $A_1^{2+}A_2^{3+}M_1^{2+}M_2^{3+}M_3^{2+}(Si_2O_7)(SiO_4)F(OH)$.

Описываемый в настоящей работе новый минерал надгруппы эпидота аскагенит-(Nd) является одновременно родоначальником новой группы, общая формула членов которой может быть записана в виде: $A_1^{2+}A_2^{3+}M_1^{3+}M_2^{3+}M_3^{3+}(Si_2O_7)(SiO_4)O_2$.

Название дано по месторождению и отражает преобладание неодима в позиции редкоземельных элементов A2.

Эталонный материал хранится в минералогической коллекции Технического университета Горной академии, г. Фрайберг (Германия), инвентарные номера 82194 (голотип) и 82218 (котип).

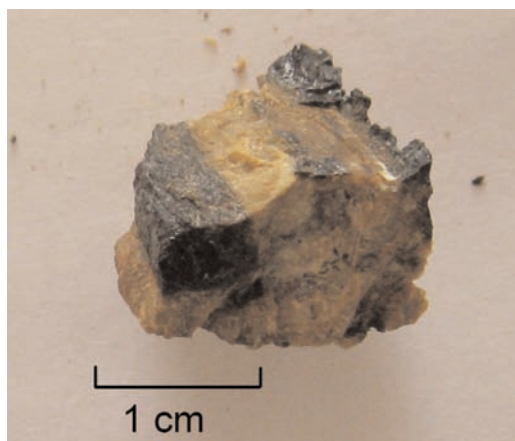


Рис. 1. Кристалл аскагенита-(Nd) в пегматите.

Условия нахождения и физические свойства

Аскагенит-(Nd) найден в образцах, собранных в начале XX века в небольшой (5×50 м) выработке рядом с карьером Аскаген (Åskagen), близ бывшего горняцкого посёлка Торскебэкен (Torskebäcken), в 12 км к ВСВ от города Филипстад, лен Верmland (Filipstad, Värmlands län), Швеция (Wilke, 1997). Карьер Аскаген, который в период с 1882 по 1916 гг. разрабатывался на кварц, расположен в пределах лептитового пояса, развитого вдоль восточного побережья оз. Юнген.

Выработка, в которой был найден образец с новым минералом, пересекает пегматитовое тело. В составе последнего, в ассоциации с аскагенитом-(Nd) были диагностированы калиевый полевой шпат, кварц, бастнезит, торит, Nd-доминантный аналог алланита-(Ce), брукит и гадолинит-(Y), а также поздний алофан.

Аскагенит-(Nd) образует несовершенные призматические, иногда уплощённые кристаллы размерами до 1×4 см, с ортогональным сечением (рис. 1). Цвет минерала чёрный, черта коричневая, блеск смоляной. Хрупкий, спайность не наблюдается, излом раковистый. Твёрдость по шкале Мооса — около 6. Плотность исходного метамиктного образца, измеренная методом гидростатического взвешивания, равна 3.737(5) г/см³; вычисленная плотность для образца, прокалённого в атмосфере азота при 600°C в течение 1 часа, составляет 4.375 г/см³.

Аскагенит-(Nd) слабо радиоактивен, что, очевидно, послужило причиной его метамиктного состояния. Как следствие, минерал

оптически изотропен; показатель преломления равен 1.712(2). Показатели преломления прокалённого образца измерить не удалось по причине малых размеров слагающих его индивидов.

Химический состав

Химический состав аскагенита-(Nd) изучен методом локального рентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega II XMU с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight. Было выполнено 4 локальных анализа. Средние значения и пределы изменения содержаний компонентов приведены в таблице 1. Анализ выполнен при ускоряющем напряжении на вольфрамовом катоде 20 кВ и токе поглощенных электронов на Co 0.5 нА. Диаметр электронного зонда на поверхности образца 0.157 мкм.

Содержание H₂O определено методом Алимарина, основанном на селективном поглощении порошком Mg(ClO₄)₂ паров воды из газообразных продуктов прокалывания минерала в кислороде при 1060°C. Анализ CO₂ не производился, так как в ИК-спектре аскагенита-(Nd) отсутствуют полосы поглощения карбонатных групп.

Эмпирическая формула, рассчитанная на 13 атомов кислорода, с учётом валентностей Fe и Mn (по данным рентгеновской и мёссбауэровской спектроскопии, см. ниже) следующая:

$$(\text{Mn}_{0.69}^{2+}\text{Fe}_{0.26}^{2+}\text{Ca}_{0.03})_{\Sigma 0.98}(\text{Nd}_{0.41}\text{Ce}_{0.30}\text{Y}_{0.12}\text{Sm}_{0.10}\text{Pr}_{0.07}\text{La}_{0.02}\text{Yb}_{0.01}\text{Th}_{0.02})_{\Sigma 1.05}(\text{Al}_{1.90}\text{Fe}_{0.70}^{3+}\text{Fe}_{0.40}^{2+})_{\Sigma 2.98}\text{Si}_{2.99}\text{O}_{12.63}(\text{OH})_{0.37}$$

Упрощённая формула аскагенита-(Nd) — $\text{Mn}^{2+}\text{NdAl}_2\text{Fe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}_2$.

Сходимость химического состава, показателя преломления и измеренной плотности для метамиктного аскагенита по критерию Гладстоуна-Дейла хорошая: $1 - (K_p/K_c) = 0.012$ («superior»).

Инфракрасная, рентгеновская и мёссбауэровская спектроскопия. Валентность Mn и Fe

ИК-спектры регистрировали на двухлучевом спектрофотометре SPECORD 75 IR в диапазоне волновых чисел 400–4000 см⁻¹. Образцы готовили в виде таблеток, запрессованных с бромистым калием. При записи спектра в пучок сравнения помещали таблетку KBr, не содержащую минерала. В качестве эталонов использовали полистирол и газообразный аммиак. Точность измерения волновых чисел составляла ±1 см⁻¹, средняя

разрешающая способность для диапазона $400-1600\text{ см}^{-1}$ — 1.2 см^{-1} .

В ИК-спектре аскагенита-(Nd) (рис. 2, кривая 1) присутствуют две сильные полосы с максимумами при 469 и 1000 см^{-1} и несколькими точками перегиба. В диапазоне $550-900\text{ см}^{-1}$ максимумы поглощения отсутствуют, что вообще характерно для метамиктных силикатов. Очень слабая полоса при 1623 см^{-1} указывает на присутствие в минерале следовых количеств молекул воды. ИК-спектр аскагенита-(Nd), прокалённого в атмосфере азота при 600°C в течение 1 часа (рис. 2, кривая 2), аналогичен спектрам минералов группы аланита (рис. 2, кривые 3, 4). Очень слабая полоса при 3280 см^{-1} относится к валентным колебаниям групп OH.

В мёссбауэровском спектре аскагенита-(Nd) (модифицированный спектрометр Wissel, измерение проводилось в течение 308 часов параллельно в 512 каналах при температуре 293 K) присутствуют два дублета (рис. 3). Дублет с изомерным сдвигом 0.2869 мм/с , квадрупольным расщеплением 0.9139 мм/с и относительной площадью 51.5% отвечает Fe^{3+} . Дублет с изомерным сдвигом 0.9402 мм/с , квадрупольным расщеплением 2.1830 мм/с и относительной площадью 48.5% относится к Fe^{2+} . Таким образом, отношение $Fe^{3+}:Fe^{2+}$ в аскагените-(Nd) составляет $51.5:48.5$.

Тонкая околопороговая структура рентгеновского спектра очень чувствительна как к электронному строению поглощающего атома, так и к его локальному окружению. Поэтому для определения состояния марганца в аскагените-(Nd) было проведено исследование ближней тонкой структуры рентгеновского спектра поглощения (метод XANES-спектроскопии).

XANES спектры получены с использованием источника синхротронного излучения ANKA (SUL-X Beamline) в лаборатории использования синхротронного излучения для изучения окружающей среды Технологического института г. Карлсруэ, Германия. Спектры регистрировали как для запрессовок порошка пробы с целлюлозой, так и с поверхности излома минерала. Размеры пучка на поверхности образца составляли $100\times 200\text{ мкм}$. Измерения производились в режиме флуоресценции (для аскагенита-(Nd)) и в режиме пропускания (для образцов сравнения). Диапазон измерения — от 6530 до 6630 эВ . В этой области вклады в спектр других компонентов (кроме Mn) пренебрежимо малы. Вклад L-серии Nd становится заметным при энергиях выше 6700 эВ .

Таблица 1. Химический состав аскагенита-(Nd)

Компонент	Среднее содержание, мас. %	Пределы	Эталон
CaO	0.27	0.00–1.43	Воластонит
Y ₂ O ₃	2.27	2.02–2.82	Y
La ₂ O ₃	0.44	0.40–0.49	LaPO ₄
Ce ₂ O ₃	7.99	7.83–8.15	CePO ₄
Pr ₂ O ₃	1.76	1.47–1.90	PrPO ₄
Nd ₂ O ₃	11.21	11.06–11.45	NdPO ₄
Sm ₂ O ₃	3.01	2.82–3.33	SmPO ₄
Yb ₂ O ₃	0.28	0.00–0.48	YbPO ₄
ThO ₂	0.72	0.58–0.77	ThO ₂
MnO*	7.98	7.79–8.48	Mn
FeO**	7.75	15.85–16.13***	Fe
Fe ₂ O ₃ **	9.16		
Al ₂ O ₃	15.85	15.60–15.97	Al ₂ O ₃
SiO ₂	29.51	29.32–29.90	SiO ₂
H ₂ O	0.55		
Total	98.75		

Примечание: * — по данным рентгеноспектрального анализа, весь марганец двухвалентный (см. комментарии в тексте).

** — общее содержание железа в пересчёте на FeO составляет 16.00 мас. % ; разделение на FeO и Fe₂O₃ произведено на основе данных Мёссбауэровской спектроскопии.

*** — для всего железа, определённого как FeO.

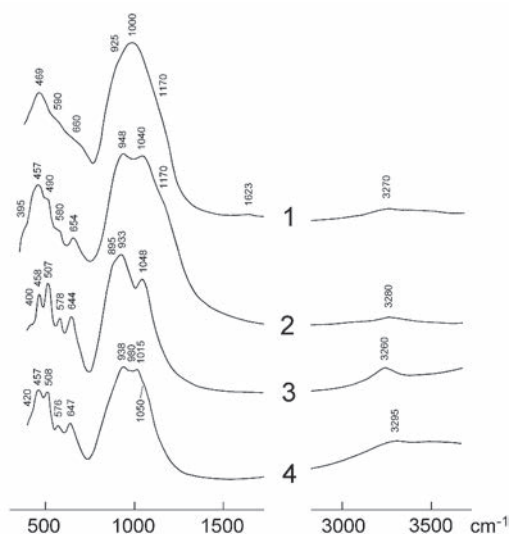


Рис. 2. ИК-спектры исходного метамиктного аскагенита-(Nd) (1), аскагенита-(Nd), прокалённого при 600°C в азоте (2), обогащённого Nd аланита-(Ce) из массива Халдзан Бурэгтэг, Монголия (3) и обогащённого Nd аланита-(Y) из Аскагена, Швеция (4). Данные авторов.

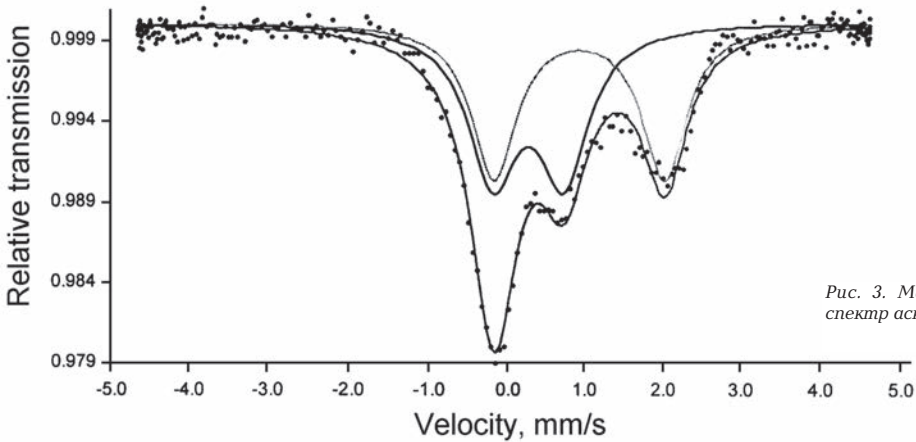


Рис. 3. Мёссбауэровский спектр аскагенита-(Nd).

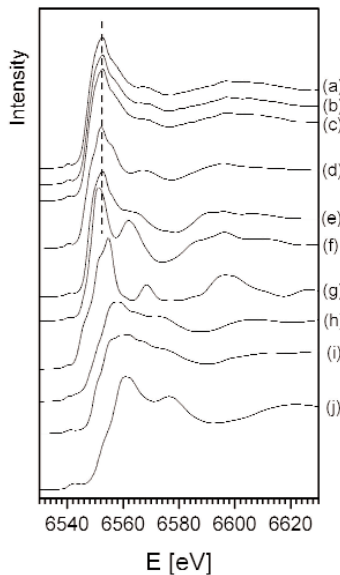


Рис. 4. Спектр поглощения рентгеновского излучения вблизи края К-серии Mn для аскагенита-(Nd) (а – с, три измерения), $Mn^{2+}SiO_3$ (d), $Mn^{2+}SO_4 \cdot H_2O$ (e), $Mn^{2+}CO_3$ (f), MnO (g), Mn_2O_3 (h), $Mn^{2+}PO_4$ (i) и MnO_2 (j).

Рентгеновский спектр аскагенита-(Nd) вблизи края К-серии Mn с главной резонансной линией при 6553 эВ очень близок к спектру $Mn^{2+}SiO_3$ (ион Mn^{2+} в безводной силикатной матрице), немного отличается от спектров соединений с Mn^{2+} в других окружениях и сильно отличается от спектров соединений Mn^{3+} и Mn^{4+} (рис. 4, 5). Эти факты свидетельствуют о том, что в аскагените-(Nd) марганец находится в двухвалентном состоянии.

Рентгенографические данные

Аскагенит-(Nd) рентгеноаморфный, метамиктный. Рентгенограмма минерала со-

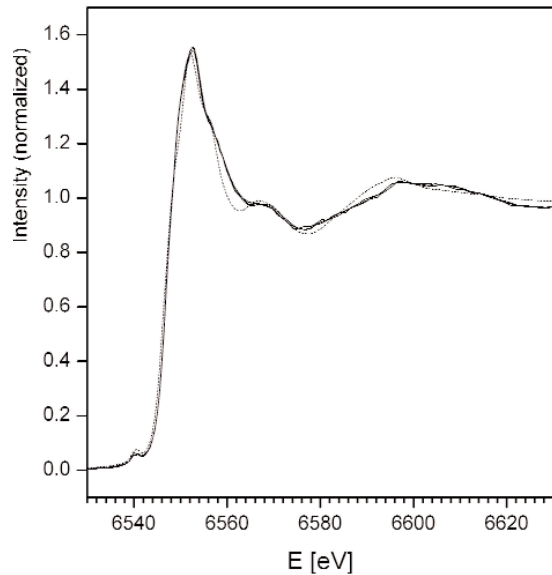


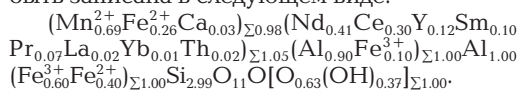
Рис. 5. Сравнение спектров поглощения рентгеновского излучения вблизи края К-серии Mn аскагенита-(Nd) (сплошные линии) и $Mn^{2+}SiO_3$ (пунктир).

держит лишь широкое гало с максимумом около 3 Å. После прокаливания в атмосфере азота аскагенит-(Nd) даёт рентгенограмму минерала группы эпидота. Опытным путём установлен следующий оптимальный режим термической обработки: образец нагревался со скоростью 5 град/мин до 600°C, затем выдерживался при этой температуре в течение 1 часа, после чего быстро охлаждался до комнатной температуры (табл. 2). Порошкограмма прокалённого образца (дифрактометр PANalytical X'Pert PRO, $CuK\alpha_1$ -излучение; табл. 1) хорошо индексируется в моноклинной ячейке (пр. гр. $P2_1/m$) с параметрами, равными: $a = 8.78(1) \text{ \AA}$, $b =$

5.710(6) Å, $c = 10.02(1)$ Å, $\beta = 114.6(2)^\circ$; $V = 456.7(8)$ Å³, $Z = 2$.

Обсуждение

При расчёте кристаллохимических формул минералов надгруппы эпидота рекомендовано руководствоваться величинами радиусов r входящих в их состав катионов (Armbruster *et al.*, 2006). В частности, ион Al^{3+} ($r = 0.535$ Å) преимущественно входит в позиции M2 и M1, а ион Fe^{3+} ($r = 0.645$ Å) при его содержаниях 1 атома на формулу концентрируется в позиции M3. Аналогичные правила сформулированы для ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} , REE^{3+} и Ca^{2+} . В соответствии с этими правилами, формула аскагенита-(Nd) может быть записана в следующем виде:



Таким образом, аскагенит-(Nd) по набору зарядов слагающих его катионов и анионов (см. Armbruster *et al.*, 2006; Mills *et al.*, 2009) может быть выделен в отдельную группу в надгруппе эпидота.

В таблице 3 приведены сравнительные данные для аскагенита-(Nd) и некоторых родственных ему минералов из надгруппы эпидота. Среди минералов этой надгруппы аскагенит-(Nd) характеризуется наименьшим объёмом элементарной ячейки. Величина V для аскагенита-(Nd) даже меньше, чем аналогичные величины для манганиандросита-(La) и манганиандросита-(Ce), которые содержат малый катион Mn^{2+} в позиции A1. Очевидно, причинами этого являются преобладание Fe^{3+} над Fe^{2+} в позиции A3 и частичное замещение Mn^{2+} ионом Fe^{2+} в позиции A1 у аскагенита-(Nd).

Литература

- Минералогия редких элементов. Под ред. К.А. Власова. М.: Наука, 1964. Т. 2. 829 с.
- Armbruster T., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin C., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Y., Pasero M. Recommended nomenclature of epidote-group minerals // *Eur. J. Miner.* 2006. V. 18. P. 551–567.
- Bonazzi P., Menchetti S., Reinecke T. Solid solution between piemontite and androsite-(La), a new mineral of the epidote group from Andros Island, Greece // *Am. Mineral.* 1996. V. 81. P. 735–742.
- Cenki-Tok B., Ragu A., Armbruster T., Chopin C., Medenbach O. New Mn- and rare-earth-

Таблица 2. Рентгенографические данные для аскагенита-(Nd), прокалённого при 600°C в течение 1 час в атмосфере азота

$I_{изм}$ %	$d_{изм}$ Å	$d_{выч}$ Å	hkl
23	9.12	9.11	001
12	8.01	7.98	100
16	5.05	5.05	101
18	4.63	4.64	110
17	4.00	3.99	200
46	3.50	3.48	-211
50	3.22	3.23	-212
		3.20	201
100	2.897	2.900	-301
73	2.850	2.855	020
73	2.687	2.688	120
52	2.606	2.611	-303
38	2.534	2.526	202
23	2.394	2.393	-221
22	2.394	2.322	220
15	2.300	2.299	113
37	2.15*	2.145	-401
48	2.121	2.122	-403
27	2.038	2.042	203
		2.034	-321
25	1.979	1.983	104
35	1.876	1.873	114
46	1.644	1.646	-306
59	1.630	1.629	124
15	1.580	1.582	-316
14	1.546	1.548	330
29	1.456	1.457	304
		1.455	-334
33	1.404	1.405	-612, 140
		1.404	-141

Примечание: * — широкий рефлекс.

- rich epidote-group minerals in metacherts: manganiandrosite-(Ce) and vanadoandrosite-(Ce) // *Eur. J. Miner.* 2006. V. 18. P. 569–582.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussmann J. *Rock-Forming Minerals* (2nd edition). 1986. V. 1B. P. 151–179.
- Dollase W.A. Refinement of the crystal structures of epidote, allanite and hancockite // *Am. Mineral.* 1971. V. 56. P. 447–464.
- Dunn P.J. The lead silicates from Franklin, New Jersey: occurrence and composition // *Miner. Magaz.* 1985. V. 49. P. 721–727.
- Holtstam D., Langhof J. Hancockite from Jakobsberg, Filipstad, Sweden: the second world occurrence // *Miner. Magaz.* 1994. V. 58. P. 172–174.
- Kristiansen R. Thalenit-liknende mineraler fra Åskagen, Sverige // *Stein.* 1993. No. 1. P. 7–8, 58–60. (швед.)

Таблица 3. Сравнительные характеристики аскагенита-(Nd) и некоторых родственных ему минералов надгруппы эпидота (все моноклинные, $P2_1/m$, $Z = 2$)

Минерал, упрощённая- формула	Аскагенит-(Nd) $Mn^{2+}NdAl_2Fe^{3+}$ $(Si_2O_7)(SiO_4)O_2$	Эпидот-(Sr) $CaSrAl_2Fe^{3+}$ $(Si_2O_7)(SiO_4)$ O(OH)	Эпидот-(Pb) $CaPbAl_2Fe^{3+}$ $(Si_2O_7)(SiO_4)$ O(OH)	Алланит-(Ce) $CaCeAl_2Fe^{2+}$ $(Si_2O_7)(SiO_4)$ O(OH)	Алланит-(La) $CaLaAl_2Fe^{2+}$ $(Si_2O_7)(SiO_4)$ O(OH)	Мангани- андросит-(Ce) $Mn^{2+}CeMn^{3+}$ AlFe ²⁺ (Si ₂ O ₇) (SiO ₄)O(OH)	Мангани- андросит-(La) $Mn^{2+}LaMn^{3+}$ AlFe ²⁺ (Si ₂ O ₇) (SiO ₄)O(OH)
Параметры							
ячейки							
<i>a</i> , Å	8.78	8.928	8.958	8.932	8.914	8.901	8.896
<i>b</i> , Å	5.71	5.652	5.665	5.770	5.726	5.738	5.706
<i>c</i> , Å	10.02	10.244	10.304	10.1575	10.132	10.068	10.083
β , °	114.6	114.46	114.4	114.69	114.87	113.425	113.88
<i>V</i> , Å ³	456.7	470.5	476.2	475.6	469.1	471.81	468.0
Сильные	3.50–46	3.50–42	3.49–50	3.53–43	3.506–20	3.514–41	3.504–40
линии	3.22–50	3.26–23	2.91–100	2.920–100	2.901–100	2.896–100	2.897–100
порошко-	2.897–100	2.92–100	2.81–40	2.886–28	2.860–40	2.869–35	2.857–45
граммы:	2.850–73	2.83–32	2.71–40	2.714–66	2.692–60	2.713–39	2.707–60
<i>d</i>, Å – I, %	2.687–73	2.72–41	2.60–50	2.627–41	2.611–50	2.707–39	2.615–60
	2.606–52	2.61–42	2.18–40	2.182–36	2.174–25	2.6225–53	2.178–60
	2.121–48	2.58–49	1.90–40	2.158–23			2.145–60
	1.630–59						
Плотность,	3.737 (изм.);		4.03 (изм.);	3.5-4.2 (изм.);	3.93 (изм.);		>4.03 (изм.);
г/см³	4.375 (выч.)	3.74 (выч.)	4.03 (выч.)	4.11 (выч.)	3.94 (выч.)	4.21 (выч.)	4.21 (выч.)
Оптические							
данные:							
Показатели	Изотропный,	$\alpha = 1.737$	$\alpha = 1.788$	$n = 1.54-1.72^*$	$\alpha = 1.755$	Средний	Средний
преломления	$n = 1.712^*$	$\beta = 1.780$	$\beta = 1.81$	$\alpha = 1.69-1.79$	$\beta = 1.760$	показатель	показатель
		$\gamma = 1.792$	$\gamma = 1.830$	$\beta = 1.70-1.815$	$\gamma = 1.765$	преломления	преломления
				$\gamma = 1.71-1.83$		1.80 (выч.)	1.877 (выч.)
Оптич.	Нет данных	(-) 62	(-) 50	(-) или (+)	(+/-) 90	(+) 80.6	Нет данных
знак, 2V				40-123			
Источники	Настоящая работа	Minakawa <i>et al.</i> , 2008	Dollase, 1971; Dunn, 1985; Holtstam, Langhof, 1994	Минерало- гия..., 1966; Dollase, 1971; Deer <i>et al.</i> , 1986	Orlandi, Pasero, 2006	Senki-Tok <i>et al.</i> , 2006	Bonazzi <i>et al.</i> , (1996)

Примечание: * – данные для метамиктных образцов.

Mills S.J., Hatert F., Nickel E.H., Ferraris G. The standartization of mineral group hierarchies: application to recent nomenclature proposals // Eur. J. Miner. **2009**. V. 21. P. 1073–1080.

Minakawa T., Fukushima H., Nishio-Hamane D., Miura H. Epidote-(Sr), $CaSrAl_2Fe^{3+}(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$, a new mineral from the Ananai mine, Kochi Prefecture, Japan // J. Miner. Petrol. Sci. **2008**. V. 103. P. 400–406.

Orlandi P., Pasero M. Allanite-(La) from Buca Della Vena mine, Apuan Alps, Italy, an epidote-group mineral // Can. Mineral. **2006**. V. 44. P. 63–68.

Sjögren Hj. Thalenit från Åskagens kvartsbrotti, Värmland // Geol. Förel. Stkh. Förhandl. **1906**. V. 28. P. 93–101. (швед.)

Wilke H.-J. Die Mineralien und Fundstellen von Schweden. München: Christian Weise Verlag. **1997**. 200 S.