

УДК 549.618

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АЛЛАНИТЕ ИЗ ВЕРХОТУРЬЯ (К 180-ЛЕТИЮ ОТКРЫТИЯ ОРТИТА В РОССИИ)

В.А. Попов

Институт минералогии, УрО РАН, Миасс, popov@mineralogy.ru

В.А. Губин

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, vagubin@mail.ru

В.Ю. Карпенко

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

В.В. Хиллер

Институт геологии и геохимии, УрО РАН, Екатеринбург, hilvervit@mail.ru

В статье кратко рассмотрены история открытия в России (г. Верхотурье, Ср. Урал) минерала ортита и результаты его изучения, выполненного А.Я. Купфером, Г. Розе, Р. Германом, Н.И. Кокшаровым. Кристаллы ортита находятся в пегматитовой жиле из биотитовых гранитов (так называемый Троицкий камень), главные минералы: микроклин, кварц, биотит, роговая обманка; второстепенные и акцессорные: алланит, магнетит, шерл, фторapatит, циркон, эпидот, кальцит, халькопирит. Приведены новые данные по составу и морфологии кристаллов. Наиболее развитые формы (100), (001), (111), (110), менее развиты (101), (102), (103), (302), (304), (706), (221), (112); изредка — двойники по (100). Кристаллы обнаруживают зональность и секториальность по контрасту среднего атомного номера и содержанию Ca, Fe, Al, REE, Th, Ti. Показано, что ортит из Верхотурья — это алланит-(Ce), вариации состава (микрозонд, вес.%): SiO₂ 31.76 — 33.47; TiO₂ 0.10 — 0.23; ThO₂ 0.26 — 0.40; UO₂ 0.00 — 0.04; Al₂O₃ 16.85 — 20.05; Y₂O₃ 0.01 — 0.11; La₂O₃ 4.38 — 5.82; Ce₂O₃ 7.82 — 10.30; Pr₂O₃ 0.49 — 1.02; Nd₂O₃ 2.63 — 3.10; Sm₂O₃ 0.20 — 0.36; Gd₂O₃ 0.12 — 0.19; MgO 0.61 — 0.84; CaO 11.03 — 14.99; FeO 10.09 — 12.59; MnO 0.55 — 0.75; Na₂O 0.00 — 0.11; F 0.09 — 0.20; сумма 92.76 — 96.64. Приведено сравнение с первым анализом Р. Германа (1848), в котором La > Ce. Изученный минерал слабо метамиктен, с чем связаны, по-видимому, заниженные суммы анализов.

В статье 2 таблицы, 7 рисунков, список литературы из 23 названий.

Ключевые слова: ортит, алланит, группа эпидота, пегматиты, Троицкий Камень, А.Я. Купфер, Г. Розе, Р. Герман, Н.И. Кокшаров, А.Е. Ферсман.

Алланит — алюмосиликат редких земель, железа и кальция, черного цвета — впервые описал Т. Томпсон и назвал его в честь шотландского минералога Томаса Аллана, обнаружившего этот минерал в Восточной Гренландии (Thompson, 1810). За первым открытием последовали другие: в 1818 г. Й. Берцелиус нашел и описал похожий минерал из Фалуна (Швеция) под именем ортита за его прямые, плоские, лучеобразные формы, а в 1824 г. А. Леви — чёрный эпидот близ Арендала (Норвегия), названный им букландитом в честь английского геолога В. Букланда. Существовали и другие многочисленные синонимы алланита-ортита, отражающие какие-либо свойства минерала или место находки (Armbruster *et al.*, 2006).

Открытие и изучение ортита в России связано с именами выдающихся российских и европейских ученых и исследователей — Адольфа Купфера, Густава Розе, Рудольфа Германа, Николая Кокшарова.

А.Я. Купфер (рис. 1), уроженец Латвии, после получения высшего образования в Берлине и защите диссертации на степень доктора философии дополнительно совершенствовался в Париже (Пасецкий, 1984). В 1824 г.

был приглашен в Казанский университет на должность профессора физики, в котором проработал четыре года. В 1828 г. в связи с его избранием ординарным академиком Петербургской Академии наук переехал в столицу. Но летом, еще до переезда в Петербург, он предпринял со своим другом — аптекарем и художником К. Клаусом — путешествие по Уралу по маршруту: Казань — Златоуст — Екатеринбург — Нижнетагильск — Кушва — Верхотурье — Екатеринбург — Казань. В пути Купфер тщательно вел дневник, в котором фиксировал высоты горных хребтов, их геологическое строение, метеоусловия, производственную и экономическую деятельность заводов и рудников, условия жизни и быта городского и сельского населения (Kupffer, 1833). В Верхотурье (ныне — город в Свердловской области) Купфер изучал горные породы по берегам р. Туры в районе так называемого Троицкого Камня (рис. 2) и нашел здесь минерал ортит. Вот как он описывает место находки (Kupffer, 1833, с. 426): «В Верхотурье граниты состоят почти только из белого пластинчатого полевого шпата с небольшим количеством слюды, еще меньшим — кварца и граната. Эти граниты для изучения наибо-



Рис. 1. Адольф Яковлевич Купфер (1799–1865) — физик, метролог, кристаллограф, минералог, путешественник. Один из основателей метрологической и метеорологической служб России. Член более 20 российских и зарубежных академий и обществ (Пасецкий, 1984).

лее доступны по левому берегу р. Туры, где они выступают в высоких крутых скалах. Около этого места по правому берегу Туры рассеяны ромбоидальные призмы с углом приблизительно 115° , черного цвета, которые легко плавятся в пламени паяльной трубки и которые господин Берцелиус признал за ортит» (перевод Л.В. Ивкиной).

Для дальнейшего изучения верхотурского ортита несколько его кристаллов А.Я. Купфер передал профессору минералогии Берлинского университета Густаву Розе. Заметим, что до появления верхотурского ортита многие ученые (Томпсон, Гайдингер, Шерер, Брейтгаупт и др.), а также и сам Розе из-за несовершенства кристаллов относили алланит (ортит) к ромбической системе. Г. Розе исследовал ортит Купфера после завершения знаменитой экспедиции по Уралу и Сибири под руководством Александра фон Гумбольдта, в которой сам участвовал (Rose, 1837). В главе о путешествии по Среднему Уралу Розе описывает результаты гониометрических исследований верхотурского ортита, из которых со

всей определенностью заключает, что доступные для измерения углы ортита совпадают с аналогичными углами минерала эпидота, следовательно, сингония ортита — моноклинная; формы, встреченные Г. Розе — T , M и g в обозначениях Гаюи для эпидота (Rose, 1837), что соответствует ныне принятым формам $c(001)$, $a(100)$ и $g(-101)$. Так Г. Розе исправил ошибку предшественников. Однако вычертить полный кристалл ортита Розе не удалось: «кристаллы попадаются простые и двойниковые, но те и другие, сколько я мог заметить, обломаны на концах» (Rose, 1837; Кокшаров, 1858). Не зная химического состава ортита, и только на основе морфологических признаков Г. Розе назвал верхотурский ортит «чёрным эпидотом», или букландитом.

Химическую природу чёрного эпидота из Верхотурья установил Ганс Рудольф Герман (рис. 3), приехавший в 1827 г. из германского Дрездена в Москву для организации завода по изготовлению искусственных минеральных вод (Либман, 1956). С этого времени Москва стала для Германа второй родиной (Траутшольд, 1881). Не имея официального высшего образования, но благодаря своей одаренности и увлеченности наукой, Герман достиг поразительных результатов. Особенно велики его заслуги в области аналитической химии минералов редких земель, циркония, тория, урана, тантала и ниобия. Основоположник современной кристаллографии Е.С. Фёдоров называл Р. Германа одним из основателей минералогической науки наряду с Н.И. Кокшаровым и Г. Розе.

В 1841 г. Герману для изучения был передан образец «чевкинита» из Ильменских гор. Разложив минерал, Герман доказал со всей очевидностью его отличие от чевкинита, принял за ортит и описал под названием уралортита (Hermann, 1841). Таким образом, Ильме-



Рис. 2. Верхотурье. Вид на Свято-Троицкий собор и Троицкий Камень на левом берегу р. Туры — место первой находки ортита в России. Фото: С.А. Гаврилов, 2011 г.

ны стали местом второй находки ортита в России после Верхотурья, а приведенный химический анализ явился, по всей видимости, первым из опубликованных для российского ортита. Уралортит происходил, вероятно, из копи 22 по нумерации М.П. Мельникова (Попова и др., 1980).

Находка «уралортита» побудила Германа сделать химические анализы других алланитов, ортитов, «чёрных эпидотов» из северной Европы и Верхотурья (Hermann, 1848). Появился, наконец, достаточно точный по тому времени, химический состав верхотурского ортита (табл. 1). На основе своих анализов исследованных минералов и гониометрических измерений кристаллов верхотурского ортита и ильменского «уралортита», выполненных Г. Розе, Герман приходит к важным выводам, что все исследованные минералы представляют собой ортит, и должны быть отнесены к группе эпидота (Hermann, 1848). Аналогичные выводы независимо от Германа, но чуть позднее, сделал Н.И. Кокшаров (Кокшаров, 1848).

Долгое время сосуществовали названия «алланит» и «ортит», обозначавшие соответственно таблитчатые кристаллические и призматические метамиктные водосодержащие разновидности минерала. В 1986 г. Комиссия по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации оставила в качестве корневого лишь название «алланит», и минерал Т. Томпсона был назван алланитом-(Ce) (Nickel, Mandarino, 1987). Статус минерального вида также получили алланит-(Y), алланит-(La) (Armbruster *et al.*, 2006). Таким образом, по результатам анализов в соответствии с требованиями современной номенклатуры ортит из Верхотурья является алланитом-(Ce).

При подготовке статьи не удалось найти публикаций по морфологии верхотурского алланита. Кратковременная поездка В.А. Губина в 2013 г. в Верхотурье тоже не решила проблему: алланит из пегматитовых жил Троицкого Камня (рис. 4) был вполне пригоден для химических анализов, но не для кристаллографических измерений.

Хорошие кристаллы алланита с этого места, однако, были обнаружены в сборах Александра Евгеньевича Ферсмана. А.Е. Ферсман в рамках Радиевой экспедиции, организованной В.И. Вернадским в 1911 г. для изучения радиоактивных минералов и руд России, дважды посещал Верхотурье: в 1912 г. вместе с академиком Вернадским и в 1913 г. — с химиком-минералогом Б.А. Линденером. Во второй поездке был собран материал с хоро-



Рис. 3. Рудольф Герман (1805–1879) — естествоиспытатель, минералог, один из авторитетнейших российских химиков-аналитиков середины XIX в., доктор медицины, член-корреспондент Российской академии наук, автор более 180 научных публикаций в российских и немецких журналах и сборниках (Либман, 1956).

Таблица 1. Состав алланитов из Верхотурья (мас.%)

Компоненты	Hermann, 1848*	наши данные			
		1	2	3	4
SiO ₂	32.46	33.47	31.76	32.10	31.95
TiO ₂		0.10	0.16	0.19	0.23
ThO ₂		0.28	0.40	0.26	0.37
UO ₂		0.02	0.00	0.04	0.03
Al ₂ O ₃	18.09	20.05	17.10	17.46	16.85
Y ₂ O ₃	1.5	0.01	0.11	0.07	0.04
La ₂ O ₃	9.76	4.38	5.56	5.82	5.33
Ce ₂ O ₃	6.77	7.82	10.42	10.26	10.30
Pr ₂ O ₃		0.49	0.77	1.02	0.62
Nd ₂ O ₃		2.63	2.95	3.10	3.06
Sm ₂ O ₃		0.36	0.27	0.32	0.20
Gd ₂ O ₃		0.12	0.19	0.14	0.16
MgO	1.02	0.68	0.61	0.84	0.76
CaO	13.18	14.99	11.04	11.43	11.03
FeO	13.84**	10.09	11.32	12.59	11.06
MnO	следы	0.55	0.59	0.75	0.57
Na ₂ O		0.00	0.10	0.06	0.11
H ₂ O	3.40				
F		0.13	0.20	0.19	0.09
-O=F ₂		-0.05	-0.08	-0.08	-0.04
Сумма	100.02	96.17	93.55	96.64	92.76

Примечание: * — в ан. обнаружены следы окиси меди и окиси марганца; ** — пересчет на $\Sigma(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$.

Пустая клетка означает, что компонент не определялся. 0.00 — содержание компонента ниже предела обнаружения. Номера анализов соответствуют номерам точек на снимке BSE; микронзондовый анализатор CAMECA SX 100, аналитик В.В. Хиллер. Эмпирические формулы алланита (расчет на 8 катионов, при $\text{Si} > 3.05$ формула нормализовалась на $\text{Si} = 3$ а.ф.; Armbruster *et al.*, 2006): Hermann — $(\text{Ca}_{1.30}\text{Ce}_{0.23}\text{La}_{0.33}\text{Y}_{0.07})_{1.93}(\text{Al}_{1.94}\text{Fe}_{1.06}\text{Mg}_{0.14})_{3.16}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}_{0.33}(\text{OH})_{2.06}$; 1 — $(\text{Ca}_{1.44}\text{Ce}_{0.26}\text{La}_{0.15}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{0.02}\text{Sm}_{0.01}\text{Th}_{0.01})_{1.97}(\text{Al}_{2.12}\text{Fe}_{0.76}\text{Mg}_{0.09}\text{Mn}_{0.04}\text{Ti}_{0.01})_{3.02}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}_{0.96}\text{F}_{0.04})\text{OH}_{0.70}$; 2 — $(\text{Ca}_{1.12}\text{Ce}_{0.37}\text{La}_{0.20}\text{Nd}_{0.10}\text{Pr}_{0.03}\text{Sm}_{0.01}\text{Th}_{0.01}\text{Gd}_{0.01}\text{Y}_{0.01}\text{Na}_{0.02})_{1.88}(\text{Al}_{1.90}\text{Fe}_{0.89}\text{Mg}_{0.09}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_{0.01})_{2.94}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}_{0.94}\text{F}_{0.06})(\text{OH})_{0.35}$; 3 — $(\text{Ca}_{1.22}\text{Ce}_{0.33}\text{La}_{0.20}\text{Nd}_{0.10}\text{Pr}_{0.03}\text{Sm}_{0.01}\text{Th}_{0.01}\text{Na}_{0.01})_{1.93}(\text{Al}_{1.92}\text{Fe}_{0.96}\text{Mg}_{0.12}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_{0.02})_{3.07}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}_{0.94}\text{F}_{0.06})(\text{OH})_{0.72}$; 4 — $(\text{Ca}_{1.15}\text{Ce}_{0.35}\text{La}_{0.19}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.02}\text{Sm}_{0.01}\text{Th}_{0.01}\text{Gd}_{0.01}\text{Na}_{0.02})_{1.87}(\text{Al}_{1.86}\text{Fe}_{0.87}\text{Mg}_{0.11}\text{Mn}_{0.05}\text{Ti}_{0.03})_{2.94}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}_{0.97}\text{F}_{0.03})(\text{OH})_{0.22}$.



Рис. 4. Кристалл алланиита (1,8 см) в кварц-полевошпатовом пегматите. Верхотурье, Троицкий Камень. Фото: В.А. Губин.
Рис. 5. Двойник по {100} алланиита. 1 см. Верхотурье, яма за Женским монастырём. ММФ, систематическая коллекция, № 21851, сбор А.Е. Ферсмана и Б.А. Линденера, 1913 г. Фото: М.М. Мусеев.

шо образованными кристаллами алланиита и выяснено распространение жил с этим минералом. В отчёте А.Е. Ферсман так описывает места отбора проб: «В самом Троицком Камне лейкократовые жилы с ортитом хотя и имеются, но в ограниченном количестве, и добыть из них годный материал не представляется возможным. Зато в каменоломне за городом и женским монастырём удалось собрать превосходный материал: особенно в северо-западном углу этой ломки была обнаружена богатая пегматитовая жила, разработка которой рабочими дала не только ряд штуфов с этим минералом, но и хороший подбор правильных кристалликов, богатых гранями, с хорошо образованными головками» (Ферсман, 1914, с. 159).

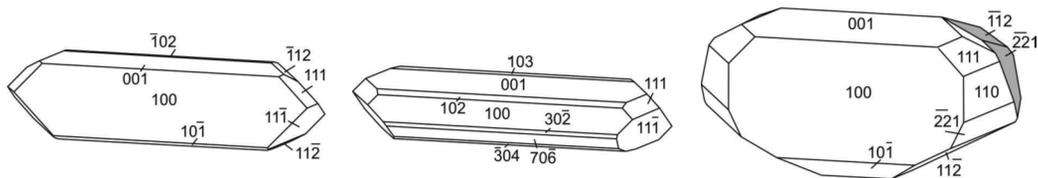
Пегматитовые жилы с алланиитом в районе Верхотурья залегают в довольно основном биотитовом граните герцинского возраста, лишённом какой-либо расслоенности. Эти пегматиты А.Е. Ферсман относит к наиболее ранним, глубинным, типа I (подтип — алланиитовые пегматиты), отвечающие геофазам В, С (Ферсман, 1940). Пегматиты Троицкого Камня состоят из основного плагиоклаза, в меньшей степени — из микроклина, кварца, биотита и роговой обманки. Список акцессориев

пегматитов скуден — это алланиит, магнетит, халькопирит, шерл. Дополнительно в наших сборах были встречены фторапатит (содержит 3.43 мас.% F и 0.35 мас.% REE), циркон, эпидот и кальцит.

Александр Евгеньевич после своих путешествий привезенные минералы сдавал в различные музеи и университеты страны, но главным образом в Минералогический музей Российской академии наук. Минералогические сборы А.Е. Ферсмана из фондов последнего систематизированы В.Д. Дусматовым по географии находок и по инвентарным номерам (Дусматов, 2003). Среди них есть и образцы алланиита-(Ce) из Верхотурья, собранные А.Е. Ферсманом и Б.А. Линденером в 1913 г. в описываемой каменоломне (№№ 702 — 707 из коллекции месторождений и №№ 21846 — 21856 из систематической коллекции).

При нашем знакомстве с этими сборами установлено, что двойники и кристаллы алланиита-(Ce) свежие, чёрного цвета, без характерной «кофейной» рубашки изменения. Фрагменты плоскостей кристаллов достаточно ровные, но блестят слабо (рис. 5). Ряд кристаллов имеет грани на головках, особенно хорошим качеством отличаются кристаллы,

Рис. 6. Форма кристаллов и двойников по {100} алланиита-(Ce) из Верхотурья (по замерам кристаллов ММФ № 21851).



записанные в систематическую коллекцию под № 21851. Размер отдельных кристаллов достигает 2.5 x 1 см, в среднем же не превышает 1 см. Для этих кристаллов были проведены гониометрические измерения с использованием столика Фёдорова под бинокулярным микроскопом (рис. 6).

Кроме участков плоских граней на поверхности кристаллов значительную площадь занимают индукционные поверхности одновременного роста алланита с кварцем, биотитом и полевым шпатом.

Рентгенографически этот материал оказался слабометамиктным. Порошкограмма обломка одного из кристаллов, записанных под № 21851, представлена в таблице 2. По сравнению с нематамиктным алланитом-(Ce) (Cech *et al.*, 1972), данные по которому приведены в этой же таблице, порошкограмма алланита из Верхотурья характеризуется небольшим набором линий, частично уширенных и «размытых».

Химический состав алланита в образцах, собранных в Верхотурье авторами, изучался в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) на микрозондовом анализаторе с волнодисперсионными спектрометрами CAMECA SX 100 (рис. 7, табл. 2, аналитик В.В. Хиллер) при следующих условиях: напряжение 15 кВ, сила тока 50 нА, диаметр пучка 5 мкм. Стандарты: синтетические фосфаты вида $(REE)PO_4$ (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd), Fe_2O_3 (Fe), TiO_2 (Ti), ThO_2 (Th), UO_2 (U), диоксид (Si, Mg, Ca), родонит (Mn), жадеит (Na, Al), фтор-флогопит (F на кристалл-анализаторе LPC0). Условия картирования: 15 кВ, 100 нА, время сканирования в каждой точке карты 100 мс, время набора каждой карты — 4 часа 20 минут. Всего проанализировано 15 точек, из которых выбраны типичные 4 для различных зон роста. Проанализированный нами материал имеет селективно-цериевый состав лантаноидов с преобладанием собственно церия, в связи с чем его следует именовать алланит-(Ce). Отметим также относительно большое количество магния (около 0.9 мас.% MgO), которое можно объяснить повышенной магниальностью вмещающих гранитов. Минерал содержит очень мало тория, с этим, вероятно, связана слабая метамиктность минерала, фиксируемая на рентгенограмме. В целом, современные микрозондовые анализы близки анализу Р. Германа (табл. 1). Заметим, однако, что в анализе Германа La преобладает над Ce, и, согласно современной номенклатуре группы эпидота (Nickel, Mandarino, 1987; Armbruster *et al.*, 2006), минерал следовало бы называть алланит-(La). Списывать это разли-

Таблица 2. Межплоскостные расстояния алланита-(Ce) из Верхотурья, Ср. Урал, и Замбии

Верхотурье (наши данные)		Луангве, Замбия (Cech <i>et al.</i> , 1972)*		
<i>I</i>	<i>d/n</i> , Å	<i>I</i>	<i>d/n</i> , Å	<i>hkl</i>
		8	9.23	001
		11	8.11	100
		17	7.96	-101
		13	5.12	101
		10	5.02	-102
		5	4.89	011
10ш	4.72	15	4.70	-110
		10	4.61	002
		1	4.06	200
		3	3.98	-202
		4	3.83	111
		8	3.79	-112
		9	3.60	012
90	3.523	45	3.53	-211
30	3.355	7	3.32	-210
		6	3.28	-212
		13	3.25	201
		2	3.17	-203
100	2.921	100	2.920	-113
30ш	2.845	30	2.886	020
		16	2.829	211
		5	2.753	021
40ш	2.707	65	2.714	013
		5	2.658	-303
50	2.619	40	2.627	-311
		20	2.561	202
		10	2.506	-204
10	2.462	8	2.447	022
10	2.415	14	2.413	-313
		13	2.337	-222
		8	2.301	-114
		5	2.291	-304
		2	2.233	-402
		7	2.210	122
		12	2.193	-123
		35	2.182	-401
20ш	2.141	25	2.158	-403
		13	2.141	014
		19	2.135	-223
20ш	2.117	11	2.105	023
		5	2.070	203
		3	2.056	322
		3	2.030	-205

Примечание: ш — широкая линия; условия съемки алланита из Верхотурья: фотометод, камера Гинье Huber 621 с кварцевым монохроматором; $SiK\alpha$, излучение; внутренний стандарт — кварц, аналитик В.Ю. Карпенко. * — данные для $d/n < 2.00$ не приведены.

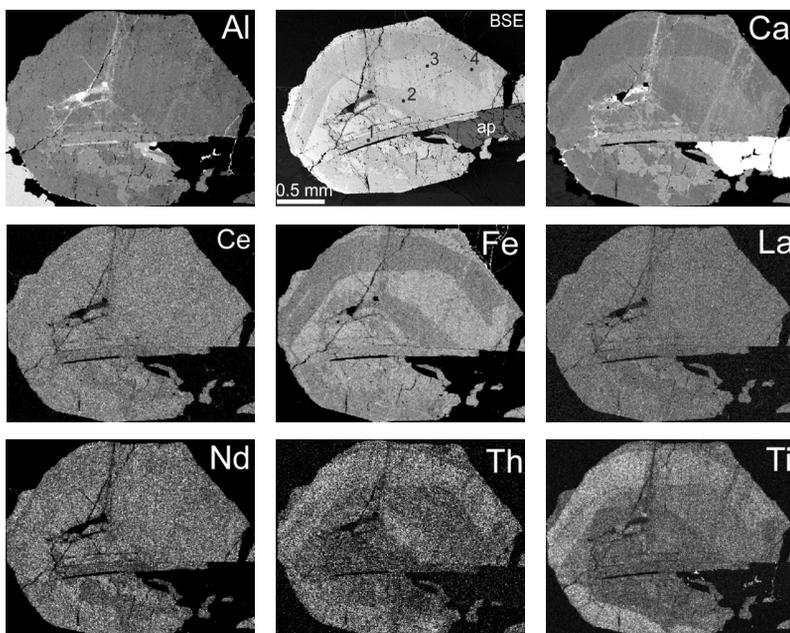


Рис. 7. Поперечное сечение кристалла алланита-(Ce). Изображение в режиме обратно-отраженных электронов (BSE) и в характеристическом рентгеновском излучении AlK α , FeK α , CaK α , TiK α , CeL α , LaL α , NdL α , ThM α .

Аналитик В.В. Хиллер.

чие на несовершенство методики старого анализа рано, поскольку исследовано лишь одно случайное сечение. С другой стороны, на момент выполнения анализа Р. Германом (1848 год) часть редких земель попросту еще не была известна, либо была известна в виде смесей, что вполне могло привести к соответствующему результату.

Для алланитов характерны разнообразие и широта изоморфных замещений, что было описано многими авторами (Хвостова, 1962; Кепижинская, Хлестов, 1971; Gieré, Sorensen, 2004; Armbruster *et al.*, 2006; и др.). Наряду с распространенной схемой гетеровалентного изоморфизма $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{REE}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ в нашем случае следует указать и иные. Присутствие Mn, Mg и F позволяет говорить о наличии компонент долассейта-(Ce) и хривовита-(Ce) и реализации механизмов $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{REE}^{3+} + (\text{Mn}, \text{Mg})^{2+}$ и $\text{Al}^{3+} + \text{O}^{2-} \leftrightarrow (\text{Mn}, \text{Mg})^{2+} + \text{F}^{-}$ (Peacor, Dunn, 1988; Паутов и др., 1993). Th и U могут входить по схеме $(\text{Th}, \text{U})^{4+} + 2\text{M}^{2+} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{REE}^{3+}$ (где M = Fe $^{2+}$, Mn $^{2+}$, Mg $^{2+}$) (Gieré, Sorensen, 2004).

На BSE-снимке сечения алланита (рис. 7) выявляется сложная ростовая зональность и секториальность кристалла, не всегда коррелирующая с колебаниями содержания того или иного элемента, а являющаяся, по всей вероятности, общим итогом реализации нескольких схем изоморфных замещений. В центральной (нижней) части случайного сечения кристалла видны участки с повышенными содержаниями Ca и Al,

которые по составу приближаются к эпидоту (табл. 1, ан. 1). Пятнистость этого участка, возможно, связана с блочным ростом кристалла. Теоретически возможно, что в полной анатомической картине вдоль кристалла встретится редкоземельный эпидот. Титан и торий дают аналогичную картину распределения, но секториальность их явно различна (рис. 7). В распределении редких земель в изученном сечении нет яркой зональности, но секториальность заметна, особенно по церию и лантану. Существенный недостаток суммы в анализах 2 и 4 связан, скорее всего, с метамиктизацией соответствующих зон, что вызвано, вероятно, их обогащенностью торием и подтверждается соответствующей иллюстрацией (рис. 7). Похожий пример приведен для алланита-(Ce) из кварцевых прожилков формации Олдридж, Британская Колумбия, Канада (Campbell, Ethier, 1984).

Описанная неоднородность состава изученного кристалла дает возможность предположить вариации состава алланитов как в самом гранитном массиве, так и в других его пегматитовых жилах.

Широкое распространение алланита в Верхотурском районе замечено давно. На крупных минералогических объектах, каковым является Верхотурье, следует ожидать значительные вариации форм и состава минералов в разных фазах и фациях тел горных пород. Это подтверждает наше дополнительное исследование. Верхотурье – рай-

он, где можно поставить специальные исследования типоморфизма алланита на базе минералогического картирования. Алланиты, которые мы рассмотрели в разных коллекциях, судя по индукционным поверхностям, выросли синхронно с окружающими магматическими минералами, поэтому их типоморфизм можно увязывать с типоморфизмом других минералов соответствующих парагенезисов.

Авторы благодарны работникам библиотек города Екатеринбурга В.Н. Оносовой, Т.Б. Кочергиной и З.А. Спиридоновой за помощь в подборе исторической литературы, С.А. Гаврилову за прекрасный снимок панорамы Троицкого Камня, М.М. Моисееву за фото кристаллов, Э.М. Спиридонову и Л.А. Паутову за ценные советы.

Литература

- Дусматов В.Д., Вклад А.Е. Ферсмана в систематическую коллекцию Минералогического музея Российской Академии Наук // Новые данные о минералах. **2003**. Вып. 38. С. 135–141.
- Кепижинская К.Б., Хлестов В.В. Статистический анализ минералов группы эпидота. М.: Наука. **1971**. 310 с.
- Кошаров Н.И. О кристаллической системе уралортита // Горный журнал. **1848**. Ч. 2. Кн. 5. С. 204–227.
- Кошаров Н.И. Материалы для минералогии России. СПб. **1858**. Ч. 3. С. 380–419.
- Либман Э.П. О работах Р.И. Германа в области химии и минералогии редких металлов // Тр. ин-та истории естествозн. и техн. **1956**. Т. 12. С. 40–54.
- Пасацкий В.М. Адольф Яковлевич Купфер, 1799 – 1865. М.: Наука. **1984**. 207 с.
- Паутов Л.А., Хворов П.В., Игнатенко К.И., Соколова Е.В., Надежина Т.М. Христовит-(Ce) $(Ca,REE)REE(Mg,Fe)MnAlSi_3O_{11}OH(F,O)$ – новый минерал группы эпидота // Зап. ВМО. **1993**. Ч. 122. Вып. 3. С. 103–111.
- Попова В.И., Баженова Л.Ф., Поляков В.О. Ортит ильменских гор // Минерал. журн. **1980**. Т. 2. № 3. С. 73–82.
- Траутшольд Г. Рудольф Герман (некролог) // Зап. СПб. Минерал. Об-ва. **1881**. Ч. 16. С. 1–20.
- Ферсман А.Е. Отчет о командировке на Урал летом 1913 года // Тр. Геол. музея Импер. Акад. Наук. **1914**. Т. 8. Вып. 8. С. 159–160.
- Ферсман А.Е. Пегматиты / Т. 1. Гранитные пегматиты. М.-Л.: АН СССР. **1940**. 712 с.
- Хвостова В.А. Минералогия ортита // Тр. ИМГРЭ. М.: АН СССР. **1962**. Вып. 11. 120 с.
- Armbruster T., Bonazzi P., Akasaka M., Bernanec V., Chopin C., Gieré R., Heyss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Y., Pasero M. Recommended nomenclature of epidote-group minerals // Eur. J. Miner. **2006**. Vol. 18. P. 551–567.
- Campbell F.A., Ethier V.G. Composition of allanite in the footwall of the Sullivan orebody, British Columbia // Canad. Mineral. **1984**. Vol. 22. P. 507–511.
- Cech F., Vrána S., Povondra P. A non-metamict allanite from Zambia // Neues Jahrb. Mineral. Abh. **1972**. Vol. 116. P. 208–223.
- Gieré R., Sorensen S.S. Allanite and other REE-rich epidote-group minerals // Rev. in Mineral. and Geochem. **2004**. Vol. 56. Epidotes. Mineralogical Society of America, Washington. P. 431–493.
- Hermann R. Über Ural-Orthit ein neues Mineral // Bull. Soc. Natur. Moscou. **1841**. Bd. 3. S. 544–549 (на нем. яз.).
- Hermann R. Untersuchungen russischer Mineralien. 31. Über die Zusammensetzung der Epidote, so wie über heteromere Mineralien im Allgemeinen. (Schluss.) // J. prakt. Chem. Leipzig, **1848**. Bd. XLIII. № 1. S. 81–113 (на нем. яз.).
- Kupffer A.Th. Voyage dans l'Oural entrepris en 1828. Paris. **1833**. P. 426 (на фр. яз.).
- Nickel E.H., Mandarino J.A. Procedures involving the IMA Commission on New Minerals and Mineral Names, and Guidelines on Mineral Nomenclature // Canad. Mineral. **1987**. Vol. 25. P. 353–377.
- Peacor D.R., Dunn P.J. Dollaseite-(Ce) (magnesium orthite redefined): structure refinement and implications for F + M²⁺ substitutions in epidote-group minerals // Amer. Mineral. **1988**. Vol. 73. P. 838–842.
- Rose G. Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere von A. Humboldt, Ehrenberg und Gustav Rose. Berlin: Verlag der Sanderachen Buchhandlung (C.W. Eichhoff). **1837**. Bd. 1. 641 S. (на нем. яз.).
- Thompson T. Experiments on allanite, a new mineral from Greenland // Trans. Royal. Soc. Edinburg. **1810**. Vol. 8. P. 371–386.