

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА МИНЕРАЛОВ

УДК 549.523

© Д. чл. С. А. АНАНЬЕВ,* д. чл. С. И. КОНОВАЛЕНКО,** д. чл. Р. К. РАСЦВЕТАЕВА,***
д. чл. С. М. АКСЕНОВ,**** д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ,***** д. чл. А. Н. САПОЖНИКОВ,*****
д. чл. В. Е. ЗАГОРСКИЙ,***** А. А. ВИРЮС*****

ТАШЕЛГИТ $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ИЗВЕСТКОВЫХ СКАРНОИДОВ ГОРНОЙ ШОРИИ¹

* Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79;
e-mail: sananiev@mail.ru

** Томский государственный университет, 634050, Томск, пр. Ленина, 36

*** Институт кристаллографии РАН, 119333, Москва, Ленинский проспект, 59

**** Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка

***** Институт геохимии СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а

***** Институт экспериментальной минералогии РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка

Новый минерал ташелгит $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$ найден в известковых скарноидах Ташелгинского проявления (северные отроги Кузнецкого Алатау, Горная Шория) в ассоциации с хибонитом,grossуляром, везувианом, магнетитом, герцинитом, корундом, апатитом, перовскитом, диопсидом и апатитом.

Ключевые слова: новый минерал, ташелгит, гидроксид, кристаллическая структура, известковый скарноид.

S. A. ANANYEV, S. I. KONOVALENKO, R. K. RASTSVETAIEVA, S. M. AKSENOV,
N. V. CHUKANOV, A. N. SAPOZHNIKOV, V. E. ZAGORSKY, A. A. VIRYUS.

TASHELGIT $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$ — A NEW MINERAL SPECIES FROM CALCEREOUS SKARNIDS OF GORNAYA SHORIA

The new mineral species has been discovered in Tashelginskoye occurrence of calcium skarnoid rocks near mouth of the Tashelga River (Kuznetsky Alatau Mountains, Gornaya Shoria, Russia) and named after the discovery locality. Associated minerals are calcite, hibanite, grossular, vesuvianite, hercynite, magnetite, corundum, perovskite, scapolite, diopside and apatite. The new mineral occurs as prismatic or fine-fibrous crystals up to 1.5—2 mm in length, their parallel growths and felt-like aggregates up to 10 mm in diameter. Tashelgite is translucent up to transparent. Its color is bluish-green, luster vitreous. $D_{\text{calc}} = 3.67 \text{ g/cm}^3$. ER spectrum does not contain bands due to OH groups. Tashelgite is biaxial (–), with $\alpha = 1.736(2)$, $\beta = 1.746(2)$, $\gamma = 1.750(2)$, $2V$ (meas.) = $-20(2)^\circ$. Dispersion is strong, $r < v$. Pleochroism: X (blue-green) > Y (yellowish-green) > Z (almost colorless). Chemical composition (electron microprobe, mean of 5 point analyses, Fe_2O_3 by the ratio of intensities $I(\text{Fe}_{\text{K}\alpha_1})/I(\text{Fe}_{\text{K}\alpha_2})$) in the X-ray spectrum, H_2O was determined as weight loss on heating in vacuum up to 1000°C): CaO 7.98, MgO 6.75, MnO 0.45, FeO 11.32, Fe_2O_3 1.40, Al_2O_3 70.70, H_2O 1.8(2), total sum 100.40. The empirical formula calculated on 17 O atoms is: $\text{H}_{1.27}\text{Ca}_{0.90}\text{Mg}_{1.06}\text{Mn}_{0.04}\text{Fe}_{1.00}^{2+}\text{Fe}_{0.11}^{3+}\text{Al}_{8.80}\text{O}_{17.00}$. The idealized formula is: $\text{CaMgFe}^{2+}\cdot\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$. According to the single-crystal X-ray structural data, tashelgite is monoclinic, pseudo-orthorhombic, space group Pc ; unit-cell parameters are: $a = 5.6973(1)$, $b = 17.1823(4)$, $c = 23.5718(5) \text{ \AA}$; $\beta = 90.046(3)^\circ$; $V = 2307.5(1) \text{ \AA}^3$, $Z = 8$. The crystal structure of tashelgite is unique and is characterized by the ordering of all cations; Al occupies sites with octahedral and tetrahedral coordination. The cation ordering is confirmed also by IR spectroscopy. The strongest lines of the X-ray powder diffraction pattern

¹ Новый минерал ташелгит и его название утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации 5 июля 2010 г., IMA No 2010-017.

(d, $\bar{A}$ -[hkl]) are: 11.79-48 [002], 2.845-43 [061], 2.616-100 [108], 2.584-81 [146], 2.437-44 [163], 2.406-61 [057], 2.202-72 [244]. Type specimen of tashelgite is deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Key words: new mineral, tashelgite, hydroxide, crystal structure, calcium metasomatic rock.

История изучения описываемого ниже минерала насчитывает более полувека. Первые упоминания о нем появились в разделе «Хроника» журнала «Записки ВМО» (Мокиевский, 1953), где сообщалось о докладе Е. И. Нефедова на «Научной сессии Федоровского института совместно с Всесоюзным минералогическим обществом», посвященном открытию девяти новых минералов. Среди прочего там были приведены оптические и физические характеристики, а также данные об ассоциации «нового сложного окисла Al, Mg, Ca, и Fe», названного лодочниковитом. Позже эти предварительные данные были повторно опубликованы в различных работах (Nefedov, 1955; Кузьмин, 1961; Минералы..., 1967). Однако в то время не были определены количественный химический состав, кристаллическая структура, термические, спектроскопические и другие важные характеристики этого минерала. Из-за недостаточной изученности лодочниковит не был зарегистрирован как новый минеральный вид.

В настоящей работе выполнено детальное исследование этого минерала, что послужило предпосылкой для его признания в качестве самостоятельного минерального вида. Название **ташелгит** новый минерал получил по месту находки (Ташелгинское проявление в долине реки Ташелги).

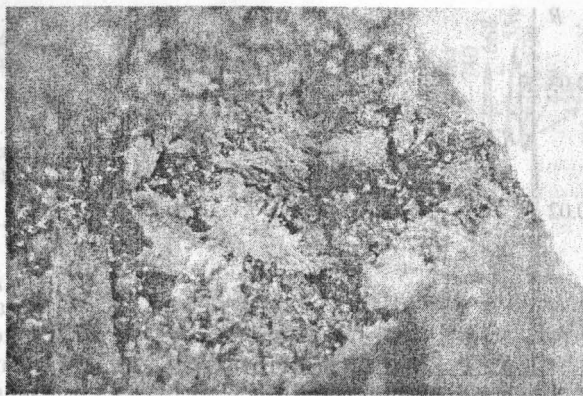
Ташелгинское проявление находится на территории Горной Шории (Кемеровская область) вблизи устья р. Ташелги, в междуречье Мрас-Су и Томи. Координаты проявления: широта (N) 53°22'60.3; долгота (E) 88°17'07.1. В геологическом отношении проявление приурочено к Томскому выступу (северные отроги Кузнецкого Алатау), который в регионе представляет собой выход складчатого фундамента протерозойско-палеозойского возраста.

Ташелгинское проявление представлено маломощными (десятки сантиметров) зонами известковых скарноидов, вскрытых канавами. Кроме доминирующего кальцита они содержат необычную минеральную ассоциацию, включающую в себя редкий минерал — хибонит, а также розовато-коричневый гранат, по составу приближающийся к гроссуляру, медово-желтый везувиан, магнетит, черную шпинель (герцинит), корунд (лейкосапфир), апатит и перовскит. В краевых частях минерализованных зон появляются диопсид и скаполит (Ананьев, Коноваленко, 2008). Содержание кальцита в скарноидах составляет от 50 % и более. Цвет его серовато-белый со слабым голубым оттенком. Остальные минералы обычно представлены рассеянной вкрапленностью либо желваковыми срастаниями размером до 15 см. В продуктах кислотного растворения ташелгинских скарноидов преобладает хибонит. В ряду идиоморфизма он также находится на первом месте, образуя правильные таблитчатые кристаллы до 20—30 мм в поперечнике. По степени идиоморфизма хибониту уступают везувиан и ташелгит. Остальные минералы ксеноморфны, их индивиды не крупные — от долей до первых мм. Везувиан, гроссуляр, герцинит, лейкосапфир имеют «оплавленные» формы, а облик кристаллов корунда напоминает снежинки. Для кристаллов ташелгита также характерна округлость ребер и вершин. В нерастворимой в соляной кислоте фракции содержание хибонита и везувиана составляет 50 и 40 % соответственно. На гроссуляр приходится около 3 %, на герцинит и лейкосапфир по 2 %, содержание остальных минералов — доли процента.

Анализ последовательности образования минералов ташелгинских скарноидов показывает, что первым кристаллизовался хибонит, затем гроссуляр, везувиан (1-я генерация), магнетит, герцинит, везувиан (2-я генерация). Самыми поздними минеральными фазами являлись лейкосапфир и ташелгит. Последний не только нарастает, но и частично вырастает в везувиан-2 и герцинит, а также образует изолированные вкрапления полисинтетических двойников в массивном кальците. Нередко ташелгит в виде войлокоподобных агрегатов находится в промежутках хибонит-везувиан-гранат-шпинелевых сростков (рис. 1). В самом ташелгите электронно-зондовым микро-

Рис. 1. Войлокоподобный агрегат ташелгита в скарноиде в ассоциации с хибонитом (серый пластинчатый кристалл слева), везувианом и корундом (белый). Ширина поля 3 см.

Fig. 1. Felt-like aggregate of tashelgite in skarn, in association with hibonite (gray plate-shaped crystal at left), vesuvianite and corundum (white); width of the view-field 3 cm.



анализом выявлены включения поздних генераций магнетита и обнаружено одно включение перовскита. Кроме этих минералов в кальците наблюдается редкая рассеянная вкрапленность апатита. Время его образования оценить трудно.

Ташелгит образует длиннопризматические игольчатые (направления удлинения — а), слегка уплощенные кристаллы (основные простые формы {001} и {010}) и их параллельные сращения размерами до $0.2 \times 0.3 \times 2$ мм (рис. 2). Полисинтетически sdвойникованные по (001) кристаллы имеют грубую продольную штриховку. Достаточно часто ташелгит представлен войлокоподобными агрегатами (размером до 10 мм в поперечнике), имеющими спутанно-волокнистое до радиально-волокнистого строение.

Индивиды нового минерала просвечивают, реже прозрачные, имеют сине-зеленый цвет и стеклянный блеск. Редко волокнистые агрегаты ташелгита имеют белый цвет. Спайность и отдельность отсутствуют. Минерал хрупкий. Твердость ташелгита по шкале Мооса 7.5. Вычисленная плотность 3.67 г/см^3 . Ташелгит не растворяется в соляной и серной кислотах.

Кристаллооптические свойства определялись аналитиком Т. Н. Ивановой (каф. минералогии МГУ). Методом фокального экранирования установлены показатели преломления и двупреломление, согласующиеся с данными, приведенными ранее Е. И. Нефедовым (Мокиевский, 1953). Минерал оптически двуосный (—). Показатели преломления: $n_p = 1.736(2)$, $n_m = 1.746(2)$, $n_g = 1.750(2)$. $2V_{\text{изм}} = -20(2)^\circ$. Величина $2V$ не может быть вычислена по показателям преломления, так как n_m и n_g близки по своим значениям. Схема плеохроизма: X (сине-зеленый) > Y (светлый желтовато-зеленый) > Z (почти бесцветный). Дисперсия сильная, $r < v$. Ориентация: X = а; $Y \approx b$; X = с. Погасание почти прямое.

Химический состав ташелгита (табл. 1) изучен электронно-зондовым методом, с использованием энергодисперсионного анализатора при ускоряющем напряжении

15.7 кВ и токе зонда 0.5 нА. Размер анализируемой поверхности составлял 16×16 мкм. Выполнено 5 локальных анализов. Содержания F, Cl, Na, Si, P, S, K, Ti, V, Cr, Ni, Zn, Sr, Nb, Ba, REE, Pb ниже порога определения. Вода определена как потеря веса при прокаливании минералов в вакууме до 1000°C .

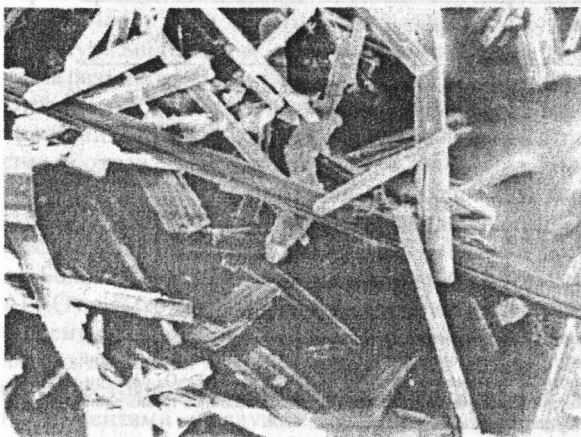


Рис. 2. Длиннопризматические кристаллы ташелгита. Изображение РЭМ. Ширина поля 40 мкм.

Fig. 2. Long-prismatic crystals of tashelgite. REM-image; width of the view-field 40 mkm.

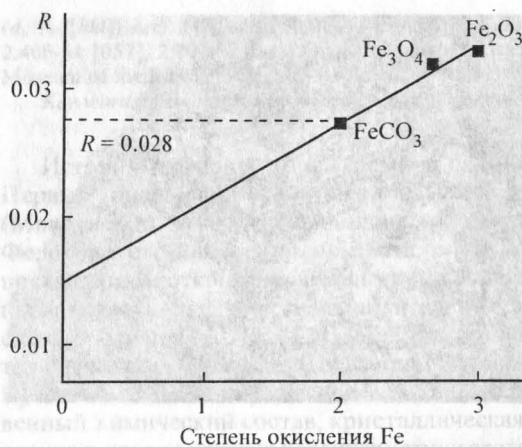


Рис. 3. Зависимость параметра $R = I(\text{Fe}_{K\beta 5}) / I(\text{Fe}_{K\beta 1})$ от степени окисления железа. Горизонтальная линия при $R = 0.028$ соответствует ташелгиту.

Рис. 3. Dependence of the ratio $R = I(\text{Fe}_{K\beta 5}) / I(\text{Fe}_{K\beta 1})$ on the oxidation degree of iron. Horizontal line at $R = 0.028$ corresponds to tashelgite.

Для определения валентности железа использовалась интегральная интенсивность линии $\text{Fe}_{K\beta 5}$ в спектре рентгеновского излучения. Данное значение зависит как от степени окисления железа, так и от общего содержания железа в минерале. Интенсивность линии $\text{Fe}_{K\beta 1}$ определяется только общим содержанием железа. Поэтому для определения степени окисления железа можно использовать коэффициент $R = I(\text{Fe}_{K\beta 5}) / I(\text{Fe}_{K\beta 1})$. Спектр рентгеновского излучения ташелгита в районе линий $\text{Fe}_{K\beta 5}$ и $\text{Fe}_{K\beta 1}$ был получен с помощью электронного микроскопа Tescan Vega II XMU с рентгеновским волновым спектрометром (INCA 700) в следующих условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток абсорбирующих электронов на цилиндре Фарадея 200 нА, кристаллический анализатор LiF. В качестве стандартов использовались сидерит, магнетит и гематит (степень окисления Fe 2.0, 2.67 и 3.0 соответственно) (рис. 3).

Эмпирическая формула, рассчитанная на 17 атомов кислорода: $\text{H}_{1.27}\text{Ca}_{0.90}\text{Mg}_{1.06} \cdot \text{Mn}_{0.04}\text{Fe}_{1.00}^{2+}\text{Fe}_{0.11}^{3+}\text{Al}_{8.80}\text{O}_{17.00}$. Идеализированной формуле ташелгита $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16} \cdot (\text{OH})$ ($Z = 8$) соответствует следующий состав: CaO 8.82, MgO 6.34, FeO 11.29, Al_2O_3 72.13, H_2O 1.42, сумма 100.00 мас. %.

ИК-спектр ташелгита (рис. 4) получен с помощью фурье-спектрометра ALPHA (BRUKER). Он содержит следующие полосы поглощения (см^{-1} ; s — сильная полоса, w — слабая полоса): 3655w (очень слабая полоса, валентные колебания основных групп OH); 3035w, 2985w (валентные колебания амфотерных групп OH в вершинах Al-центрированных тетраэдров); 929w (предположительно деформационные колеба-

Таблица 1
Химический состав ташелгита (мас. %)
Chemical composition of tashelgite (wt %)

Компонент	Содержание, мас. %	Диапазон содержаний, мас. %	Эталоны
CaO	7.98	7.75—8.33	Волластонит
MgO	6.75	6.51—7.09	Диопсид
MnO	0.45	0.26—0.59	Mn
FeO	11.32		Fe_2O_3
Fe_2O_3	1.40	12.09—12.84	
Al_2O_3	70.70	70.10—71.61	Al_2O_3
H_2O	1.8(2)		
Сумма	100.40		

Примечание. Содержание суммарного железа в пересчете на FeO составляет 12.58 %; разделение на FeO и Fe_2O_3 произведено с использованием отношения интенсивности линий $I(\text{Fe}_{K\beta 5}) / I(\text{Fe}_{K\beta 1})$ в спектре рентгеновского излучения железа (рис. 3). Содержание Fe_2O_3 пересчитано из суммарного содержания FeO. Содержание H_2O вычислено на основании данных термогравиметрии как потеря веса при прокаливании до 1000 °C в вакууме.

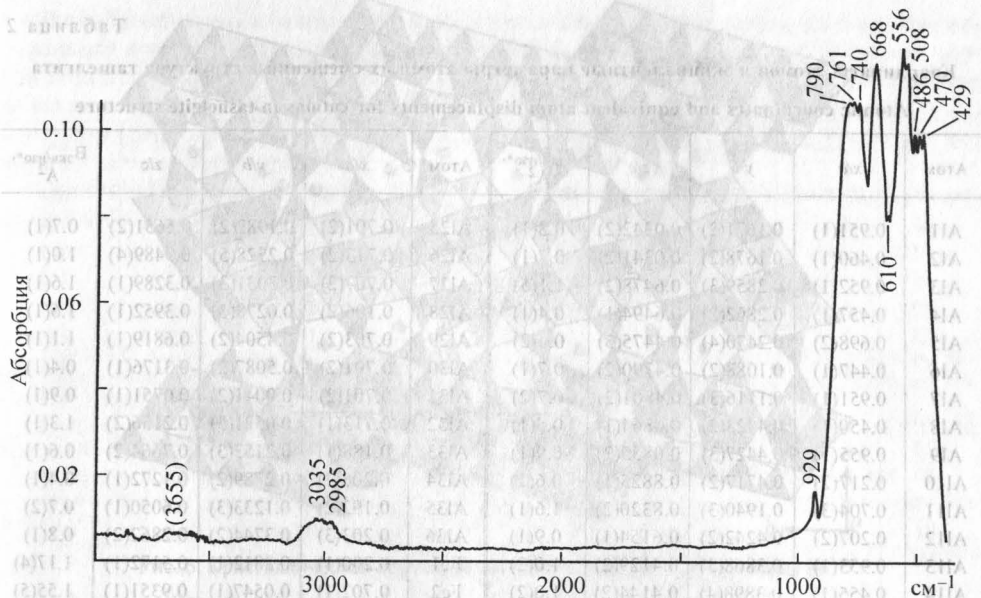


Рис. 4. Инфракрасный спектр ташелгита.

Fig. 4. Infrared spectrum of tashelgite.

ния $M \cdots O-H$); 790, 761, 740, 668s (валентные колебания тетраэдров); 610, 556s, 508s, 486, 470, 429 (валентные колебания октаэдров). Характеристические полосы групп CO_3 , BO_3 , BO_4 , H_2O в ИК-спектре ташелгита отсутствуют. Многочисленные узкие, хорошо разрешенные полосы поглощения указывают на высокую степень упорядоченности катионов в минерале. Инфракрасный спектр ташелгита уникален и может быть использован в качестве диагностической характеристики минерала.

С самого начала исследования ташелгита мы столкнулись с проблемой расшифровки его структуры. Неоднократные попытки за последние почти три десятилетия выполнить монокристалльную съемку завершались неудачей. Даже мельчайшие индивиды этого минерала оказывались поликристаллическими образованиями в виде тончайших сростков игольчатых кристаллов.

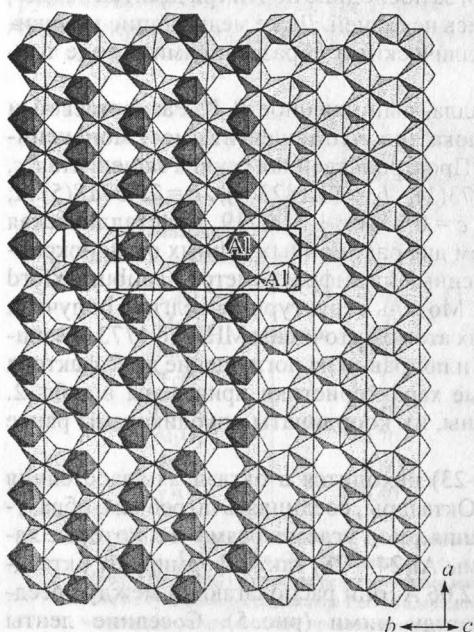
Рентгеновское исследование монокристалла, выполненное Р. К. Расцветаевой и С. М. Аксеновым (Расцветаева и др., 2010), показало, что ташелгит имеет моноклинную (псевдо-орторомбическую) симметрию. Пространственная группа ташелгита Pc , параметры элементарной ячейки: $a = 5.6973(1)$, $b = 17.1823(4)$, $c = 23.5718(5)$ Å; $\beta = 90.046(3)^\circ$; $V = 2307.5(1)$ Å³, $Z = 8$; $a : b : c = 0.3316 : 1 : 1.3719$. Кристаллическая структура минерала решена с использованием дифракционных данных от монокристалла размером $0.03 \times 0.02 \times 0.35$ мм, полученных на дифрактометре Xcalibur Oxford Diffraction, CCD-детектор, $Mo_{K\alpha}$ -излучение. Модель структуры ташелгита получена прямыми методами, позиции 116 независимых атомов уточнены МНК по 4773 независимым отражениям с учетом двойникования и поправки на поглощение до R -фактора 5.16 %. Координаты катионов и их тепловые характеристики приведены в табл. 2. Из-за громоздкости таблицы анионы опущены, их координаты опубликованы ранее (Расцветаева и др., 2010).

Большая часть атомов алюминия Al(1–23) находится в октаэдрах (расстояния Al—O не выходят за пределы 1.68–2.14 Å). Октаэдры, соединяясь по ребрам, образуют ленты, идущие вдоль короткого направления x под углом к осям y и z , которые являются вырезкой из шпинелевого слоя. Атомы Al(24–28) также формируют октаэдры с расстояниями Al—O в пределах 1.76–2.06 Å, они располагаются между соседними лентами и служат «распорками» между ними (рис. 5). Соседние ленты

Координаты атомов и эквивалентные параметры атомных смещений в структуре ташелгита

Atomic coordinates and equivalent atom displacements for cations in tashelgite structure

Атом	x/a	y/b	z/c	$B_{\text{экв}}/\text{из}^{\circ*}, \text{\AA}^2$	Атом	x/a	y/b	z/c	$B_{\text{экв}}/\text{из}^{\circ*}, \text{\AA}^2$
Al1	0.951(1)	0.1671(2)	0.0342(2)	0.8(1)	Al25	0.701(2)	0.1982(2)	0.5651(2)	0.7(1)
Al2	0.460(1)	0.1678(2)	0.0341(2)	0.7(1)	Al26	0.713(2)	0.2528(5)	0.9489(4)	1.0(1)
Al3	0.952(1)	0.2859(3)	0.6478(2)	1.1(5)	Al27	0.707(2)	0.3031(3)	0.3289(1)	1.6(1)
Al4	0.457(1)	0.2862(2)	0.6494(1)	0.4(1)	Al28	0.196(2)	0.0278(3)	0.3952(1)	1.6(1)
Al5	0.698(2)	0.2470(4)	0.4475(3)	0.4(2)	Al29	0.703(2)	0.4504(2)	0.6819(1)	1.1(1)
Al6	0.447(1)	0.1088(2)	0.4790(2)	0.7(1)	Al30	0.701(2)	0.5087(2)	0.3176(1)	0.4(1)
Al7	0.951(1)	0.1116(3)	0.4801(2)	0.7(2)	Al31	0.701(2)	0.0041(2)	0.0751(1)	0.9(1)
Al8	0.450(1)	0.4428(2)	0.0864(1)	0.5(1)	Al32	0.713(1)	0.0521(3)	0.2156(2)	1.3(1)
Al9	0.955(1)	0.4427(3)	0.0855(2)	0.9(1)	Al33	0.188(1)	0.2153(3)	0.7664(2)	0.6(1)
Al10	0.217(2)	0.4717(2)	0.8825(1)	0.6(1)	Al34	0.206(2)	0.2789(2)	0.1272(1)	0.4(1)
Al11	0.704(3)	0.1940(3)	0.8320(2)	1.6(1)	Al35	0.192(2)	0.1233(3)	0.6050(1)	0.7(2)
Al12	0.207(2)	0.4242(2)	0.6154(1)	0.9(1)	Al36	0.203(3)	0.3744(2)	0.2862(2)	0.8(1)
Al13	0.953(1)	0.3868(3)	0.4129(2)	1.0(2)	Fe1	0.200(1)	0.2812(1)	0.5172(1)	1.17(4)
Al14	0.455(1)	0.3898(4)	0.4144(2)	1.0(2)	Fe2	0.702(1)	0.0547(1)	0.9351(1)	1.55(5)
Al15	0.702(2)	0.3055(2)	0.0634(1)	0.5(1)	Fe3	0.705(1)	0.1103(1)	0.3513(1)	1.32(5)
Al16	0.202(2)	0.0791(2)	0.2796(2)	1.3(1)	Fe4	0.209(1)	0.3315(1)	0.9867(1)	1.8(1)
Al17	0.199(1)	0.0303(3)	0.0070(1)	1.1(1)	Mg1	0.211(2)	0.1683(3)	0.9078(2)	1.0(2)
Al18	0.965(1)	0.2145(3)	0.2464(2)	1.0(2)	Mg2	0.698(2)	0.3884(2)	0.5456(1)	0.3(1)
Al19	0.446(1)	0.2146(4)	0.2451(3)	1.7(2)	Mg3	0.200(1)	0.2190(2)	0.3744(1)	0.4(1)*
Al20	0.954(1)	0.0599(3)	0.8084(2)	1.2(2)	Mg4	0.705(1)	0.4434(1)	0.9588(1)	0.3(1)*
Al21	0.946(1)	0.3274(3)	0.8576(2)	1.4(2)	Ca1	0.197(2)	0.4165(2)	0.7514(1)	2.4(1)
Al22	0.451(1)	0.0545(4)	0.8081(3)	1.8(2)	Ca2	0.209(1)	0.0841(1)	0.1430(1)	0.6(2)
Al23	0.446(1)	0.3330(3)	0.8592(2)	1.3(2)	Ca3	0.702(2)	0.3742(1)	0.2009(1)	1.3(1)
Al24	0.204(2)	0.4729(1)	0.4995(1)	0.7(1)	Ca4	0.705(2)	0.1281(1)	0.6947(1)	1.4(1)



накладываются друг на друга со сдвигом вдоль оси y , в результате чего формируется ступенчатый слой, в котором толщина в две ленты чередуется с толщиной в три ленты. Следующая группа атомов Al(29—32) находится в тетраэдрах ($\text{Al—O} = 1.65\text{—}1.85 \text{ \AA}$), образующих диортогруппы, участвующие в объединении ступенчатых слоев в трехмерную постройку (рис. 6). Еще два тетраэдра Al(33—34) с расстояниями $\text{Al—O} = 1.62\text{—}1.89 \text{ \AA}$ располагаются с внешней стороны слоев и своими вершинами участвуют в их объединении. Тетраэдры Al(35—36) ($\text{Al—O} = 1.69\text{—}1.89 \text{ \AA}$) также объединяют слои, но посредством водородных связей OH-групп, расположенных в свободной вершине каждого тетраэдра.

Рис. 5. Лента ташелгита из реберно связанных Al-октаэдров с прилегающими дискретными Al-октаэдрами.

Fig. 5. Tashelgite band of the edge-sharing Al-octahedrons with attached discrete Al-octahedrons.

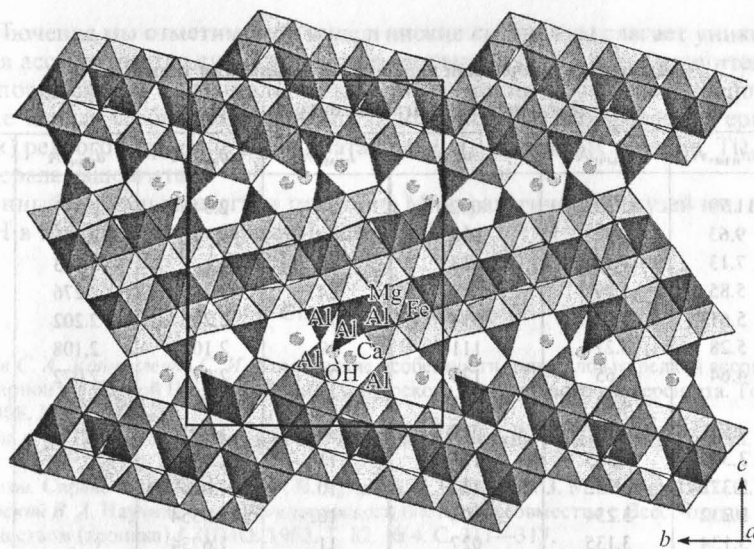


Рис. 6. Кристаллическая структура ташелгита: общий вид, проекция bc .

Fig. 6. Crystal structure of tashelgite: general view, bc -projection.

Атомы $Mg(1-4)$ формируют тетраэдры с расстояниями $Mg-O = 1.81-2.04 \text{ \AA}$, которые находятся внутри слоя и объединяют между собой ленты. Все атомы двухвалентного железа находятся в тетраэдрической координации с расстояниями $Fe-O$ в пределах $1.79-2.07 \text{ \AA}$. Тетраэдры железа, так же как и внутрислойные тетраэдры магния, чередуясь с ними, служат стыковке лент в слое (рис. 7).

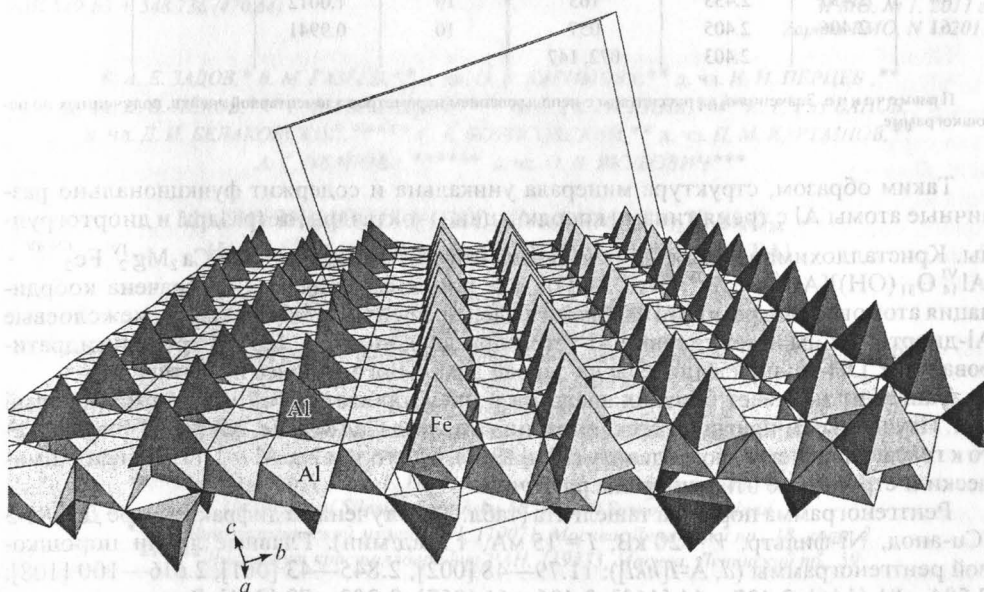


Рис. 7. Лента ташелгита из реберно связанных Al-октаэдров с прилегающими Al-, Mg- и Fe-тетраэдрами (перспективное изображение).

Fig. 7. Tashelgite band of edge-sharing Al-octahedra with attached Al-, Mg- and Fe-tetrahedra (perspective drawing).

Данные рентгеновской порошковой дифракции ташелгита

X-ray powder-diffraction data of tashelgite

$I_{\text{изм}}, \%$	$d_{\text{изм}}, \text{\AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{\AA}$	hkl	$I_{\text{изм}}, \%$	$d_{\text{изм}}, \text{\AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{\AA}$	hkl
48	11.79	11.79	002	21	2.345	2.347	164
15	9.63	9.72	012			2.345	225
13	7.13	7.15	013			2.343	073
16	5.85	5.89	004	24	2.275	2.276	216
19	5.61	5.57	014	72	2.202	2.202	244
13	5.28	5.27	111	19	2.108	2.108	227
17	4.64	4.65	121	27	2.071	2.072	083
		4.63	033	21	2.017	2.018	084
20	4.56	4.55	015	33	1.991		
20	3.341	3.345	125	11	1.951		
20	3.322	3.332	134	10	1.911		
11	3.232	3.234	106	10	1.8554		
21	3.134	3.135	027	11	1.6734		
10	3.068	3.067	135	12	1.6292		
16	2.961	2.964	144	20	1.6042		
43	2.845	2.843	061	16	1.5535		
19	2.788	2.787	028	20	1.5166		
19	2.778	2.777	055	29	1.4754		
100	2.616	2.617	108	11	1.4443		
81	2.584	2.587	118, 056, 137	12	1.4285		
		1.584	146	13	1.4060		
39	2.501	2.500	162	13	1.3930		
44	2.437	2.433	163	10	1.0012		
61	2.406	2.405	057	10	0.9941		
		2.403	072, 147				

Примечание. Значения $d_{\text{выч}}$ рассчитаны с использованием параметров элементарной ячейки, полученных по порошкограмме.

Таким образом, структура минерала уникальна и содержит функционально различные атомы Al с тремя типами координации — октаэдры, тетраэдры и диортогруппы. Кристаллохимическая формула ташелгита следующая ($Z = 4$): $\text{Ca}_2\text{Mg}_2^{\text{IV}}\text{Fe}_2^{(2+)^{\text{IV}}}\cdot[\text{Al}_{14}^{\text{VI}}\text{O}_{31}(\text{OH})][\text{Al}_2^{\text{IV}}\text{O}][\text{Al}^{\text{IV}}][\text{Al}^{\text{IV}}(\text{OH})]$, где римскими цифрами обозначена координация атомов, а квадратными скобками выделены ленты из Al-октаэдров, межслоевые Al-диортогруппы и межслоевые Al-тетраэдры двух видов — без OH-групп и гидратированные. OH-группы выделены на основе локального баланса валентностей.

Ташелгит не имеет близких аналогов и представляет собой новый структурный тип. Изученный минерал по стехиометрии катионов $\text{Ca}/(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}) = 1/11$ ближе всего к гексагональному дяюидаиту (Zhu, 1992), в котором $\text{Na}/\text{Al} = 1/11$. Однако химически и структурно эти минералы различны.

Рентгенограмма порошка ташелгита (табл. 3) получена на дифрактометре ДРОН-3 (Cu-анод, Ni-фильтр, $V = 20$ кВ, $I = 15$ мА, 1 град/мин). Главные линии порошковой рентгенограммы ($d, \text{\AA}/[hkl]$): 11.79—48 [002], 2.845—43 [061], 2.616—100 [108], 2.584—81 [146], 2.437—44 [163], 2.406—61 [057], 2.202—72 [244]. Рассчитанные по порошковой рентгенограмме параметры элементарной ячейки [$a = 5.697(1)$, $b = 17.183(3)$, $c = 23.571(3)$ Å; $\beta = 90^\circ$; $V = 2307.7(2)$ Å³, $Z = 8$] близки к параметрам, определенным по данным монокристалльной съемки.

Сходимость химического состава, показателей преломления и вычисленной плотности ташелгита по критерию Гладстоуна—Дейла хорошая: $(1 - K_p/K_c) = 0.026$ («Excellent»).

В заключение мы отметим, что ташелгинские скарноиды слагает уникальная минеральная ассоциация, до сих пор не имеющая аналогов в мире. Отличительной чертой этих пород служит их аномально высокая глиноземистость, что и предопределило появление наряду с обычными высокоглиноземистыми минералами (герцинитом и корундом) редкого в природе алюмината кальция хибонита $[\text{Ca}(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti})_{12}\text{O}_{19}]$ и нового минерала ташелгита.

Эталонный образец ташелгита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве (регистрационный № 3983/1).

Список литературы

- Ананьев С. А., Коноваленко С. И. Химические особенности минералов из редкой ассоциации известковых скарноидов Горной Шории // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология. 2008. № 1. С. 33—39.
- Кузьмин А. М. Генезис хебомита из Горной Шории // Известия Томск. политех. ин-та. 1961. Т. 120. С. 42—49.
- Минералы. Справочник / Под ред. Ф. В. Чухрова. Т. II. Выпуск 3. М.: Наука, 1967. С. 453.
- Мокиевский В. А. Научная сессия Федоровского института совместно с Всесоюзным минералогическим обществом (хроника) // ЗВМО. 1953. Т. 82. № 4. С. 311—317.
- Расцветаева Р. К., Аксенов С. М., Верин И. А. Кристаллическая структура сложного природного оксида Al , Ca , Mg и Fe // Кристаллография. 2010. Т. 55. № 4. С. 606—611.
- Nefedov E. I. Neue Minerale // Geologie. 1955. Vol. 4(5). S. 525—528.
- Zhu N.-J., Guo F., Li Y., Shen S.-X., Chen L.-R., Li A.-C. Study on crystal structure of diaoyudaoite // Hua Hsueh Hsueh Pao. 1992. Vol. 50. P. 527—532.

Поступила в редакцию
6 октября 2010 г.

УДК 549.63 + 548.736 (470.64)

ЗРМО, № 1, 2011 г.
Zapiski RMO, N 1, 2011

© А. Е. ЗАДОВ, * В. М. ГАЗЕЕВ, ** д. чл. О. В. КАРИМОВА, ** д. чл. Н. Н. ПЕРЦЕВ, **
д. чл. И. В. ПЕКОВ, *** Е. В. ГАЛУСКИН, **** И. О. ГАЛУСКИНА, ***** А. Г. ГУРБАНОВ, **
д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ, ***** С. Е. БОРИСОВСКИЙ, ** д. чл. П. М. КАРТАШОВ, **
А. Г. ИВАНОВА, ***** д. чл. О. В. ЯКУБОВИЧ ***

МАГНЕЗИОНЕПТУНИТ $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ НЕПТУНИТА¹

* ООО «НПП Теплохим», 127238, Москва, Дмитровское ш., 100, стр. 2;

e-mail: aezadov@ya.ru

** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
119017, Москва, Старомонетный пер., 35;

e-mail: pertsev@igem.ru

*** Московский государственный университет, геологический факультет,

119992, Москва, Воробьевы горы

**** Faculty of Earth Science, Dept. of Geochemistry, Mineralogy and Petrography,

University of Silesia, Bedzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland

***** Минералогический музей РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 18, корп. 2

***** Институт кристаллографии РАН, 119333, Москва, Ленинский пр., 59

Новый минерал из группы нептунита, магнезионептунит $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$, Mg-доминантный аналог нептунита и манганнептунита, обнаружен в Верхнечемской кальдере близ горы

¹ Новый минерал магнезионептунит и его название одобрены Комиссией по новым минералам РМО и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА (IMA No 2009-009).