© Д. чл. И. В. ПЕКОВ, * С. Н. БРИТВИН, **, *** Н. В. ЗУБКОВА, * д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, **** д. чл. И. А. БРЫЗГАЛОВ, * И. С. ЛЫКОВА, * Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ, ***** Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ*

ВИГРИШИНИТ $\mathbf{Z}\mathbf{n}_2\mathbf{T}\mathbf{i}_{4-x}\mathbf{S}\mathbf{i}_4\mathbf{O}_{14}(\mathbf{OH},\mathbf{H}_2\mathbf{O},\square)_8$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЛОВОЗЕРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)¹

* Московский государственный университет, геологический ф-т, 119991, Москва, Воробьевы горы; e-mail: igorpekov@mail.ru

** Санкт-Петербургский государственный университет, геологический ф-т, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

*** Центр исследований природных и синтетических нано- и микропористых веществ КНЦ РАН, 184200, Апатиты, ул. Ферсмана, 20

**** Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка ***** Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 18-2

Новый минерал вигришинит, член группы эпистолита, первый слоистый титаносиликат с видообразующим Zn, установлен на горе Малый Пункаруайв, Ловозерский щелочной массив, Кольский n-ов, Россия. Упрощенная формула: $Zn_2Ti_{4-x}Si_4O_{14}(OH,H_2O,\square)_8$ (x<1). Вигришинит триклинный, np. гр. $P\overline{1}$, a=8.743(9), b=8.698(9), c=11.581(11) Å, $\alpha=91.54(8)^\circ$, $\beta=98.29(8)^\circ$, $\gamma=105.65(8)^\circ$, $\nu=837.2(1.5)$ ų, z=2. Минерал по строению TiSiO-мотива близок к мурманиту, но сильно отличается от него в части крупных катионов и H-содержащих групп. Вигришинит назван в честь российского минералога-любителя и коллекционера Виктора Григорьевича Гришина (р. 1953), внесшего значительный вклад в изучение минералогии Ловозерского массива. Эталонный образец передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве.

Ключевые слова: вигришинит, новый минерал, группа эпистолита, слоистый титаносиликат, кристаллическая структура, ультращелочной пегматит, Ловозерский щелочной массив, Кольский полуостров.

I. V. PEKOV, S. N. BRITVIN, N. V. ZUBKOVA, N. V. CHUKANOV, I. A. BRYZGALOV, I. S. LYKOVA, D. I. BELAKOVSKIY, D. Yu. PUSHCHAROVSKY. VIGRISHINITE, $Zn_2Ti_{4-x}Si_4O_{14}(OH,H_2O,\Box)_8$, A NEW MINERAL FROM LOVOZERO ALKALINE MASSIF (KOLA PENINSULA, RUSSIA)

A new mineral vigrishinite, epistolite-group member and the first layer titanosilicate with species-defining Zn, has been found at Malyi Punkaruaiv Mt., in Lovozero alkaline complex (Kola Peninsuila, Russia). It occurs in a hydrothermally altered peralkaline pegmatite and is associated with microcline, ussingite, aegirine, analcime, gmelinite-Na, chabazite-Ca, etc. Vigrishinite forms rectangular or irregularly shaped lamellae, up to $0.05 \times 2 \times 3$ cm in size, flattened on [001]. They are typically slightly split and show blocky character. The mineral is translucent to transparent and pale pink, yellowish-pinkish or colorless. The luster is vitreous. Mohs'hardness is $2 \frac{1}{2}$ —3. Vigrishinite is brittle. Cleavage on {001} perfect. $D_{\text{meas}} = 3.03(2)$, $D_{\text{calc}} = 2.97 \text{ g/cm}^3$. The mineral is optically biaxial (-), $\alpha = 1.755(5)$, $\beta = 1.82(1)$, $\gamma = 1.835(8)$, $2V_{\text{meas}} = 45(10)^\circ$, $2V_{\text{calc}} = 50^\circ$. IR spectrum is given. Chemical composition (wt %; averaged data of 9 electron-microprobe analyses, H_2O — by modified Penfield method) is: Na_2O 0.98, K_2O 0.30, CaO 0.56, CoC 0.05, CoC 0.05, CoC 0.05, CoC 0.05, CoC 0.05, CoC 0.06, CoC 0.07, CoC 1.07, CoC

med in honor of the Russian an his significant contribution to the Fersman Mineralogical Museum

Key words: vigrishinite, new ne pegmatite, Lovozero alkaline

При изучении пегмати острове (Россия) нами обна лику и порошковой рентгенму составу. В отличие от всон содержит очень мало ще цинком.

Этот минерал получил в шина (р. 1953), российского проживающего в пос. Рев ный вклад в изучение минении последних 25 лет он систия интереснейший матери описаны четыре новых миневит, переизучен и реабилитышин — соавтор девяти минмассиву.

Эталонный образец \pm им. А. Е. Ферсмана РАН $_{\rm B}$ $_{\rm N}$

УСЛОВИЯ НА

Образец с описываемым 2009 г. в пегматите № 71 (по луявритах расслоенного ком расположенной в юго-восточаглаитовое тело с уссингитов озера. Открытый в 1932 годумире коренным проявлением В. И. Герасимовским в 1930-х вания, посвященные минеральбеловит-(Се), герасимовскит минералогии опубликована раменов, 1972; Пеков, 2001).

¹ Новый минерал вигришинит и его название одобрены Комиссией по новым минералам РМО и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА 5 октября 2011 г., IMA No. 2011-073.

3PMO, № 4, 2012 г. Zapiski RMO, N 4, 2012

ц. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, ******* Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ*

ОВЫЙ МИНЕРАЛ ИАССИВА СИЯ)!

9991, Москва, Воробьевы горы;

геологический ф-т, наб., 7/9 пористых веществ КНЦ РАН,

овская обл., г. Черноголовка Москва, Ленинский пр., 18-2

слоистый титаносиликат с видорский щелочной массив, Коль-, \square)₈ (x < 1). Вигришинит трик- $\alpha = 91.54(8)^\circ$, $\beta = 98.29(8)^\circ$, $\gamma = 0.54(8)^\circ$, вигришинит назван в вигора Григорьевича Гришина Ловозерского массива. Эталона РАН в Москве.

олита, слоистый титаносиликат, ий щелочной массив, Кольский

4. BRYZGALOV, I. S. LYKOVA, $Zn_2Ti_{4-x}Si_4O_{14}(OH,H_2O,\Box)_8$, DLA PENINSULA, RUSSIA)

ayer titanosilicate with species-dene complex (Kola Peninsuila, Russsociated with microcline, ussingite, ectangular or irregularly shaped lacally slightly split and show blocky vish-pinkish or colorless. The luster on {001} perfect. $D_{\text{meas}} = 3.03(2)$, 55(5), $\beta = 1.82(1)$, $\gamma = 1.835(8)$, position (wt %; averaged data of d) is: Na₂O 0.98, K₂O 0.30, CaO 2.00, Al₂O₃ 0.36, SiO₂ 32.29, TiO₂ 01.75. The empirical formula, cal- $(g_{0.07}K_{0.05}Ba_{0.02})_{\Sigma1.96}(Ti_{2.68} Nb_{0.41})$ $c_{12}Ti_{4-1}Si_{4}O_{14}(OH,H_{2}O,\Box)_{8} (x < 1).$ $c = 11.581(11) \text{ Å}, \ \alpha = 91.54(8)^{\circ},$ eflections of the X-ray powder pat- $[0\overline{1}1, \overline{1}10]; 5.73-54[1\overline{1}1, 002];$ structure model was obtained on a e structure of the TiSiO motif but bearing groups. Vigrishinite is na-

о новым минералам РМО и утвержминералов ММА 5 октября 2011 г., med in honor of the Russian amateur mineralogist and mineral collector Viktor G. Grishin (b. 1953) for his significant contribution to the mineralogy of the Lovozero complex. The type specimen is deposited in Fersman Mineralogical Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow.

Key words: vigrishinite, new mineral, epistolite group, layer titanosilicate, crystal structure, peralkali-

ne pegmatite, Lovozero alkaline complex, Kola Peninsula.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении пегматитов Ловозерского щелочного массива на Кольском полуострове (Россия) нами обнаружен новый минерал группы эпистолита, близкий по облику и порошковой рентгенограмме к мурманиту, но индивидуальный по химическому составу. В отличие от всех других природных слоистых титано- и ниобосиликатов, он содержит очень мало щелочных и щелочноземельных катионов и сильно обогащен цинком.

Этот минерал получил название вигришинит в честь Виктора Григорьевича Гришина (р. 1953), российского минералога-любителя и коллекционера высокого уровня, проживающего в пос. Ревда Мурманской области. В. Г. Гришин внес значительный вклад в изучение минералогии знаменитого Ловозерского массива. На протяжении последних 25 лет он систематически собирает и передает коллегам для исследования интереснейший материал. В частности, на найденных им в Ловозере образцах описаны четыре новых минерала — шабазит-Sr, ферронордит-(La), паутовит и егоровит, переизучен и реабилитирован как минеральный вид сферобертрандит. В. Г. Гришин — соавтор девяти минералогических публикаций, посвященных Ловозерскому массиву.

Эталонный образец вигришинита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, регистрационный номер 4156/1.

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Образец с описываемым минералом найден одним из авторов (И. В. П.) в августе 2009 г. в пегматите № 71 (по нумерации Е. И. Семенова), залегающем в фойяитах и луявритах расслоенного комплекса на восточном склоне горы Малый Пункаруайв, расположенной в юго-восточной части Ловозерского массива. Это крупное ультра-агпаитовое тело с уссингитовым ядром — один из самых знаменитых пегматитов Ловозера. Открытый в 1932 году при поисках эвдиалитовых руд, он оказался первым в мире коренным проявлением уссингита. На материале именно из этого пегматита В. И. Герасимовским в 1930-х гг. были впервые выполнены систематические исследования, посвященные минералогии ультращелочных пород. Здесь открыты чкаловит, беловит-(Се), герасимовскит, пункаруайвит. Характеристика пегматита № 71 и его минералогии опубликована ранее (Герасимовский, 1936, 1937; Власов и др., 1959; Семенов, 1972; Пеков, 2001).

Вигришинит обнаружен в краевой части уссингитового ядра пегматита, у ее контакта с эгирин-эвдиалитовой периферической зоной. Этот участок исходно был сложен в основном уссингитом и микроклином с подчиненными количествами содалита, эгирина, сфалерита и промежуточных членов ряда пектолит-серандит. Порода сильно изменена поздними процессами — низкотемпературными гидротермальными и гипергенными. Уссингит и содалит в этой зоне сохранились лишь в виде реликтов, основной же объем их замещен плотными или кавернозными агрегатами цеолитов — анальцима, натролита, гмелинита-Na, гмелинита-К и шабазита-Са. Минералы ряда пектолит-серандит превращены в сажистые коричнево-черные массы оксидов Мп (таканелит, рансьеит), а на месте сфалерита остались характерные полости растворения тетраэдрической формы, изредка с реликтами этого сульфида, а иногда заполненные глиноподобным цинковым смектитом — сауконитом.

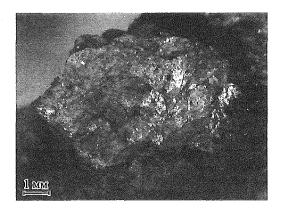


Рис. 1. Пластина вигришинита на микроклине. Ширина поля 1.5 см. Фото: И. В. Пеков и А. В. Касаткин.

Fig. 1. Lamellar vigrishinite on microcline. FOV width — 1.5 cm. Photograph: 1. V. Pekov and A. V. Kasatkin.

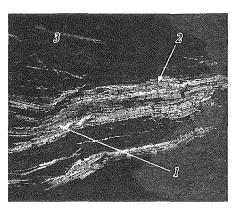


Рис. 2. Вигришинит (1) и борнеманитоподобный минерал (2) в агрегате цеолитов, главным образом гмелинита-Na (3). Сечение пластин вигришинита поперечное.

Полированный шлиф, РЭМ-фото в отраженных электронах. Ширина поля 1 мм.

Fig. 2. Vigrishinite (1) and the bornemanite-like mineral (2) in aggregate of zeolites, mainly gmelinite-Na (3). Cross-sections of vigrishinite lamellae: polished section, SEM image in reflected electrons. FOV width — 1 mm.

Вигришинит встречен в виде пластин прямоугольной или неправильной формы (рис. 1), уплощенных по [001] и достигающих в размерах 2×3 см при толщине до 0.5 мм. Обычно они в той или иной степени расщеплены, наподобие открытой книги. Строение этих внешне выглядящих как монокристаллы пластин сложное, блочное. Они разбиты многочисленными микротрещинами и, по сути, представляют собой агрегаты, состоящие из субпараллельных, реже в более существенной мере разориентированных субиндивидов (рис. 2), не превышающих в поперечнике 1 мм, а толщиной не более 0.05 мм. Эти субиндивиды, как и сами крупные пластины минерала, также нередко расщеплены. Участками вигришинит переслаивается с необычным цинксодержащим борнеманитоподобным минералом (рис. 2), находящимся в стадии изучения.

Обособления вигришинита нарастают на крупные таблитчатые кристаллы микроклина или же врастают в агрегаты цеолитов, заместившие уссингит и содалит (рис. 1, 2). Рядом находятся полости растворения сфалерита, иногда с его реликтами и/или новообразованиями сауконита.

Судя по обстановке нахождения, характеру выделений и, главное, кристаллохимическим особенностям вигришинита, можно с очень высокой долей вероятности полагать, что этот минерал представляет собой специфический продукт низкотемпературного изменения более ранних слоистых натриевых титаносиликатов группы ломоносовита. Предполагаемая природа протофаз и возможные механизмы формирования вигришинита обсуждаются ниже.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Вигришинит полупрозрачный до прозрачного, бледно-розоватый или желтовато-розоватый, иногда бесцветный. Черта белая. Блеск стеклянный. В ультрафиолетовых и катодных лучах минерал не люминесцирует. Твердость по шкале Мооса 2½—3. Вигришинит хрупкий, спайность совершенная по {001}, излом ступенчатый. Плот-

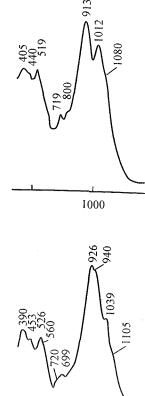


Рис. 3. ИК-спектры вигришинита

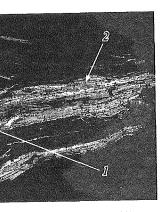
1000

Fig. 3. IR spectra of vigrishinite (a

ность, измеренная методом 3.03(2), вычисленная — 2.97 Вигришинит оптически д = 1.835(8), $2V_{\text{изм}} = 45(10)^{\circ}$, $2 \times V$. Под микроскопом мине

Инфракрасный спектр пог дартной методики таблетиров 75 IR. Спектр таблетки чистов ме, эталоны при измерении ч

ИК-спектр нового минера мурманита (рис. 3, δ), но далере вигришинита и их отнесен 3450пл, 3330 (валентные колкния Н—О—Н молекул H_2O),



ишинит (1) и борнеманитоподобп (2) в агрегате цеолитов, главп гмелинита-Na (3). Сечение плавигришинита поперечное.

й шлиф, РЭМ-фото в отраженных тронах. Ширина поля 1 мм.

hinite (1) and the bornemanite-like aggregate of zeolites, mainly gme. Cross-sections of vigrishinite lahed section, SEM image in reflected rons. FOV width — 1 mm.

й или неправильной формы ах 2×3 см при толщине до наподобие открытой книги. пластин сложное, блочное. ути, представляют собой агественной мере разориентиверечнике 1 мм, а толщиной пластины минерала, также находящимся в стадии изу-

блитчатые кристаллы микрое уссингит и содалит (рис. 1, гда с его реликтами и/или но-

й и, главное, кристаллохимикой долей вероятности полаій продукт низкотемпературюсиликатов группы ломоное механизмы формирования

АРАКТЕРИСТИКИ

цно-розоватый или желтоваеклянный. В ультрафиолетоцость по шкале Мооса 2½—3. }, излом ступенчатый. Плот-

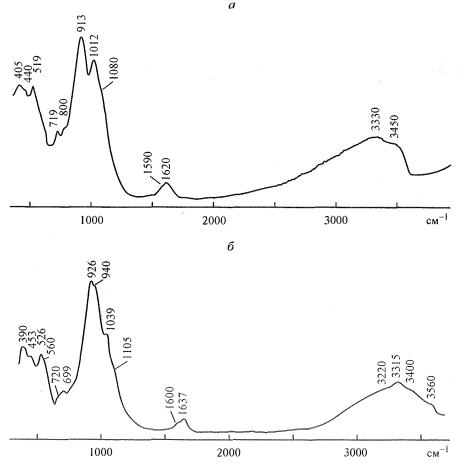


Рис. 3. ИК-спектры вигришинита (a) и мурманита из рудника Умбозеро, Ловозерский щелочной массив (δ).

Fig. 3. IR spectra of vigrishinite (a) and murmanite from Umbozero mine, Lovozero alkaline massif (δ) .

ность, измеренная методом уравновешивания в тяжелых жидкостях, составляет 3.03(2), вычисленная — $2.97 \, \Gamma/\text{см}^3$.

Вигришинит оптически двуосный отрицательный, $n_p = 1.755(5)$, $n_m = 1.82(1)$, $n_g = 1.835(8)$, $2V_{\text{изм}} = 45(10)^{\circ}$, $2V_{\text{выч}} = 50^{\circ}$. Дисперсия оптических осей очень сильная, r < v. Под микроскопом минерал бесцветный.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ

Инфракрасный спектр поглощения вигришинита получен с использованием стандартной методики таблетирования с КВг на двухлучевом спектрофотометре Specord 75 IR. Спектр таблетки чистого КВг вычитался в ходе записи в автоматическом режиме, эталоны при измерении частот — полистирол и газообразный аммиак.

ИК-спектр нового минерала (рис. 3, a) имеет определенное сходство со спектром мурманита (рис. 3, δ), но далеко не идентичен ему. Волновые числа полос в ИК-спектре вигришинита и их отнесения следующие (см⁻¹; с — сильная полоса, пл — плечо): 3450пл, 3330 (валентные колебания О—Н), 1620, 1590пл (деформационные колебания Н—О—Н молекул H_2O), 1080пл, 1012с (валентные колебания Si—O мостиков

Si—O—Si диортогрупп Si_2O_7), 913с (валентные колебания Si—O с участием апикальных атомов O диортогрупп Si_2O_7), 800пл, 719 (вероятно, валентные колебания Ti—O и деформационные колебания Ti—O—H), 519с, 440пл, 405с (комбинация деформационных колебаний Si—O—Si и валентных колебаний Zn—O). Полосы поглощения в диапазонах 1100—1550 и 1700—2500 см $^{-1}$, которые могли бы отвечать колебаниям С—O, N—O, B—O, Be—O и С—H, в ИК-спектре нового минерала отсутствуют.

химический состав

Химический состав вигришинита изучен на волновом электронно-зондовом микроанализаторе Camebax SX 50. Ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда 30 нА, диаметр зонда 5 мкм. Эталоны: альбит — Na; KTiPO $_5$ — K; перовскит — Ca; SrSO $_4$ — Sr; BaSO $_4$ — Ba; шпинель — Mg, Al; MnTiO $_3$ — Mn, Ti; ZnO — Zn; ильменит — Fe; циркон — Si, Zr; Rb $_2$ Nb $_4$ O $_{11}$ — Nb; топаз — F. Особое внимание было уделено достоверности определения содержаний Na и Ba в связи с частичным наложением их аналитических рентгеновских линий на линии компонентов с высокими содержаниями — Zn и Ti соответственно. Корректность определения Na, для которого можно было бы предположить занижение измеренной концентрации вследствие хорошо известного эффекта миграции под электронным пучком при высокой силе тока зонда, была проконтролирована энергодисперсионным методом при низкой силе тока (1 нА: электронный микроскоп CamScan MV2300, оснащенный энергодисперсионным микроанализатором с полупроводниковым детектором Link INCA Energy). Измеренное этим способом содержание Na $_2$ O составило 1.1 \pm 0.4 мас. %, что ненамного отличается от данных, полученных на волновом спектрометре при 30 нА: 0.5—1.6, в среднем 0.98 мас. %.

Содержание H_2O в вигришините определено по методу Алимарина, основанному на селективной сорбции из газообразных продуктов прокаливания минерала при 1080 °C в токе кислорода; использовались поглотительные трубки, заполненные $Mg(ClO_4)_2$.

Средний по результатам 9 электронно-зондовых анализов (в скобках — разброс значений) химический состав вигришинита: Na₂O 0.98 (0.5—1.6), K₂O 0.30 (0.15—0.5), CaO 0.56 (0.2—0.8), SrO 0.05 (0.00—0.2), BaO 0.44 (0.3—0.6), MgO 0.36 (0.1—0.4), MnO 2.09 (1.8—2.6), ZnO 14.39 (13.3—15.8), Fe₂O₃ 2.00 (1.7—2.4), Al₂O₃ 0.36 (0.1—0.9), SiO₂ 32.29 (31.4—33.8), TiO₂ 29.14 (28.2—30.2), ZrO₂ 2.08 (0.2—2.5), Nb₂O₅ 7.34 (6.1—10.0), F 0.46 (0.0—1.1), H₂O 9.1, $-O=F_2-0.19$, сумма 101.75 мас. %. Железо принято за Fe³⁺ в соответствии со структурными данными. Содержания прочих элементов с атомными номерами выше, чем у О, оказались ниже пределов обнаружения электронно-зондовым методом. Отсутствие Ве, В, С и N подтверждено данными ИК-спектроскопии.

Эмпирическая формула вигришинита (расчет на Si+Al=4, все одно- и двухвалентные катионы формально сгруппированы вместе) такова: $H_{7.42}(Zn_{1.30}Na_{0.23}Mn_{0.22}Ca_{0.07}\cdot Mg_{0.07}K_{0.05}Ba_{0.02})_{\Sigma_{1.96}}(Ti_{2.68}Nb_{0.41}Fe_{0.18}^{3+}Zr_{0.12})_{\Sigma_{3.39}}(Si_{3.95}Al_{0.05})_{\Sigma_4}O_{20.31}F_{0.18}.$ Выбор базиса расчета формулы обусловлен общими кристаллохимическими особенностями гетерофиллосиликатов меро-плезиотипной серии бафертисита (Ferraris, Gula, 2005), к которой принадлежит описываемый минерал: диортосиликатная группа Si_2O_7 является наиболее стабильной строительной единицей их структур, тогда как соотношения и структурные позиции прочих компонентов как в катионной, так и в анионной частях могут значительно варьировать.

Упрощенная формула вигришинита: $Zn_2Ti_{4-x}Si_4O_{14}(OH, H_2O, □)_8$, где x < 1. Расчетные содержания компонентов для идеализированной формулы с целочисленными коэффициентами $Zn_2Ti_3Si_4O_{14}(OH)_4(H_2O)_2$ таковы: ZnO 22.77, $TiO_2 33.62$, $SiO_2 33.53$, $H_2O 10.08$, сумма 100.00 мас. %.

Корректность определения химического состава, плотности и показателей преломления вигришинита подтверждается очень низкими величинами индекса сходимости состава и свойств, рассчитанного по уравнению Гладстона—Дейла: 0.017 (superior) для измеренной плотности и -0.004 (superior) для вычисленной.

Порошковая рентгенограна монокристальном дифрак образца до IP-детектора 200 м ных параметры триклинной = $91.6(2)^{\circ}$, $\beta = 98.4(2)^{\circ}$, $\gamma = 100$ минерал весьма близок к мур 78-1136).

Рентгеновское исследован дифрактометре. Минерал тры = 8.698(9), c = 11.581(11) = 837.2(1.5) Å³, Z = 2. Криста тодами и уточнена на базе 35 комплекса программ SHELX стики, данные монокристаль вигришинита приведены в так предполагаемая заселенность табл. 4, результаты расчета ле

К сожалению, даже лучшь ризуется низким качеством: лексов, и как следствие нам ниже 17.1 %. Таким образом, В то же время вполне прием межатомные расстояния (таблах (табл. 5), а также хорсчетной порошкограммами (тастава и свойств по Гладстонумодели.

Вигришинит — член гру отношении это гетерофиллос тисита (Ferraris, Gula, 2005). (НОН-блок, центральная часть ский (О) слой, образованный между двумя гетерополиэдря Si₂O₇ и октаэдров Ti(1), Ti(2) лых катионов (Nb и немного / (табл. 3, 4). Все перечисленны сии. Пустоты в О-слое вмеща (рис. 4, а, 5, а; табл. 3). Другис B(3') находятся в пустотах H-с ве, между НОН-блоками распе нимающие три позиции: Zn(2 последние, заселены в слабой ребрам с двумя октаэдрами 2 образом, в структуре вигриши ров: $Z_n(1)$ — $Z_n(2)$ - $Z_n(1)$, котог

Как показывает расчет лок позиции [O(1)—O(22)] в струк Si координированы только O² O(11), O(12), O(13), O(16), O(16) быть как O²⁻ [O(4)], так и (OH, 0) ров в H-слоях [O(1), O(21)] и а чески заняты OH и H₂O. Анионция H₂O [O(22)] содержат вака

Бі—О с участием апикальэнтные колебания Ті—О и омбинация деформацион-Іолосы поглощения в диавечать колебаниям С—О, а отсутствуют.

лектронно-зондовом мик-5 кВ, ток зонда 30 нА, диаовскит — Са; SrSO₄ — Sr; – Zn; ильменит — Fe; цирбыло уделено достоверноналожением их аналитичеи содержаниями — Zn и Ті можно было бы предполорошо известного эффекта онда, была проконтролиро-1 нА: электронный микромикроанализатором с поое этим способом содержатся от данных, полученных 1.98 мас. %.

лимарина, основанному на ния минерала при $1080 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ в полненные Mg(ClO₄)₂.

1308 (в скобках — разброс 98 (0.5—1.6), K_2O 0.30 0.44 (0.3—0.6), MgO 0.36 E_2O_3 2.00 (1.7—2.4), Al_2O_3 30.2), ZrO_2 2.08 (0.2—2.5), 0.19, сумма 101.75 мас. %. данными. Содержания проись ниже пределов обнару-С и N подтверждено данны-

 $^{-4}$, все одно- и двухвалент- $H_{7.42}(Zn_{1.30}Na_{0.23}Mn_{0.22}Ca_{0.07}\cdot D_{20.31}F_{0.18}$. Выбор базиса расми особенностями гетеро-Ferraris, Gula, 2005), к котоная группа Si_2O_7 является o, тогда как соотношения и рй, так и в анионной частях

[,H₂O,□)₈, где *x* < 1. Расчетнулы с целочисленными ко-, TiO₂ 33.62, SiO₂ 33.53, H₂O

тности и показателей превеличинами индекса сходиадстона—Дейла: 0.017 (suвычисленной.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Порошковая рентгенограмма вигришинита (табл. 1) получена методом Гандольфи на монокристальном дифрактометре STOE IPDS II (Мо $_{\kappa_{\mathbf{x}}}$ -излучение, расстояние от образца до IP-детектора 200 мм). Рассчитанные из нее с учетом монокристальных данных параметры триклинной ячейки: $a=8.74(5),\ b=8.70(6),\ c=11.60(8)$ Å, $\alpha=91.6(2)^{\circ},\ \beta=98.4(2)^{\circ},\ \gamma=105.6(1)^{\circ},\ V=839(3)$ Å³, Z=2. По порошкограмме новый минерал весьма близок к мурманиту (база данных JCPDS-ICDD, карточки № 40-0479, 78-1136).

Рентгеновское исследование монокристалла вигришинита выполнено на том же дифрактометре. Минерал триклинный, пространственная группа $P\overline{1}$, a=8.743(9), b=8.698(9), c=11.581(11) Å, $\alpha=91.54(8)^\circ$, $\beta=98.29(8)^\circ$, $\gamma=105.65(8)^\circ$, V=837.2(1.5) Å³, Z=2. Кристаллическая структура вигришинита решена прямыми методами и уточнена на базе 3562 независимых отражений с $I>2\sigma(I)$ с использованием комплекса программ SHELX-97 (Sheldrick, 2008). Кристаллографические характеристики, данные монокристального эксперимента и параметры уточнения структуры вигришинита приведены в табл. 2, координаты и тепловые параметры атомов, а также предполагаемая заселенность позиций — в табл. 3, межатомные расстояния — в табл. 4, результаты расчета локального баланса валентностей — в табл. 5.

К сожалению, даже лучший из изученных монокристаллов вигришинита характеризуется низким качеством: небольшая расщепленность обусловила уширение рефлексов, и как следствие нам не удалось добиться значения фактора расходимости ниже 17.1 %. Таким образом, мы можем говорить лишь о модели структуры минерала. В то же время вполне приемлемые параметры тепловых смещений атомов (табл. 3), межатомные расстояния (табл. 4) и суммы валентных усилий на катионах и анионах (табл. 5), а также хорошее соответствие между экспериментальной и расчетной порошкограммами (табл. 1) и очень низкие величины индекса сходимости состава и свойств по Гладстону—Дейлу свидетельствуют о корректности структурной модели.

Вигришинит — член группы эпистолита (Back, Mandarino, 2008). В структурном отношении это гетерофиллосиликат, относящийся к меро-плезиотипной серии бафертисита (Ferraris, Gula, 2005). Основа его структуры (рис. 4, a; табл. 3) — трехслойный НОН-блок, центральная часть которого представляет собой разорванный октаэдрический (О) слой, образованный цепочками октаэдров Ті(3) и Ті(4). Этот О-слой зажат между двумя гетерополиэдрическими (Н) слоями, составленными из диортогрупп Si_2O_7 и октаэдров Ti(1), Ti(2) и Zn(1). Позиции Ti(1) и Ti(2) содержат примеси тяжелых катионов (Nb и немного Zr) и по размеру значительно меньше, чем октаэдр Zn(1) (табл. 3, 4). Все перечисленные октаэдрические позиции, кроме Ті(3), содержат вакансии. Пустоты в O-слое вмещают две слабозаселенные катионные позиции B(1) и B(2)(рис. 4, a, 5, a; табл. 3). Другие существенно вакансионные катионные позиции B(3) и B(3') находятся в пустотах H-слоев (рис. 4, a, 6, a; табл. 3). В межслоевом пространстве, между HOH-блоками располагаются молекулы H_2O [позиция O(22)] и катионы, занимающие три позиции: Zn(2), A(1) и A(2) (рис. 4, a); все эти позиции, особенно две последние, заселены в слабой степени (табл. 3). Каждый октаэдр Zn(2) соединен по ребрам с двумя октаэдрами Zn(1), принадлежащими соседним НОН-блокам. Таким образом, в структуре вигришинита формируются своеобразные триады из Zn-октаэдров: Zn(1)—Zn(2)-Zn(1), которые объединяют HOH-блоки в трехмерную постройку.

Как показывает расчет локального баланса валентных усилий (табл. 5), анионные позиции [O(1)-O(22)] в структуре нового минерала заселены по-разному. Так, атомы Si координированы только O^2 [позиции O(2), O(3), O(5), O(6), O(7), O(8), O(9), O(10), O(11), O(12), O(13), O(16), O(17), O(18)]. На мостиках между двумя атомами Ti могут быть как O^2 [O(4)], так и (O(4)) [O(44), O(49), O(20)]. «Висячие» вершины Ti-октаэдров в H-слоях [O(1), O(21)] и анионы мостиков между D(1) и D(1)0 и D(1)1 статистически заняты D(1)1 и D(1)2. Анионные позиции D(1)3 и D(15)4 и D(15)6 о D(15)9 статистиция D(1)9 и D(15)9 содержат вакансии (табл. 3). ИК-спектр показывает, что вигришинит

Результаты расчета порошковой рентгенограммы вигришинита

X-ray powder diffraction data of vigrishinite

I _{H3M} .	d _{изм.} , Å	/ _{выч.}	d _{выч.} , Å	hkl
67	11.7	75	11.433	001
50	8.27	41	8.314	100
27	7.37	11	7.292	101
43	6.94	20,18	6.979, 6.929	011, 110
18	6.15	9	6.130	1 1 1
.54	5.73	18,100	5.741, 5.716	111,002
11	5.05	5	5.022	Ī Ī 1
3	4.82	4	4.877	012
7	4.59	11	4.579	Ī12
65	4.17	28, 10, 18	4.178, 4.158, 4.157	020, 1 12, 200
19	3.822	3, 24	3.839, 3.811	021,003
16	3.702	19,1	3.723, 3.691	201, 103
21	3.365	14, 4, 7	3.377, 3.377, 3.369	120, 2 11, 210
10	3.091	3, 2	3.103, 3.073	211, 1 22
100	2.861	27, 3, 69, 43	2.879, 2.870, 2.858, 2.816	$\overline{3}10, 2\overline{2}2,004, 1\overline{3}1$
30	2.609	5, 9, 12, 2, 4	2.625, 2.608, 2.599, 2.591, 2.581	221, 220, 132, 231, 104
24	2.468	11,23	2.469, 2.468	313, 221
12	2.293	1, 2, 18, 6	2.299, 2.287, 2.287, 2.286	105, 024, 005, 133
7	2.258	4	2.255	222
19	2.164	10, 1, 11	2.173, 2.167, 2.162	140, 304, 410
20	2.084	3, 5, 1, 3, 2, 1, 2, 2	2.104, 2.089, 2.089, 2.085, 2.080, 2.079, 2.077, 2.070	$\overline{401}, 040, 3\overline{32}, 0\overline{41}, \overline{2}\overline{24}, 400, 2\overline{41}, 4\overline{11}$
6	2.057	2, 4, 7, 3	2.063, 2.060, 2.052, 2.051	$\overline{4}22, \overline{4}02, 1\overline{4}2, 1\overline{3}4$
3	1.941	1, 4, 6	1.950, 1.931, 1.926	4 23, 4 1 2, 3 15
4	1.882	1, 1, 4, 1	1.886, 1.882, 1.878, 1.873	016, 205, 116, 116
6	1.801	6	1.803	224
20	1.730	2, 12, 3, 3, 2	1.732, 1.732, 1.724, 1.724, 1.724	$\overline{4}40, \overline{4}41, \overline{2}26, 1\overline{5}1, \overline{5}12$
12	1.675	6, 1, 1, 9, 3	1.680, 1.677, 1.674, 1.670, 1.669	$3\overline{1}5, 1\overline{5}2, \overline{3} \overline{3}3, 0\overline{5}1, \overline{5}02$
5	1.634	1, 4, 1	1.634, 1.633, 1.630	044, 007, 421
4	1.610	6, 1	1.610, 1.609	225, 207
22	1.563	9, 7	1.563, 1.561	1 51, 5 12
8	1.526	4, 4, 1, 5	1.529, 1.528, 1.526, 1.525	$\overline{406}$, $\overline{5}41$, $\overline{3}36$, $\overline{4}50$
4	1.491	3, 3, 1, 1	1.493, 1.492, 1.490, 1.488	$053, 045, \overline{3} \ \overline{3}5, 0\overline{5}4$
6	1.434	3, 2, 1	1.433, 1.432, 1.431	445, 261, 1 18
6	1.397	1, 1, 1, 1, 3, 2	1.402, 1.399, 1.398, 1.397, 1.396, 1.396	$\overline{3}61, \overline{5}44, \overline{6}02, \overline{2}62, 153, 0\overline{5}5$
3	1.368	2, 2, 1, 1, 2	1.370, 1.370, 1.370, 1.366, 1.365	$\overline{5}52, 5\overline{4}3, \overline{2}\ \overline{3}7, 3\overline{6}2, \overline{6}24$
2	1.334	1, 2, 1	1.336, 1.333, 1.332	$2\overline{2}, 4\overline{2}6, 0\overline{4}7$
5	1.316	3, 1, 3	1.317, 1.317, 1.312	$ \overline{4} \overline{4}1, 4\overline{5}4, \overline{4} \overline{4}2$
5	1.292	1, 2, 1	1.296, 1.291, 1.289	$ \bar{1} \bar{3}8, \bar{4} \bar{4}3, 6\bar{2}3$

 Π р и м е ч а н и е. Для расчетной порошкограммы даны только рефлексы с $I_{\mathrm{BM4}} \geq 1$; d_{BM4} вычислено для параметров элементарной ячейки, полученных из монокристальных данных.

Кристаллографи эксперимента и пар

Crystal data,

Сингония, пространс
Параметры элементарн
ν, Å ³
Температура
Дифрактометр
Излучен ие; λ
$\theta_{\text{мин}}/\theta_{\text{макс}}$, град
Размеры кристалла, мм
Интервалы сканирован
Число рефлексов
Число независ имых рес
Метод уточнения
Число уточняемых пара
$R[I > 2\sigma(I)]$
$\Delta \rho_{\text{маке}} / \Delta \rho_{\text{мин}}, e / \mathring{A}^3$

Координаты атомов, экви и заселе

Atom coordinates, equiv:

±		
Атом		
Ti(1)	0.1973(3)	-0.0
Ti(2)	0.3368(3)	0.4
Ti(3)	0.6867(3)	0.0
Ti(4)	0.8032(3)	0.4
Zn(1)	0.5711(2)	0.2
Zn(2)**	0.5000	0.0
B(1)	0.4295(16)	0.3
B(2)	0.0494(18)	0.1
B(3)	0.019(3)	0.1
B(3')	0.085(6)	0.2
A(1)	0.069(2)	0.4
A(2)	0.2890(9)	0.2
Si(1)	0.4245(5)	0.8
Si(2)	0.2603(5)	0.3
Si(3)	0.0484(5)	0.5
Si(4)	0.2093(5)	0.0
O(1)	0.231(2)	-0.0
O(2)	0.1198(15)	0.4
O(3)	0.2547(15)	0.2
O(4)	0.1888(15)	-0.0
O(5)	-0.0249(15)	-0.0

ы вигришинита

inite

IIIIII	8
	hkl
	001
	100
	101
	011, 110
	111
	111,002
	ĪĪ1
	012
	112
	020, 1 12, 200
	021,003
	201, 103
	$120, \overline{2} \overline{1}1, 210$
	211, 1 22
	$\overline{3}10, 2\overline{2}2, 004, 1\overline{3}1$
	$2\overline{2}1, 220, 1\overline{3}2, 2\overline{3}1, 104$
	313, 221
	105, 024, 005, 133
	222
	$\overline{1}40, \overline{3}04, \overline{4}10$
2.079,	$\overline{401}$, 040, 3 $\overline{3}$ 2, 0 $\overline{4}$ 1, $\overline{2}$ $\overline{2}$ 4, 400, 2 $\overline{4}$ 1, 4 $\overline{1}$ 1
	$\overline{4}22, \overline{4}02, 1\overline{4}2, 1\overline{3}4$
	423, 412, 315
	016, 205, 116, 116
	224
	$\overline{4}40, \overline{4}41, \overline{2}26, 1\overline{5}1, \overline{5}12$
	$3\overline{1}5, 1\overline{5}2, \overline{3}\overline{3}3, 0\overline{5}1, \overline{5}02$
	044, 007, 421
	$225, \overline{2}07$
	<u>1</u> <u>5</u> 1, <u>5</u> <u>1</u> 2
	$\overline{406}$, $\overline{541}$, $\overline{336}$, $\overline{450}$
	$053,045,\overline{3}\ \overline{3}5,0\overline{5}4$
	445, 261, 1 18
896	$\overline{3}61, \overline{5}44, \overline{6}02, \overline{2}62, 153, 0\overline{5}5$
	$\overline{5}52, 5\overline{4}3, \overline{2}\ \overline{3}7, 3\overline{6}2, \overline{6}24$
	$\bar{2}\ \bar{2}8, 4\bar{2}6, 0\bar{4}7$
	$\bar{4} \ \bar{4} \ 1, 4\bar{5}4, \bar{4} \ \bar{4}2$
	$\overline{1}$ $\overline{3}8$, $\overline{4}$ $\overline{4}3$, $6\overline{2}3$

 $d_{{
m BЫЧ.}} \geq 1; d_{{
m BЫЧ.}}$ вычислено для параметров

Кристаллографические характеристики, данные монокристального эксперимента и параметры уточнения структурной модели вигришинита

Crystal data, data collection information and refinement details for the structure model of vigrishinite

Сингония, пространственная группа	Триклинная, РТ
Параметры элементарной ячейки	$a = 8.743(9) \text{ Å} \qquad \alpha = 91.54(8)^{\circ}$
	$b = 8.698(9) \text{ Å}$ $\beta = 98.29(8)^{\circ}$
	$c = 11.581(11) \text{ Å} \gamma = 105.65(8)^{\bullet}$
V, Å ³	837.2(1.5)
Температура	293(2) K
Дифрактометр	STOE IPDS II
Излучение; λ	Mo_{Ka} ; 0.71073 Å
$\theta_{\text{мин}}/\theta_{\text{макс}}$, град	2.44/29.00
Размеры кристалла, мм	$0.15 \times 0.07 \times 0.05$
Интервалы сканирования	$-11 \le h \le 11, -11 \le k \le 11, 0 \le l \le 15$
Число рефлексов	4336
Число независимых рефлексов с $l > 2\sigma(l)$	3562
Метод уточнения	MHK no F^2
Число уточняемых параметров	346
$R\left[I > 2\sigma(I)\right]$	0.1711
$\Delta \rho_{\text{Make}} / \Delta \rho_{\text{Mull}}, e / Å^3$	3.218/-2.209

Таблица 3

Координаты атомов, эквивалентные параметры тепловых смещений атомов ($U_{\rm eq},\, {\rm \AA}^2$) и заселенность позиций в структуре вигришинита

Atom coordinates, equivalent displacement parameters ($U_{\rm eq}$, Å²) and site occupancies in the structure ullet rigrishinite

Атом	Х	y	2	$U_{ m eq}$	Заселенность*
T'(1)	0.1072(2)	0.0225(2)	0.0700(3)		(00.01T) NIL 7
Ti(1)	0.1973(3)	-0.0235(3)	0.2789(3)	0.0452(9)	[22.3] Ti _{0.53} Nb _{0.20} Zr _{0.06}
Ti(2)	0.3368(3)	0.4848(3)	0.7294(3)	0.0472(9)	$[22.7] \operatorname{Ti}_{0.53} \operatorname{Nb}_{0.21} \operatorname{Zr}_{0.06}$
Ti(3)	0.6867(3)	0.0861(4)	0.9854(3)	0.0495(9)	[22.0] Ti _{1.00}
Ti(4)	0.8032(3)	0.4496(4)	1.0057(3)	0.0332(8)	$[17.9] \mathrm{Ti}_{0.60} \mathrm{Fe}_{0.18}$
Zn(1)	0.5711(2)	0.2556(3)	0.7149(2)	0.0451(8)	[27.0] Zn _{0.90}
Zn(2)**	0.5000	0.0000	0.5000	0.0384(17)	$[9.5] Zn_{0.26}Mg_{0.14}$
B(1)	0.4295(16)	0.3169(14)	0.9933(15)	0.056(3)	[5.5] Mn _{0.22}
B(2)	0.0494(18)	0.135(2)	0.0152(19)	0.033(4)	$[2.6] K_{0.08} Ba_{0.02}$
B(3)	0.019(3)	0.171(3)	0.288(2)	0.017(4)***	$[1.5] Zn_{0.05}$
B(3')	0.085(6)	0.252(6)	0.284(5)	0.032(10)***	$[0.9] Zn_{0.03}$
A(1)	0.069(2)	0.421(3)	1.5051(19)	0.049(5)	[3.7] Na _{0.23} Ca _{0.06}
A(2)	0.2890(9)	0.2303(9)	0.4893(9)	0.0374(19)	[6.0] Zn _{0.20}
Si(1)	0.4245(5)	0.8867(5)	0.7588(5)	0.0422(11)	1
Si(2)	0.2603(5)	0.3751(5)	1.2310(5)	0.0443(12)	1
Si(3)	0.0484(5)	0.5854(5)	1.2453(5)	0.0432(11)	1
Si(4)	0.2093(5)	0.0921(6)	0.7726(5)	0.0438(12)	1
O(1)	0.231(2)	-0.002(2)	1.4612(15)	0.065(6)	[7.3] 0.91(6)
O(2)	0.1198(15)	0.4333(14)	1.2844(13)	0.052(3)	, 1
O(3)	0.2547(15)	0.2028(14)	1.2794(14)	0.053(3)	1
O(4)	0.1888(15)	-0.0422(17)	1.1163(13)	0.055(3)	1
O(5)	-0.0249(15)	-0.0692(15)	1.2771(13)	0.052(3)	1

Si(3)

Si(2)

0.96

Атом	x	у	z	$U_{\mathbf{eq}}$	Заселенность*
O(6)	0.8067(13)	0.2584(15)	0.7058(11)	0.045(3)	1
O(7)	0.3890(15)	0.7024(16)	0.7161(15)	0.059(3)	1
O(8)	0.2543(13)	0.9332(17)	0.7232(13)	0.054(3)	1
O(9)	0.9857(12)	0.4239(14)	0.8973(13)	0.048(3)	1
O(10)	0.5678(14)	0.4922(14)	0.7270(13)	0.050(3)	1
O(11)	0.5589(13)	0.0084(14)	0.6992(12)	0.045(3)	1
O(12)	0.3290(12)	0.2491(13)	0.7292(14)	0.052(3)	i
O(13)	0.7605(15)	-0.0901(16)	1.0812(14)	0.058(3)	1
O(14)	0.8402(14)	0.2547(13)	1.0802(12)	0.048(3)	1
O(15)	0.5227(19)	0.2429(18)	0.5299(15)	0.046(5)	[6.2] 0.78(5)
O(16)	0.1109(14)	0.4325(16)	0.6922(13)	0.052(3)	1
O(17)	0.7755(15)	0.6244(18)	0.9128(14)	0.060(4)	1 ,
O(18)	0.5196(13)	0.0791(13)	1.0982(12)	0.044(3)	1
O(19)	0.6412(15)	0.2732(15)	0.9098(13)	0.051(3)	1
O(20)	0.3299(15)	0.5067(17)	0.8903(13)	0.044(5)	[6.7] 0.84(5)
O(21)	0.319(2)	0.4586(18)	0.5445(14)	0.046(5)	[6.2] 0.78(5)
$O(22) = H_2O$	0.012(4)	0.233(5)	1.474(2)	0.066(12)	[3.2] 0.4

Примечание. * Заселенность позиций дана исходя из уточненного электронного содержания позиций ($e_{\rm ref}$, указано в квадратных скобках), характера координационных полиздров, межатомных расстояний и $U_{\rm eq}$, а также принимая во внимание электронно-зондовые данные; для существенно ваканснонных позиций A н B заселенностн приписаны предположительно. ** Кратность позиции Zn(2) равна 1, кратности всех остальных позиций равны 2. *** $U_{\rm H3O}$.

Таблица 4
Некоторые межатомные расстояния (Å) в структуре вигришинита
Selected interatomic distances (Å) in the structure of vigrishinite

Ti(1)—O(5) 1.872(13)	Ti(3)—O(4) 1.813(14)	Zn(2)—O(15) 2.082(16) x2	Si(2)—O(3) 1.605(13)
O(4) 1.875(15)	—O(14) 1.893(12)	O(11) 2.285(13) x2	O(10) 1.628(13)
—O(3) 1.895(12)	—O(19) 1.975(14)	—O(1) 2.328(18) x2	—O(2) 1.638(14)
-0(6) 2.047(13)	O(18) 2.069(12)	Среднее 2.232	—O(17) 1.650(17)
—O(11) 2.077(11)	—O(18) 2.086(12)	Zn(1)—O(10) 2.067(12)	Среднее 1.630
—O(1) 2.085(17)	—O(13) 2.101(15)	—O(6) 2. ● 72(12)	Si(3)—O(6) 1.611(13)
Среднее 1.976	Среднее 1.989	—O(15) 2.117(17)	—O(9) 1.631(16)
Ti(2)—O(7) 1.839(14)	Ti(4)—O(20) 1.889(14)	—O(11) 2.125(12)	O(16) 1.633(13)
—O(20) 1.879(15)	—O(17) 1.934(17)	—O(12) 2.133(10)	—O(2) 1.656(13)
0(16)1.886(12)	O(19) 1.969(14)	-O(19) 2.241(15)	Среднее 1.633
—O(10) 2.008(12)	—O(14) 2.004(13)	Среднее 2.126	Si(4)—O(5) 1.588(13)
-0(12)2.032(12)	—O(9) 2.030(12)	Si(1)—O(7) 1.599(14)	—O(12) 1.622(12)
—O(21) 2.127(17)	—O(9) 2.219(12)	—O(11) 1.606(12)	O(8) 1.646(14)
Среднее 1.962	Среднее 2.007	—O(8) 1.644(12)	—O(13) 1.677(17)
		—O(18) 1.653(14)	Среднее 1.633
		Среднее 1.626	

Результаты расчета локального баланса валентностей для вигришинита

Si(1)				
B(3')	Š	0.01		
B(3)		0.01		000
B(2)			0.07 0.04	
B(1)				
4(2)	0.10	0.03		
4(1)	5	60.0		
Zn(2)	0.07x21			
Zn(1)				
Ti(4)				
Ti(3)			1.00	
Ti(2)				
Ti(1)	0.41	0.71	0.74	0.74
Атом	0(1)	(5) O(3)	0(4)	0(5)
	Ti(1) Ti(2) Ti(3) Ti(4) Zn(1) Zn(2) $A(1)$ $A(2)$ $B(1)$ $B(2)$ $B(3)$ $B(3)$	Ti(1) Ti(2) Ti(3) Ti(4) Zn(1) Zn(2) $A(1)$ $A(2)$ $B(1)$ $B(2)$ $B(3)$ $B(3')$ 0.41 0.07 $^{\times 2}$ 0.10	Ti(1) Ti(2) Ti(3) Ti(4) Zn(1) Zn(2) A(1) A(2) B(1) B(2) B(3) B(3') 0.41 0.41 0.07 0.00 0.00 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.03 0.03 0.03 0.02 0.03 0.02 0.02 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	Ti(1) Ti(2) Ti(3) Ti(4) Zn(1) Zn(2) A(1) A(2) B(1) B(2) B(3) B(3) 0.41 0.41 0.07 0.03 0.10 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.02 0.02 0.02 0.02 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03

Та	блица 3 (продолжение)
	Зассленность*
a hand proof proof	
	.2] 0.78(5)
) [6 2) [3	.7]0.84(5) .2]0.78(5) .2]0.4
олного соде расстояний і А и В зассл нций равны	ержания позиций (с $_{\rm ref.}$ указа- й и $U_{\rm eq.}$ а также вринимая во ленности приписаны предпо- $_1$ 2. *** $U_{\rm IP30}$ -
ре вигри e of vigris	шинита hinite
2(16)x2	Si(2)—O(3) 1.605(13)
5(13) x2 (18) x2	-O(10) 1.628(13) -O(2) 1.638(14)
, i	-0(17) 1.650(1)
(12)	Si(3)—O(6) 1.611(13
7(17) 5(12)	O(9) 1.631(16) O(16) 1.633(13)
	—O(2) 1.656(13)
	Si(4)—O(5) 1.588(13
(14) 6(12)	O(12) 1.622(12) O(8) 1.646(14)
14)	—О(13) 1.677(17) Среднее 1.633
.626	

Таблица 5

Результаты расчета локального баланса валентностей для вигришинита

Bond order calculations for vigrishinite

Атом	Ti(1)	Ti(2)	Ti(3)	Ti(4)	Zn(1)	Zn(2)	A(1)	A(2)	B(1)	B(2)	B(3)	B(3')	Si(1)	Si(2)	Si(3)	Si(4)	Σ
O(1)	0.41					0.07 ^{x21}		0.10									0.58
O(2)							0.03				0.01	0.01		0.96	0.92		1.93
O(3)	0.71							0.03			0.02		2.7	1.05			1.81
O(4)	0.74		1.00							0.07 0.04				Bago r			1.85
O(5)	0.74										0.02		2	257	4.5	1.10	1.86
O(6)	0.46				0.33								1.07	i.	1.04		1.83
O(7)		0.83									0.01	0.02	0.95				1.90
O(8)																0.94	1.92
O(9)				0.43						0.01					0.98		1.67
				0.25													
O(10)		0.52			0.34									0.99			1.85
O(11)	0.43				0.29	0.08x21						1	1.05				1.85
O(12)		0.49			0.28								117			1.00	1.77
O(13)			0.46						0.06	0.15 0.01		1 196				0.87	1.55
						!				0.04			f s	1974			
O(14)			0.81	0.45													1.30
O(15)			į.		0.29	0.14 ^{x21}		0.09									0.52
O(16)		0.73					0.13								0.98	1995	1.84
O(17)				0.54	1				0.04					0.93	24		1.58
O(18)			0.50						0.02				0.92		1 688 4 688		1.92
			0.48											100	1 7	45.04%	
O(19)			0.65	0.50	0.21				0.05			100		B			1.41
O(20)		0.75		0.62					0.05 0.04				wa si				1.46
O(21)		0.39			İ		0.15	0.09							174		0.63
O(22)								0.03			0.01	0.01					0.05
Σ	3.49	3.71	3.90	2.79	1.74	0.58	0.31	0.34	0.26	0.39	0.07	0.04	3.99	3.93	3.92	3.91	

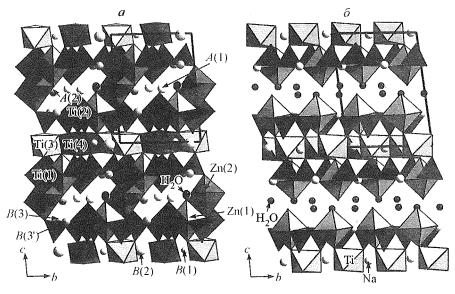


Рис. 4. Кристаллические структуры вигришинита (a — наши данные) и мурманита (δ — по: Расцветаева, Андрианов, 1986).

Si-тетраэдры даны черными. Показаны элементарные ячейки.

Fig. 4. Crystal structures of vigrishinite (a — our data) and murmanite (6 — after Rastsvetaeva & Andrianov, 1986). Si-centered tetrahedra are black; unit cells are shown.

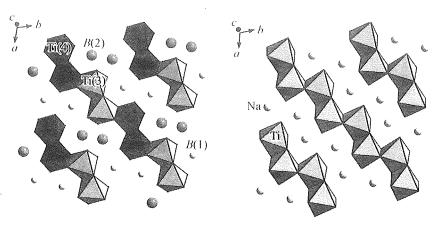


Рис. 5. O-слой в структуре вигришинита (a — наши данные) и мурманита (δ — по: Расцветаева и Андрианов, 1986).

Fig. 5. The O layer in structure of vigrishinite (a — our data) and murmanite (δ — after Rastsvetaeva & Andrianov, 1986).

Минерал Формула

Сравнительна Сотраг

Сингония

Пространственная группа

Содержимое Н-слоя

Содержимое О-слоя

Содержимое межслоевых позиций

a, Å

5, Å

c, Å

,

/, °

ν, Å

Ż

Главные линии порошковой рентнограммы (d, A-I)

Плотность, r/cm^3

Оптические данные

 $n_{\rm p}$

 $n_{\rm m}$ $n_{\rm g}$

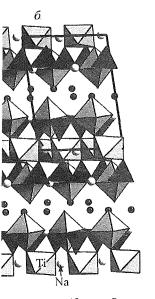
Оптический знак, 21' (изм.) Источник

Примечание. *Данные для раз (1986).

содержит молекулы H_2O разрожденных деформационны (рис. 3, a).

Несмотря на существенну нит $Na_2(Na, \square)_2Ti_4Si_4O_{14}(OH, C)$ ковых рентгенограммах, пар физических свойствах (табл. *НОН*-блоков.

У мурманита известны две ной и той же пространственных ячеек: a = 8.700(5), $b = \gamma = 105.62(3)^{\circ}$ (Расцветаева.



и мурманита (б — по: Расцветае-

ые ячейки.

— after Rastsvetaeva & Andrianov, are shown.



анита (б — по: Расцветаева и Анд-

ite (δ — after Rastsvetaeva & Andria-

Сравиительная характеристика внгришинита и мурманита Comparative data of vigrishinite and murmanite

М инерал Формула	Вигришинит $Zn_2Ti_{4-x}Si_4O_{14}(OH,H_2O,\square)_{8}, x < 1$	Мурманит* Na ₂ (Na,□) ₂ Ti ₄ Si ₄ O ₁₄ (OH,O,H ₂ O) ₆ (H ₂ O) ₂
Сингония	Т <u>р</u> иклинная	Триклинная
Пространственная группа	PĪ	Pl W.
Содержимое Н-слоя	$(Ti,\Box)_2Zn(OH,H_2O,\Box)_6Si_4O_{14}$	Ti ₂ Na ₂ (O,H ₂ O,OH) ₄ Si ₄ O ₁₄
Содержимое О-слоя	(Ti,□) ₂ (OH,H ₂ O)	$Ti_2(Na,\square)_2(OH)_2$
Содержимое межслоевых позиций	$Z_n(H_2O)_{1-x}$	(H ₂ O) ₂
a, Å	8.743	8.700
b, Å	8.698	8.728
c, Å	11.581	11.688
α, °	91.54	94.31
β, °	99.29	98.62
γ, °	105.65	105.62
ν, Å ³	837	839
Z	2	2
Главные линии порошковой рентге-	11.7—67	11.56—90
нограммы $(d, Å - I)$	8.27—50	5.81—90
	6.94—43	4.22—100
	5.73—54	3.762—60
	4.17—65	2.867—100
	2.861—100	
Плотность, г/см ³	3.03 (изм.), 2.97 (выч.)	2.76—2.84
Оптические данные		
$n_{\rm p}$	1.755	1.682—1.735
n _m	1.82	1.765—1.770
$n_{\rm g}$	1.835	1.807—1.839
Оптический знак, 2 V(изм.)	(-) 45°	(–) 57—64°
Источник	Настоящая работа	Власов и др., 1959; Расцветаева Андрианов, 1986; Karup-Møller 1986; Anthony et al., 1995

Примечанис. *Данные для разновидности мурманита, изученной Р. К. Расцветаевой и В. И. Андриановым (1986).

содержит молекулы H_2O разных сортов: об этом говорит расщепление полосы невырожденных деформационных колебаний H—O—H в диапазоне $1500—1700~{\rm cm}^{-1}$ (рис. 3, a).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на существенную разницу в химическом составе, вигришинит и мурманит $Na_2(Na,\square)_2Ti_4Si_4O_{14}(OH,O,H_2O)_6(H_2O)_2$ обнаруживают большое сходство в порошковых рентгенограммах, параметрах элементарных ячеек, морфологии и некоторых физических свойствах (табл. 6). Это обусловлено их структурным родством в части HOH-блоков.

У мурманита известны две структурные разновидности, охарактеризованные в одной и той же пространственной группе P1, но с различными метриками элементарных ячеек: $a=8.700(5),\ b=8.728(4),\ c=11.688(14)$ Å, $\alpha=94.31(6),\ \beta=98.62(8),\ \gamma=105.62(3)^\circ$ (Расцветаева, Андрианов, 1986) и $a=5.383(4),\ b=7.053(4),$

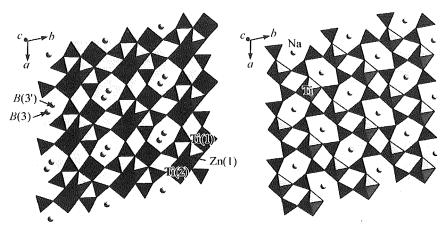


Рис. 6. H-слой в структуре вигришинита (a — наши данные) и мурманита (b — по: Расцветаева и Андрианов, 1986).

Fig. 6. The H layer in structure of vigrishinite (a — our data) and murmanite (δ — after Rastsvetaeva & Andrianov, 1986). Si-centered tetrahedra are black.

c=12.170(3), $\alpha=93.16(2)$, $\beta=107.82(2)$, $\gamma=90.06(2)^\circ$ (Халилов, 1989). Для вигришинита, близкого по метрике элементарной ячейки к первой модификации мурманита, установлена симметрия $P\overline{1}$. Попытка уточнения в ацентричной пространственной группе P1 не привела к сколь-либо существенным изменениям в структурной модели нового минерала.

TiSiO-мотивы в структурах вигришинита и мурманита близки (рис. 4—6), но первый в отличие от второго содержит вакансионные дефекты в трех из четырех Ti-доминантных позиций (по этой причине мы пишем в формуле нового минерала Ti_{4-x} вместо Ti₄ в мурманите). Такой дефицит катионов представляется важной предпосылкой для вхождения двухвалентного Zii в позицию Zii(1) в H-слое вигришинита вместо одновалентного Na в соответствующей позиции у мурманита (рис. 4, 6; табл. 5). Другие позиции в пустотах как H-, так и O-слоев, занятые в мурманите Na (рис. 4, δ , 5, δ , δ , δ), почти полностью вакантны в вигришините.

Еще одна существенная разница между этими минералами — в содержимом межслоевого пространства. У мурманита здесь только молекулы воды $(2H_2O)$ на формулу, Z=2), тогда как в межслоевом пространстве вигришинита находятся три катионные позиции [Zn(2),A(1),A(2)] и только одна позиция H_2O [O(22)] (рис. 4), к тому же заселенная лишь частично: $0.4H_2O$ на аналогичным образом рассчитанную формулу. Октаэдр Zn(2) «сшивает» соседние HOH-блоки в вигришините с образованием специфического трехмерного гетерополиэдрического псевдокаркаса (рис. 4, a). Таким образом, структуры мурманита и вигришинита оказываются различными по топологии: первый является «истинным» слоистым титаносиликатом, в котором соседние HOH-блоки связаны только посредством H-связей, образуемых атомами водорода межслоевых молекул H_2O , тогда как второй обладает псевдокаркасом, в котором соседние HOH-блоки соединяются через октаэдры межслоевых катионов, подобно тому как это происходит в структурах некоторых других гетерофиллосиликатов, таких, как например минералы группы астрофиллита и перротит (см.: Ferraris, Gula, 2005).

Упрощенная структурная формула вигришинита может быть представлена в виде: $Zn(H_2O)_{1-x}\{(Ti,\Box)_2(OH,H_2O)[(Ti,\Box)_2Zn(OH,H_2O,\Box)_6(Si_2O_7)_2]\}$, где в соответствии с предложенной системой обозначений (Ferraris, Gula, 2005) содержимое H-слоев заключено в квадратные скобки, а HOH-блока — в фигурные (все анионы, связанные с катионами, принадлежащими H-слоям, тоже помещены внутрь квадратных скобок). Упрощенная структурная формула мурманита (Расцветаева, Андрианов, 1986), пред-

ставленная таким же обр $[Ti_2Na_2(O,H_2O,OH)_4(Si_2O_7)_2]$.

Вигришинит сильно отличкатов по химическому составу соответственно видообразующиеро-плезиотипной серии бафили щелочноземельных катионкак внутри НОН-блока, так и

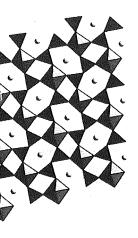
По нашему мнению, инда псевдоморфозы по кристаллам рала (ломоносовита-бета ?). 2Na₃PO₄, член меро-плезиотин что и мурманит, но содержацы неустойчив в относительно на мурманит в результате выш $2Na_3PO_4 + 4H_2O \rightarrow Na_{4-1}Ti_4Si$ цесс многократно фиксировал торных экспериментах (Борне ва, 1967; Хомяков, 1990). А. П пе трансформационных мине: того, что он способен кристал. рассматривается исключитель: менения ломоносовита или ле морфозы по кристаллам этих

Мы рассматриваем вигрип ного вида, чьей протофазой бызования вигришинита предста и включает в себя как миниму сте с уссингитом, ломоносови изошла его трансформация в тогда же цеолитизировались н творение сфалерита. Наконец ионный обмен: замещение катлекул H_2O катионами Zn^{2+} . Упртические промежуточные стаминерала) может быть про $2Zn^{2+} \rightarrow Zn_2Ti_{4-\nu}Si_4O_{14}(OH,H_2GE)$

Не исключено, что вторая процессы выщелачивания фоском-то этапе протекать однов

Источником цинка для визвыщелачивания которого в изминерала. Представляется, что ное обогащение гидротермалы Нахождение низкотемператур растворения сфалерита или в первых сантиметров) очень харматитов Ловозера. Наиболее ощий монтмориллонит, сауконы разные представители группы ровит-Zn, лепхенельмит-Zn) (1

Почему вигришинит имеет Nb, Fe³⁺) в позициях Ti(1), Ti(2) вая протофаза уже содержала но не исключено и то, что исхо.



нита (δ — по: Расцветаева и Анд-

te (6 — after Rastsvetaeva & Andri-

лилов, 1989). Для вигриший модификации мурманита, тричной пространственной ниям в структурной модели

а близки (рис. 4—6), но перы в трех из четырех Ті-доминового минерала Ті $_{4-x}$ вмеснется важной предпосылкой пое вигришинита вместо ода (рис. 4, 6; табл. 5). Другие аните Na (рис. 4, 6, 5, 6, 6, 6),

лами — в содержимом межлы воды (2H₂O на формулу, нита находятся три катион-O [O(22)] (рис. 4), к тому же вом рассчитанную формулу. ните с образованием специаркаса (рис. 4, *a*). Таким обпразличными по топологии: атом, в котором соседние азуемых атомами водорода псевдокаркасом, в котором слоевых катионов, подобно с гетерофиллосиликатов, таерротит (см.: Ferraris, Gula,

ет быть представлена в виде:)₂]}, где в соответствии с 05) содержимое *H*-слоев заные (все анионы, связанные внутрь квадратных скобок). зва, Андрианов, 1986), пред-

ставленная таким же образом, будет иметь вид: $(H_2O)_2\{Ti_2(Na,\Box)_2(OH)_2\cdot [Ti_2Na_2(O,H_2O,OH)_4(Si_2O_7)_2]\}.$

Вигришинит сильно отличается от всех других известных слоистых титаносиликатов по химическому составу, в первую очередь благодаря высокому содержанию и соответственно видообразующей роли цинка. Кроме того, в отличие от прочих членов меро-плезиотипной серии бафертисита он не содержит видообразующих щелочных или щелочноземельных катионов: их функцию выполняет Zn^{2+} , занимающий позиции как внутри HOH-блока, так и в межслоевом пространстве.

По нашему мнению, индивиды вигришинита представляют собой гомоосевые псевдоморфозы по кристаллам ломоносовита или какого-либо близкого к нему минерала (ломоносовита-бета ?). Хорошо известно, что ломоносовит $Na_4Ti_4(Si_4O_{14})O_4$ · $2Na_{3}PO_{4}$, член меро-плезиотипной серии бафертисита с тем же строением HOH-блока, что и мурманит, но содержащий в межслоевом пространстве не H₂O, а Na₃PO₄, очень неустойчив в относительно низкощелочных водных средах. Он легко изменяется в мурманит в результате выщелачивания Na_3PO_4 и гидратации: $Na_4Ti_4(Si_4O_{14})O_4$ · $2Na_3PO_4 + 4H_2O \rightarrow Na_{4-x}Ti_4Si_4O_{14}(OH)_{4-x}O_2(H_2O)_{2+x} + (6+x)Na^+ + 2(PO_4)^3$ -. Этот процесс многократно фиксировался в природных условиях и воспроизводился в лабораторных экспериментах (Борнеман-Старынкевич, 1946; Власов и др., 1959; Забавникова, 1967; Хомяков, 1990). А. П. Хомяков отнес мурманит к особой генетической группе трансформационных минеральных видов: до сих пор не найдено доказательств того, что он способен кристаллизоваться из расплава, раствора или газа. Этот минерал рассматривается исключительно как продукт гидротермального или гипергенного изменения ломоносовита или ломоносовита-бета, формирующий гомоосевые псевдоморфозы по кристаллам этих фосфатсодержащих титаносиликатов (Хомяков, 1990).

Мы рассматриваем вигришинит тоже в качестве трансформационного минерального вида, чьей протофазой был ломоносовит (или ломоносовит-бета). Процесс образования вигришинита представляется более сложным, чем формирование мурманита, и включает в себя как минимум три стадии. Сначала кристаллизовался, вероятно вместе с уссингитом, ломоносовит. Затем на более поздней гидротермальной стадии произошла его трансформация в мурманит по рассмотренной выше схеме; скорее всего, тогда же цеолитизировались находящиеся здесь же уссингит и содалит, началось растворение сфалерита. Наконец, на последней стадии мурманит претерпел природный ионный обмен: замещение катионов Na^+ и вытеснение большей части межслоевых молекул H_2O катионами Zn^{2+} . Упрощенная схема такой реакции (если исключить гипотетические промежуточные стадии, например с образованием нестабильных H-форм минерала) может быть представлена так: $Na_{4-x}Ti_{4-y}Si_4O_{14}(OH)_{4-x}O_2(H_2O)_{2+x} + 2Zn^{2+} \rightarrow Zn_2Ti_{4-y}Si_4O_{14}(OH, H_2O, \square)_8 + (4-x)Na^+ + nH_2O, n < 2$.

Не исключено, что вторая и третья стадии процесса частично перекрывались, т. е. процессы выщелачивания фосфатного компонента и вхождения цинка могли на каком-то этапе протекать одновременно.

Источником цинка для вигришинита, скорее всего, послужил сфалерит, полости выщелачивания которого в изобилии присутствуют рядом с обособлениями нового минерала. Представляется, что при растворении такого количества сфалерита локальное обогащение гидротермальной системы цинком может быть весьма значительным. Нахождение низкотемпературных высоководных цинковых силикатов в полостях растворения сфалерита или в непосредственной близости от них (на расстоянии до первых сантиметров) очень характерно для многих гидротермально измененных пегматитов Ловозера. Наиболее обычны среди этих минералов смектиты (Zn-содержащий монтмориллонит, сауконит, иногда цинксилит), менее распространены разнообразные представители группы лабунцовита (кузьменкоит-Zn, органоваит-Zn, алсахаровит-Zn, лепхенельмит-Zn) (Пеков, 2001; Чуканов и др., 2003).

Почему вигришинит имеет дефицит высокозарядных катионов металлов (Ti, Zr, Nb, Fe³⁺) в позициях Ti(1), Ti(2) и Ti(4), сказать трудно. Возможно, его ломоносовитовая протофаза уже содержала вакансионные дефекты в соответствующих позициях, но не исключено и то, что исходно она имела обычный, полнокатионный состав, кото-

рый так изменился уже на гидротермальных стадиях. Учитывая, что Ті и Nb — самые инертные компоненты в природных процессах изменения ломоносовитоподобных гетерофиллосиликатов (Семенов, 1972; Пеков, 2001), можно предположить в качестве особого случая, что здесь они были вынесены в ходе обменной реакции с Zn²⁺.

В пользу катионообменного механизма трансформации мурманита в вигришинит можно привести два аргумента. Первый из них — кристаллохимический: Zn занимает в вигришините позиции, где образует достаточно слабые химические связи с координирующими его анионами. В то же время связи у Zn²⁺ здесь более прочные, чем у Na⁺, что может делать энергетически выгодной реакцию обмена натрия на цинк. Некоторые позиции Zn соответствуют позициям Na в HOH-блоке мурманита, другие же вообще находятся в межслоевом пространстве (рис. 4—6). Такое структурное положение представляется маловероятным для цинка — двухвалентного катиона со средними силовыми характеристиками, если бы он вошел в состав силиката при относительно высокотемпературной кристаллизации (см.: Piilonen et al., 2006).

Второй аргумент — химический. Наши эксперименты показывают, что мурманит обладает ярко выраженной способностью к катионному обмену с растворами солей целого ряда металлов даже в относительно мягких условиях: при температурах ниже 100 °С. В частности, он активно обменивает Na+ на Zn2+: в опыте, поставленном при 90 °С в 1H растворе $ZnSO_4 \cdot 7H_2O_7$, в мурманит вошел цинк в количестве 0.8 атома на формулу (Z = 2), и при этом был вытеснен натрий в количестве 1.4 атома на формулу (Лыкова и др., в печати).

Таким образом, вигришинит, по нашему мнению, представляет собой яркий пример минерала, сформировавшегося в результате природного ионного обмена, причем в качестве обменного здесь выступает не щелочной или щелочноземельный катион, как это в целом наиболее типично для низкотемпературных гидротермальных и гипергенных природных систем (Pekov et al., 2008), а цинк.

Благодарности. Авторы благодарны Л. А. Коршуновой и В. О. Япаскурту за помощь в изучении химического состава минерала, а А. Е. Задову — за определение плотности. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-05-12001-офи-м-2011 и 11-05-00407-а.

Список литературы

Борнеман-Старынкевич И. Д. О химической природе мурманита // Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 66—74.

Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. М.: Изд-во АН СССР,

Герасимовский В. И. К минералогии юго-восточной части Луяврурта // Тр. Ломоносовского ин-та АН СССР. Сер. минер. **1936.** В. 7. С. 5—48.

Герасимовский В. И. Уссингит Ловозерских тундр // Тр. Ломоносовского ин-та АН СССР. Сер. минер. 1937. В. 10. С. 5—28.

Забавникова Н.И. Обработка водой минералов группы ломоносовита // Методы химического анализа и химический состав минералов. М.: Наука, 1967. С. 69—78.

Лыкова И. С., Чуканов Н. В., Тарасов В. П., Пеков И. В., Япаскурт В. О. Ионообменные свойства мурманита $Na_2Ti_2(Si_2O_7)O_2 \cdot 2H_2O$ // Химическая физика, в печати.

Пеков И. В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. М.: Земля. 2001.

Расцветаева Р. К., Андрианов В. И. Новые данные о кристаллической структуре мурманита // Кристаллография. 1986. Т. 31. № 1. С. 82—87.

Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972. 307 с.

Халилов А. Д. Уточнение кристаллической структуры мурманита и новые данные о его кристаллохимических особенностях // Минер. журн. 1989. Т. 11. № 5. С. 19—27.

Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

Чуканов Н. В., Пеков И. В., Задов А. Е., Волошин А. В., Субботин В. В., Сорохтина Н. В., Расцвета-

ева Р. К., Кривовичев С. В. Минералы группы лабунцовита. М.: Наука, **2003.** 323 с. Anthony J. W., Bideaux R. A., Bladh K. W., Nichols M. C. Handbook of Mineralogy. Vol. II. Silica, Silicates. Tucson, Mineral Data Publishing. 1995. 813 p.

Back M. E., Mandarino J. A. Fleise neralogical Record Inc., 2008. 344 p.

Ferraris G., Gula A. Polysomatic and rhodesite-related structures # Rev. Karup-Møller S. Murmanite from a 1986. Vol. 155, P. 67—88,

Pekov I. V., Grigorieva A. A., Turc nerals: different aspects and implication berg, 2008. P. 7-15.

Piilonen P. C., Pekov I. V., Back M letskite from Mont Saint-Hilaire, Queba ronments // Miner. Mag. 2006. Vol. 70 Sheldrick G. M. A short history of

Y / K 549.646 + 548.3 (430.123)

© Д. чл. *Н. В. ЧУКАНОВ*, * д. чл. *И.* д. чл. *Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ*, ***

ОСУМИЛИТ-(Мд): УСТАН

* Институт проблем химичес ** Московский универсинк *** Институт крист **** Минералогический музей г *** Институт эксперименталь ****** *lm*

Осумилит-(Мg), Мg-доминантн мостоятельного минерального вида Майен (вулканический район Айфе $KMg_2Al_3(Al_2Si_{10})O_{30}$. Кристаллическ ный, пр. гр. P6/mcc; a = 10.0959(1), генограммы порошка [d, Å (I, %) (/в (202), 3.234 (100) (211), 2.932 (42) (нится в Минералогическом музес мер 4174/1.

Ключевые слова: осумилит-(Мд Айфель, щелочные вулканиты, ксен-

N. V. CHUKANOV, I. V. PEKOV, K. V. VAN, V. SCHULLER, B. TERNE

Osumilite-(Mg), the Mg-dominant a mineral species. The holotype sample ciated minerals are fluorophlogopite, hematite. Osumilite-(Mg) forms short size inside cavities in basaltic volcanic

¹ Осумилит-(Mg) как самостоятелы вым минералам, номенклатуре и класси 2 декабря 2011 г., 1МА No. 2011-083.

тывая, что Ті и Nb — самые ломоносовитоподобных гено предположить в качестве ненной реакции с Zn²⁺.

ми мурманита в вигришинит похимический: Zn занимает химические связи с коордись более прочные, чем у Na⁺, ена натрия на цинк. Некотоке мурманита, другие же во-Такое структурное положелентного катиона со среднил в состав силиката при ...: Piilonen et al., 2006).

и показывают, что мурманит обмену с растворами солей иях: при температурах ниже в опыте, поставленном при нк в количестве 0.8 атома на честве 1.4 атома на формулу

едставляет собой яркий приого ионного обмена, причем щелочноземельный катион, оных гидротермальных и ги-

вой и В. О. Япаскурту за по-Е. Задову — за определение ФИ | 1-05-12001-офи-м-2011

та // Вопросы минералогии, геохи-

нной массив. М.: Изд-во АН СССР,

врурта // Тр. Ломоносовского ин-та

совского ин-та АН СССР. Сер. ми-

совита // Методы химического ана-

урт В. О. Ионообменные свойства

атиты, минералы. М.: Земля. 2001.

еской структуре мурманита // Кри-

М.: Наука, **1972.** 307 с.

га и новые данные о его кристалло-27.

д. М.: Наука, **1990.** 196 с.

ч В. В., Сорохтина Н. В., Расцветаука, **2003.** 323 с.

of Mineralogy. Vol. II. Silica, Silica-

Back M. E., Mandarino J. A. Fleischer's Glossary of Mineral Species 2008. 10th edition. Tucson, The Mineralogical Record Inc., 2008. 344 p.

Ferraris G., Gula A. Polysomatic aspects of microporous minerals — heterophyllosilicates, polysepioles and rhodesite-related structures // Rev. Miner. Geochem. 2005. Vol. 57. P. 69—104.

Karup-Møller S. Murmanite from the Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland // N. Jb. Miner. Abh. **1986.** Vol. 155. P. 67—88.

Pekov I. V., Grigorieva A. A., Turchkova A. G., Lovskaya E. V. Natural ion exchange in microporous minerals: different aspects and implications // Minerals as Advanced Materials 1. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg, 2008. P. 7—15.

Piilonen P. C., Pekov I. V., Back M., Steede T., Gault R. A. Crystal structure refinement of a Zn-rich kupletskite from Mont Saint-Hilaire, Quebec, with contributions to the geochemistry of zinc in peralkaline environments // Miner. Mag. 2006. Vol. 70. P. 565—578.

Sheldrick G. M. A short history of SHELX // Acta Cryst. 2008. A64. P. 112—122.

Поступила в редакцию 15 февраля 2012 г.

УДК 549.646 + 548.3 (430.123)

3PMO, № 4, 2012 г. Zapiski RMO, N 4, 2012

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, * д. чл. И. В. ПЕКОВ, ** д. чл. Р. К. РАСЦВЕТАЕВА, *** С. М. АКСЕНОВ, ***
д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ, **** К. В. ВАН, ***** В. ШЮЛЛЕР, ***** Б. ТЕРНЕС******

ОСУМИЛИТ-(Mg): УСТАНОВЛЕНИЕ СТАТУСА МИНЕРАЛЬНОГО ВИДА И НОВЫЕ ДАННЫЕ¹

* Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка
** Московский университет, геологический ф-т, 119991, Москва, Воробьевы горы
*** Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский пр., 59
**** Мипералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 18-2
***** Институт экспериментальной мипералогии РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка
****** Im Strau Renpesch 22, 53518 Adenau, Germany
****** Bahnhofstrasse 45, 56727 Mayen, Germany

Осумилит-(Мg), Мg-доминантный аналог осумилита, утвержден КНМНК ММА в качестве самостоятельного минерального вида. Голотипный образец найден на горе Беллерберг близ города Майен (вулканический район Айфель, Рейнланд-Пфальц, Германия). Идеализированная формула: $\mathrm{KMg_2Al_3(Al_2Si_{10})O_{30}}$. Кристаллическая структура решена, R=0.0294. Осумилит-(Мg) гсксагональный, пр. гр. P6/mcc; a=10.0959(1), c=14.3282(2) Å, V=1264.79(6) Å 3 , Z=2. Сильные линии рентенограммы порошка [d, Å (I, %) (hkl)]: 7.21 (37) (002), 5.064 (85) (110), 4.137 (45) (112), 3.736 (43) (202), 3.234 (100) (211), 2.932 (42) (114), 2.767 (51) (204). Эталонный образец осумилита-(Мg) хранится в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (Москва), регистрационный номер 4174/1.

Ключевые слова: осумилит-(Mg), IMA 2011-083, группа миларита, кристаллическая структура, Айфель, щелочные вулканиты, ксенолиты метапелитов.

N. V. CHUKANOV, I. V. PEKOV, R. K. RASTSVETAEVA, S. M. AKSENOV, D. I. BELAKOVSKIY, K. V. VAN, V. SCHULLER, B. TERNES. OSUMILITE-(MG): VALIDATION AS A MINERAL SPECIES AND NEW DATA

Osumilite-(Mg), the Mg-dominant analogue of osumilite, has been approved by the IMA CNMNC as a mineral species. The holotype sample has been found at Bellerberg, Eifel volcanic area, Germany. Associated minerals are fluorophlogopite, sanidine, cordierite, mullite, sillimanite, topaz, pseudobrookite and hematite. Osumilite-(Mg) forms short prismatic or thick tabular nexagonal crystals up to 0.5×1 mm in size inside cavities in basaltic volcanic glasses at their contact with thermally metamorphosed xenoliths of

¹ Осумилит-(Mg) как самостоятельный минеральный вид и его название утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации 2 декабря 2011 г., IMA No. 2011-083.

ZAPIŠKI ROSSIISKOGO MINERALOGICHESKOGO OBSHCHESTVA.

ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА



N4 · 2012

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА МИНЕРАЛОВ

Пеков И. В., Середа Е. В., Полеховский Ю. С., Бритвин С. Н., Чуканов Н. В., Япаскурт В. О.,	
<i>Брызгалов И. А.</i> Ферроточилинит 6FeS · 5Fe(OH) ₂ — новый минерал из Октябрьского месторож-	
дения (Норильский район, Сибирь, Россия)	1
Пеков И. В., Бритвин С. Н., Зубкова Н. В., Чуканов Н. В., Брызгалов И. А., Лыкова И. С.,	
Белаковский Д. И., Пущаровский Д. Ю. Вигришинит $Z_{n_2}T_{i_{4-x}}S_{i_4}O_{i_4}(OH,H_2O,□)_8$ — новый	
минерал из Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия)	12
Чуканов Н. В., Пеков И. В., Расуветаева Р. К., Аксенов С. М., Белаковский Д. И., Ван К. В.,	
Шюллер В., Тернес Б. Осумилит-(Мg): установление статуса минерального вида и новые данные	27
Мурашко М. Н., Пеков И. В., Кривовичев С. В., Чернятьева А. П., Япаскурт В. О., Задов А. Е.,	
Зеленский М. Е. Стеклит KAI(SO ₄) ₂ : находка на вулкане Толбачик (Камчатка, Россия),	
установление статуса минерального вида и кристаллическая структура	36
ИСТОРИЯ НАУКИ	
Филатов С. К. К столетию великих открытий	45
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ	

Медведева Е. В., Русин А. И., Мурдасова Н. М., Котляров В. А. Минералогия андалузит-киа-	
нит-силлиманитовых пород саитовской серии Ильменских гор, Южный Урал	50
Пыстин А. М., Потапов И. Л., Пыстина Ю. И. Проявление малосульфидных золото-платино-	
металльных руд на Полярном Урале	60
Казаченко В. T ., Перевозникова E . B ., Нарнов Γ . A . Акцессорная минерализация в скарнах Даль-	
негорского рудного района (Сихотэ-Алинь)	73
Старикова А. Е., Канакин С. В., Скляров Е. В. Арсениосидерит в метасоматитах Тажеранского	
массива (Западное Прибайкалье)	96
массива (Западное Прибайкалье) Булах А. Г., Зайцев А. Н., Зайцева О. А. Реликтовые зерна пиропа в минойской керамике с рестрова Крит и их интерпретация	
острова Крит и их интерпретация	107



