

Поступила в редакцию
19 июля 2011 г.

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА МИНЕРАЛОВ

УДК 549.65 (430.123)

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ,* Н. В. ЗУБКОВА,** д. чл. И. В. ПЕКОВ,** д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ,***
В. ШЮЛЛЕР,**** Б. ТЕРНЕС,***** Г. БЛАСС,***** д. чл. Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ**

ХИЛЛЕСХАЙМИТ (K,Ca,□)₂(Mg,Fe,Ca,□)₂[(Si,Al)₁₃O₂₃(OH)₆](OH)·8H₂O — НОВЫЙ СЛОИСТЫЙ СИЛИКАТ ГРУППЫ ГЮНТЕРБЛАССИТА¹

* ФГБУ науки Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка;
e-mail: chukanov@icp.ac.ru

** Московский университет, геологический факультет, 119991, Москва, Воробьевы горы

*** Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 18-2

**** Im Straussenpesch 22, 53518, Adenau, Germany

***** Bahnhofstrasse 45, 56727 Mayen, Germany

***** Merzbachstrasse 6, D-52249, Eschweiler, Germany

Новый минерал хиллесхаймит найден в базальтовом карьере Грауляй близ города Хиллесхайм (горы Айфель, Рейнланд-Пфальц, Германия) в составе поздней ассоциации, включающей в себя нефелин, авгит, фторапатит, магнетит, акерманит, перовскит, гётценит и бариевые минералы группы лампрофиллита. Эмпирическая формула: K_{0.96}Na_{0.08}Ba_{0.16}Ca_{0.56}Mg_{0.58}Fe_{0.37}[Si_{9.62}Al_{3.32}O₂₃(OH)₆]·[(OH)_{0.82}(H₂O)_{0.18}]·8H₂O. Минерал ромбический, *Pmmn*: *a* = 6.979(11), *b* = 37.1815(18), *c* = 6.5296(15) Å; *V* = 1694(3) Å³, *Z* = 2. Назван по месту его находки. Эталонный образец хранится в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (Москва), рег. номер 4174/1.

Ключевые слова: хиллесхаймит, группа гюнтерблассита, новый минерал, филлосиликаты, кристаллическая структура, Грауляй, Айфель, щелочной базальт.

N. V. CHUKANOV, N. V. ZUBKOVA, I. P. PEKOV, D. I. BELAKOVSKIY, W. SCHÜLLER, B. TERNES,
G. BLASS, D. Yu. PUSHCHAROVSKY. HILLESHEIMITE, (K,Ca,□)₂(Mg,Fe,Ca,□)₂[(Si,Al)₁₃O₂₃(OH)₆]
(OH)·8H₂O, A NEW PHYLLOSILICATE MINERAL OF THE GÜNTERBLASSITE GROUP

A new mineral hillesheimite has been found in the basalt quarry Graulai, near the town Hillesheim, in Eifel Mountains, Rheinland-Pfalz, Germany. It occurs in the late association including nepheline, augite, fluorapatite, magnetite, perovskite, priderite, gützenite, lamprophyllite-group minerals, and akermanite. Flattened colorless crystals of hillesheimite are up to 0.2 × 1 × 1.5 mm in size and their aggregates occur in miarolitic cavities in alkaline basalt. The mineral is brittle, with Mohs' hardness 4. Cleavage is perfect on (010) and distinct on (100) and (001). *D*_{calc} = 2.174 g/cm³, *D*_{meas} = 2.16(1) g/cm³. IR spectrum is given. Hillesheimite is biaxial (–), α = 1.496(2), β = 1.498(2), γ = 1.499(2), 2*V*_{meas} = 80°. Chemical composition (electron microprobe, mean of 4 point analyses, H₂O determined from structural data, wt %) is: Na₂O 0.24, K₂O 4.15, MgO 2.14, CaO 2.90, BaO 2.20, FeO 2.41, Al₂O₃ 15.54, SiO₂ 52.94, H₂O 19.14, total sum 101.65. The empirical formula is: K_{0.96}Na_{0.08}Ba_{0.16}Ca_{0.56}Mg_{0.58}Fe_{0.37}[Si_{9.62}Al_{3.32}O₂₃(OH)₆]·[(OH)_{0.82}(H₂O)_{0.18}]·8H₂O. The crystal structure was studied on single crystal, *R* = 0.1735. Hillesheimite is orthorhombic, space group *Pmmn*, unit cell parameters: *a* = 6.979(11), *b* = 37.1815(18), *c* = 6.5296(15) Å; *V* = 1694(3) Å³, *Z* = 2. The basis of the crystal structure is the block [(Si,Al)₁₃O₂₃(OH,O)₄] consisting of three single tetrahedral layers connected via common vertices, which is topologically identical to triple layers in günterblassite and umbrianite. Strong lines of the X-ray powder diffraction pattern [*d*, Å (*I*, %)] are: 6.857(58), 6.545(100), 6.284(53), 4.787(96), 4.499(59), 3.065(86), 2.958(62), 2.767(62). The mineral was named after the locality of its discovery. Type speci-

¹ Новый минерал хиллесхаймит и его название утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации 1 ноября 2011 г., IMA No. 2011-080.

mens are deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, with registration number 4174/1.

Key words: hillesheimite, günterblässite group, new mineral, phyllosilicate, crystal structure, Graulay, Eifel, alkaline basalt.

ВВЕДЕНИЕ

Недавно открытый минерал гюнтерблассит $(K, Ca, Ba, Na, \square)_3 Fe[(Si, Al)_{13} O_{25} \cdot (OH, O)_4] \cdot 7H_2O$ (Чуканов и др., 2012), который был обнаружен в составе поздней ассоциации, связанной с щелочными базальтами горы Ротер Коф в вулканическом районе Айфель (Германия), явился родоначальником весьма необычной группы филлосиликатов, в основе кристаллических структур которых лежит трехслойный тетраэдрический пакет состава $[(Si, Al)_{13} (O, OH)_{29}]$ (Расцветаева и др., 2012). В составляющих этот пакет кремнекислородных слоях $[Si_4 \square_{10}]$ (где $\square = O, OH$) можно выделить 8- и 4-членные тетраэдрические кольца. Такое же (или аналогичное, но с другой ориентировкой тетраэдров по отношению к плоскости слоя) чередование 8- и 4-членных колец имеет место в ряде родственных однослойных (маунтинит, шлыковит, криптофиллит) и двухслойных [родезит, макдональдит, сейдит-(Ce), монтереджаниит-(Y), дельхайелит, фивегит, гидродельхайелит] филлосиликатов. Перечисленные минералы с одинарными кремнекислородными слоями составляют семейство маунтинита (Zubkova et al., 2010), двухслойные — меро-плезотиопную серию родезита (Ferraris, Gula, 2005; Cadoni, Ferraris, 2009; Pekov et al., 2011), трехслойные мы предла-

гаем объединить в группу гиллесахаймитов. Здесь термина «группа» обусловлено тем, что блок у входящих в нее минералов описываемый в настоящей работе гиллесахаймит получил название.

Эталонный образец новогиллесахаймита А. Е. Ферсмана РАН (Москва).

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ

Образцы с гиллесахаймитом (Graulay; другие варианты названия: Хиллесахайм (Hillesheim), земля Рейна) в составе поздней ассоциации, вместе с акерманитом, перовскитом, германитом и другими минералами, широко образованные кристаллы и агрегаты в щелочном базальте.

Хиллесахаймит является одним из минералов этой ассоциации. Среди других минералов ассоциации с хиллесахаймитом минералы: акерманит, перовскит, германит, шлыковит, криптофиллит, родезит, макдональдит, сейдит-(Ce), монтереджаниит-(Y), дельхайелит, фивегит, гидродельхайелит.

Хиллесахаймит образует уединенные кристаллы (рис. 1) и их субпараллельные агрегаты. Кристаллы имеют вид прямоугольных (от почти квадратных до {010}) (главная габитусная

Таблица 1

Сравнительные данные для минералов группы гюнтерблассита
Comparative data for günterblässite-group minerals

Свойство	Хиллесахаймит	Гюнтерблассит	Умбрианит
Формула	$(K, Ca, \square)_2 (Mg, Fe, Ca, \square)_2 \cdot [(Si, Al)_{13} O_{23} (OH)_6] (OH) \cdot 8H_2O$	$(K, Ca, Ba, \square)_3 Fe[(Si, Al)_{13} O_{25} (OH, O)_4] \cdot 7H_2O$	$K_7 Na_2 Ca_2 [Si_{10} Al_3 O_{29}] F_2 Cl_2$
Сингония	Ромбическая	Ромбическая	Ромбическая
Пр. гр.	$R\bar{3}m$	$R\bar{3}m$	$R\bar{3}m$
Параметры ячейки			
$a, \text{Å}$	6.979	6.970	7.062
$b, \text{Å}$	37.1815	37.216	38.420
$c, \text{Å}$	6.5296	6.528	6.574
$V, \text{Å}^3$	1694	1693	1783.5
Z	2	2	2
Сильные линии порошковых диаграмм:			
$d, \text{Å}^{-1}$	6.857—58 6.545—100 6.284—53 4.787—96 4.499—59 3.065—86 2.958—62 2.767—62	6.523—100 6.263—67 3.062—91 2.996—66 2.955—63 2.853—51 2.763—60	9.65—100 6.91—43 6.59—97 3.296—77 3.118—70 2.903—52 2.819—53
$D, \text{г/см}^3$	2.16 (изм.), 2.174 (выч.)	2.18 (изм.), 2.18 (выч.)	2.49 (выч.)
Оптические характеристики			
n_p	1.496	1.488	1.537
n_m	1.498	1.490	1.543
n_g	1.499	1.493	1.544
Оптический знак, $2V$	(-) 80°	(+) 80°	(-) 30°
Источник	Настоящая работа	Чуканов и др., 2012	Sharygin et al., в печати

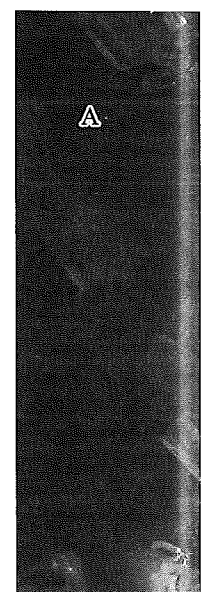


Рис. 1. Кристаллы хиллесахаймита (H) в шлифе.

Fig. 1. Crystals of hillesheimite (H) in a thin section.

$\text{K, Ca, Ba, Na, } \square)_3\text{Fe}[(\text{Si, Al})_{13}\text{O}_{25} \cdot$
ружен в составе поздней ассо-
Коф в вулканическом райо-
ма необычной группы фил-
рых лежит трехслойный тет-
(Расцветаева и др., 2012).
 Si_4O_{10}] (где $\square = \text{O, OH}$) можно
ое же (или аналогичное, но с
скости слоя) чередование 8- и
слойных (маунтинит, шлыко-
ьдит, сейдит-(Ce), монтеред-
филлосиликатов. Перечислен-
ми составляют семейство ма-
лезитоподобную серию родезита
011), трехслойные мы предла-

Таблица 1

и гюнтерблассита
r minerals

ит	Умбрианит
$(\text{Al})_{13} \cdot$	$\text{K}_7\text{Na}_2\text{Ca}_2[\text{Si}_{10}\text{Al}_3\text{O}_{29}]\text{F}_2\text{Cl}_2$
	Ромбическая $Pmmn$
	7.062 38.420 6.574 1783.5 2
	9.65—100 6.91—43 6.59—97 3.296—77 3.118—70 2.903—52 2.819—53
	2.49 (выч.)
	1.537 1.543 1.544 (—) 30°
	Sharygin et al., в печати

гаем объединить в группу гюнтерблассита (табл. 1). Корректность использования здесь термина «группа» обусловлена идентичностью строения алюмосиликатного блока у входящих в нее минералов.

Описываемый в настоящей статье новый представитель группы гюнтерблассита хиллесхаймит получил название по месту его находки близ города Хиллесхайм в Германии.

Эталонный образец нового минерала хранится в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (Москва), регистрационный номер 4174/1.

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ, MORFOLOGИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Образцы с хиллесхаймитом собраны в действующем базальтовом карьере Граулай (Graulay; другие варианты написания — Graulai, Grauley, Graulei) близ города Хиллесхайм (Hillesheim), земля Рейнланд-Пфальц, Германия. Новый минерал обнаружен в составе поздней ассоциации, включающей в себя нефелин, авгит, фторапатит, магнетит, акерманит, перовскит, гетценит, бариевые члены группы лампрофиллита. Хорошо образованные кристаллы всех этих минералов нарастают на стенки миароловых полостей в щелочном базальте.

Хиллесхаймит является одним из наиболее поздних и единственным водным минералом этой ассоциации. Скорее всего, кристаллизация большинства ассоциирующихся с хиллесхаймитом минералов происходила на пневматолитовой стадии.

Хиллесхаймит образует уплощенные кристаллы размерами до $0.2 \times 1 \times 1.5$ мм (рис. 1) и их субпараллельные или веерообразные сростки до 2 мм в поперечнике. Кристаллы имеют вид прямоугольных пластинок или табличек, в разной степени вытянутых (от почти квадратных до досковидных), и образованы гранями трех пинакоидов: $\{010\}$ (главная габитусная форма), $\{001\}$, $\{100\}$ (боковые грани).

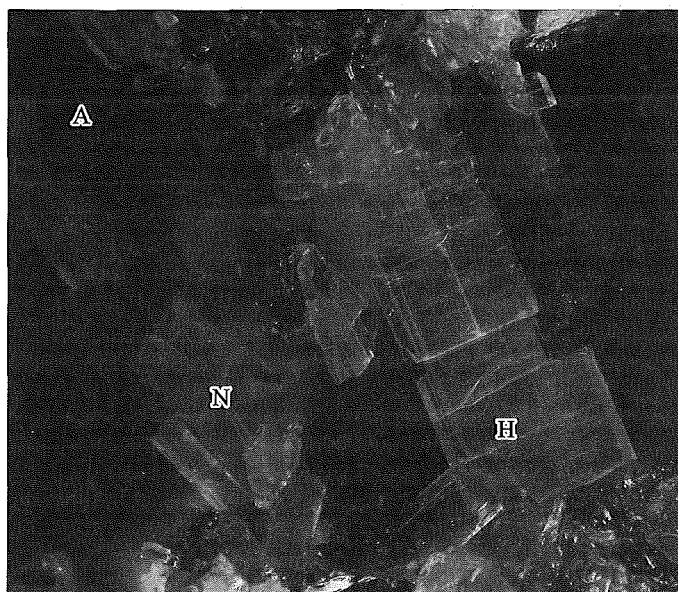


Рис. 1. Кристаллы хиллесхаймита (Н) с авгитом (А) и нефелином (N).

Ширина поля 2 мм. Фотография Ф. Круйена.

Fig. 1. Crystals of hillesheimite (H) with augite (A) and nepheline (N). Field of view 2 mm. Photograph: F. Kruijen.

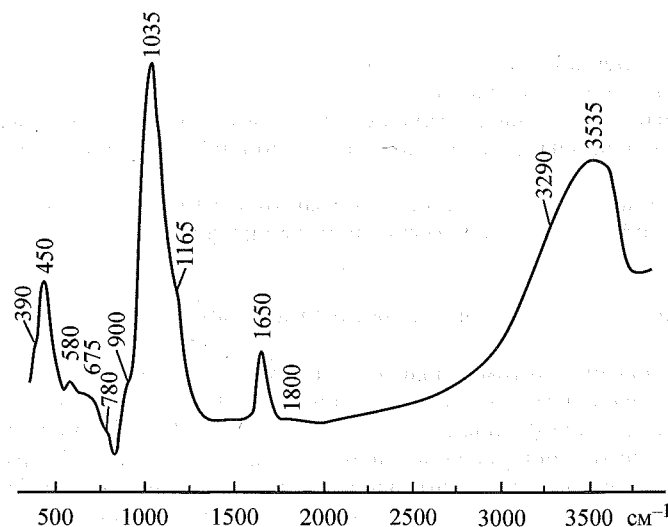


Рис. 2. ИК-спектр хиллсхаймита.

Fig. 2 IR spectrum of hillesheimite.

Цвет хиллсхаймита варьирует от желтого до коричневатого, его кристаллы прозрачные до просвечивающих. Черта белая. Минерал хрупкий, его твердость по шкале Мооса составляет 4, спайность весьма совершенная по (010) и менее совершенная по (100) и (001). Вычисленная плотность равна 2.174 г/см^3 , измеренная методом уравнивания в тяжелых жидкостях — $2.16(2) \text{ г/см}^3$. Люминесценции в ультрафиолетовых и катодных лучах не наблюдается.

ИК-спектр хиллсхаймита (рис. 2), полученный с помощью фурье-спектрометра ALPHA FTIR фирмы Bruker Optics при разрешающей способности 4 см^{-1} , близок к спектру гюнтерблассита (Чуканов и др., 2012) и, как и последний, характеризуется плохой разрешенностью полос, что отражает разупорядоченность катионов в структурах обоих минералов. Положения (см^{-1}) и отнесения полос ИК-спектра следующие (s — сильная полоса, sh — плечо): 3535, 3290sh (O—H-валентные колебания), 1800 (деформационные колебания ионов H_3O^+), 1650 (деформационные колебания молекул H_2O), 1165sh, 1035s, 900sh (Si—O-валентные колебания), 780sh, 675sh, 580 (деформационные колебания O—Si—O), 450s, 390sh (комбинация деформационных колебаний Si—O—Si и валентных колебаний полиэдров MO_6 , где $M = \text{Mg, Fe, Ca}$). Полосы B- и C-содержащих групп (диапазон $1200\text{—}1500 \text{ см}^{-1}$) в ИК-спектре хиллсхаймита отсутствуют.

По сравнению с гюнтербласситом хиллсхаймит характеризуется более высоким значением волнового числа в максимуме полосы M—O-валентных колебаний (соответственно 442 и 450 см^{-1}), что может быть связано с различными координационными числами M-катиона в этих минералах (соответственно 7 и 6), а также с доминированием в M-позиции хиллсхаймита более легкого катиона (Mg), чем в аналогичной Fe-доминантной позиции гюнтерблассита (табл. 1).

Новый минерал оптически двуосный отрицательный, $n_p = 1.496(2)$, $n_m = 1.498(2)$, $n_g = 1.499(2)$; $2V_{\text{изм}} = 80(5)^\circ$, $2V_{\text{выч}} = 70^\circ$. Дисперсии оптических осей не наблюдается. Оптическая ориентировка: $Y = b$; оси оптической индикатрисы перпендикулярны плоскостям спайности. Хиллсхаймит отличается от гюнтерблассита оптическим знаком и более высокими показателями преломления (табл. 1).

Химический состав хиллсхаймита

Chemical composition

Компонент	Содержание, мас. %
Na_2O	10.96
K_2O	0.08
MgO	0.16
CaO	0.16
BaO	0.16
FeO	0.16
Al_2O_3	0.16
SiO_2	0.16
H_2O^*	0.16
Сумма	19.14

Примечание. Содержание молекул H_2O , координированных с катионами P, S, Cl, Ti, Cr, Mn и Sr ниже предела обнаружения.

Химический состав хиллсхаймита был определен с помощью сканирующей рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе 10 нА. Угловое расстояние между образцом и детектором — 40° .

Вода не определялась ввиду отсутствия пика при 3.0 мкм . Содержание H_2O , вычисленное по данным анализа, составляет 19.14 мас. %.

Результаты определения химического состава хиллсхаймита приведены в табл. 2. Формула хиллсхаймита, рассчитанная по данным анализа, имеет вид: $\text{K}_{0.96}\text{Na}_{0.08}\text{Ba}_{0.16}\text{Ca}_{0.16}\text{Fe}_{0.16}\text{Al}_{0.16}\text{Si}_{0.16}\text{O}_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. В упрощенном виде формулу можно записать как $(\text{K,Ca,Al})_2(\text{Mg,Fe,Ca})_2[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Сходимость физических свойств хиллсхаймита с данными для хиллсхаймита — Дейла хорошая: $(1 - K_p/K_c) = 0.01$.

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Рентгенограмма порошка хиллсхаймита была получена с помощью монокристаллического дифрактометра с использованием сигнала (image plate detector) при напряжении 45 кВ и токе 30 мА. Съемка производилась на расстоянии образец—детектор 100 мм .

Порошковая дифракция хиллсхаймита была исследована с помощью уточненных по МНК параметров ячейки: $a = 1690(6) \text{ Å}$, $b = 1690(6) \text{ Å}$, $c = 1690(6) \text{ Å}$.

Монокристаллический рентгеновский анализ хиллсхаймита был проведен с помощью XcaliburS CCD с использованием метода интегрирования независимого на основе пр...

Таблица 2

Химический состав хиллессхаймита (средний, по 4 локальным анализам)

Chemical composition of hillesheimite (mean over 4 point analyses)

Компонент	Содержание, мас. %	Пределы содержаний	Эталон
Na ₂ O	0.24	0—0.43	Альбит
K ₂ O	4.15	3.47—4.95	Микроклин
MgO	2.14	1.47—3.04	Диопсид
CaO	2.90	2.32—3.99	Волластонит
BaO	2.20	0.85—3.75	BaF ₂
FeO	2.41	2.01—2.59	Fe ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	15.53	14.97—16.11	Al ₂ O ₃
SiO ₂	52.94	52.31—54.16	SiO ₂
H ₂ O*	19.14		
Сумма	101.65		

Примечание. Содержание H₂O вычислено с учетом структурных данных (8 меж-слоевых молекул H₂O, координирующих К-позицию, на формулу при Z = 2). Содержания F, P, S, Cl, Ti, Cr, Mn и Sr ниже величин порога обнаружения этих элементов микрозондовым методом.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Химический состав хиллессхаймита изучен методом локального рентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega II XMU с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight. Анализ выполнен при ускоряющем напряжении на вольфрамовом катоде 15.7 кВ и токе поглощенных электронов на Co 0.5 нА. Угол отбора рентгеновского излучения составлял 35°, расстояние между образцом и детектором — 25 мм.

Вода не определялась ввиду недостаточного количества материала. Содержание H₂O, вычисленное по данным рентгеноструктурного анализа (см. ниже), составляет 19.14 мас. %.

Результаты определения химического состава приведены в табл. 2. Эмпирическая формула хиллессхаймита, рассчитанная на (Si,Al)₁₃(O,OH)₂₉ (согласно структурным данным): K_{0.96}Na_{0.08}Ba_{0.16}Ca_{0.56}Mg_{0.58}Fe_{0.37}²⁺[Si_{9.62}Al_{3.32}O₂₃(OH)₆][(OH)_{0.82}(H₂O)_{0.18}]·8H₂O. В упрощенном виде формула может быть записана следующим образом: (K,Ca,□)₂(Mg,Fe,Ca,□)₂[(Si,Al)₁₃O₂₃(OH)₆](OH)·8H₂O.

Сходимость физических свойств и химического состава по критерию Гладстоуна-Дейла хорошая: (1-K_p/K_c) = 0.004 («superior»).

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Рентгенограмма порошка хиллессхаймита (табл. 3) получена методом Гандольфи с помощью монокристалльного дифрактометра Stoe IPDS II с плоским детектором захвата сигнала (image plate detector), на MoK_α-излучении, при ускоряющем напряжении 45 кВ и токе 30 мА. Съемка проводилась с вращением образца по двум осям (ω и φ), расстояние образец—детектор 200 мм, время экспозиции 60 мин.

Порошкограмма хиллессхаймита хорошо индицируется в ромбической ячейке с уточненными по МНК параметрами: $a = 6.967(7)$, $b = 6.523(7)$, $c = 37.17(4)$ Å; $V = 1690(6)$ Å³.

Монокристалльные рентгендифракционные данные получены на дифрактометре XcaliburS CCD с использованием MoK_α-излучения. Структура хиллессхаймита определена независимо на основе прямых методов и уточнена до $R = 0.1706$ для 844 незави-

Таблица 3

Хиллсхаймита
hillesheimite

<i>hkl</i>
040
110
001
011, 060
031
150
101
061
131
170
151
081, 161, 0.10.0
190, 171
200
220
181
012, 0.10.1
211, 1.11.0, 260
102, 112
251
1.11.1, 261
162
2.10.0
1.15.0, 310, 1.14.1
301, 0.16.1
053, 103, 113
2.10.2
2.11.2
0.20.0, 342, 203, 213
1.10.3, 362
400
3.15.0, 0.22.0, 3.10.2
3.11.2, 3.15.1
3.16.1, 3.17.0, 1.22.1
154
4.12.0, 1.21.2
4.11.1, 452
2.10.4, 501, 2.11.1

с интенсивностями ≥ 1 . $d_{\text{выч}}$ рассчитано

са программ Shex (Sheldrick, ики хиллсхаймита и данные сожалению, низкое качество и трещиноватость) не позво- лх монокристалльных данных ти для этого минерала, поэто- рной модели для хиллсхай- я корректной, что подтверж- оретической порошкограмм, нных с химическим составом

Таблица 4

Основные кристаллографические характеристики хиллсхаймита
и данные монокристалльного эксперимента

Principal crystallographic characteristics of hillesheimite and data of the monocrystal experiment

Характеристика	Хиллсхаймит (K,Ca,Ba,□) ₂ · (Mg,Fe,Ca,□) ₂ · [(Si,Al) ₁₃ O ₂₃ (OH ₂ O) ₆] · (OH) · 8H ₂ O	Характеристика	Хиллсхаймит (K,Ca,Ba,□) ₂ · (Mg,Fe,Ca,□) ₂ · [(Si,Al) ₁₃ O ₂₃ (OH ₂ O) ₆] · (OH) · 8H ₂ O
Формульный вес	2183.55	Дифрактометр	Xcalibur S CCD,
Температура, К	293 (2)	Интервалы сканирования	MoK _α , λ = 0.71073
Симметрия, пр. гр.	Ромбическая, <i>Rmm</i>		-8 ≤ <i>h</i> ≤ 8,
Параметры ячейки, Å	<i>a</i> = 6.979 (11) <i>b</i> = 37.1815 (18) <i>c</i> = 6.5296 (15)		-45 ≤ <i>k</i> ≤ 46,
		Общее число рефлексов	-8 ≤ <i>l</i> ≤ 8
<i>V</i> , Å ³	1694 (3)	Число независимых рефлексов	26827
<i>Z</i>	2	Независимые рефлексы [<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]	1856
ρ, г/см ³	2.140	Число уточняемых параметров	844
μ, мм ⁻¹	1.140	<i>R</i> (<i>F</i>)/[<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]/ω <i>R</i> (<i>F</i> ²)/[<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]	154
<i>F</i> (000)	1081	GoF	0.1706
Размеры кристалла, мм	0.05×0.15×0.30	Δρ _{max} /Δρ _{min} , э/Å ³	1.405
			1.795/-0.658

Таблица 5

Координаты атомов и кратности позиций (Q)
в структурной модели хиллсхаймита

Atom coordinates and multiplicities (Q) for the structure model of hillesheimite

Позиция	<i>x/a</i>	<i>y/b</i>	<i>z/c</i>	<i>Q</i>
<i>K</i>	0.25	0.34231(10)	0.0940(8)	4
<i>Mg</i>	0.25	0.5032(2)	-0.9764(12)	4
<i>T</i> (1)	0.25	0.75	0.4146(8)	2
<i>T</i> (2)	0.25	0.69929(14)	0.0427(8)	4
<i>T</i> (3)	0.25	0.56273(19)	-0.5809(9)	4
<i>T</i> (4)	0.25	0.61354(15)	0.0339(9)	4
<i>T</i> (5)	-0.0296(7)	0.56714(17)	-0.2203(8)	8
<i>T</i> (6)	-0.0208(6)	0.75	0.7929(7)	4
<i>O</i> (1)	0.0593(16)	0.7142(3)	0.9164(14)	8
<i>O</i> (2)	0.0517(15)	0.6013(3)	-0.0927(19)	8
<i>O</i> (3)	0.25	0.5244(4)	-0.696(20)	4
<i>O</i> (4)	0.25	0.5977(4)	-0.725(2)	4
<i>O</i> (5)	-0.007(2)	0.5286(4)	-0.111(2)	8
<i>O</i> (6)	0.25	0.6563(2)	0.057(3)	4
<i>O</i> (7)	0.0630(17)	0.75	0.5510(17)	4
<i>O</i> (8)	0.75	0.75	0.801(3)	2
<i>O</i> (9)	0.0617(15)	0.5640(6)	-0.4424(15)	8
<i>O</i> (10)	0.25	0.7154(4)	0.2709(18)	4
<i>O</i> (11)	0.75	0.5779(5)	-0.262(3)	4
<i>O</i> (12)	0.25	0.2919(13)	-0.292(4)	4
<i>O</i> (13)	0.25	0.3866(8)	-0.266(4)	4
<i>O</i> (14)	0.001(4)	0.6564(4)	0.551(30)	8
<i>O</i> (15)	0.25	0.4745(7)	-0.269(3)	4

Примечание. Для позиций *K* и *Mg* предложены следующие наполнения; с учетом уточненных значений электронного содержания позиций (*e*_{ref}) (20.33 ерфу для позиции *K* и 10.08 ерфу для позиции *Mg*), координационных полиэдров и межатомных расстояний. *K* — *K* с дополнительными катионами Ca, Ba, Na, вакансией и, возможно, H₂O; *Mg* — *Mg* с дополнительными катионами Fe, Ca и вакансией.

Таблица 6

Межатомные расстояния в структурной модели хиллсхаймита
Interatomic distances in the structure model of hillesheimite

K—O(13)	2.87(3)	Mg—O(3)	1.994(10)
—O(14)	2.91(2)×2	—O(5)	2.143(16)×2
—O(2)	2.972(13)×2	—O(15)	2.19(2)
—O(1)	3.012(10)×2	—O(5)	2.210(14)×2
—O(12)	3.14(4)	$\langle \text{Mg—O} \rangle$	2.15
—O(11)	3.164(8)	T(4)—O(6)	1.598(8)
$\langle \text{K—O} \rangle$	3.00	—O(4)	1.679(14)
T(1)—O(7)	1.580(12)×2	—O(2)	1.675(11)×2
—O(10)	1.594(13)×2	$\langle \text{T(4)—O} \rangle$	1.66
$\langle \text{T(1)—O} \rangle$	1.59	T(5)—O(9)	1.588(7)
T(2)—O(10)	1.605(13)	—O(5)	1.610(13)
—O(6)	1.600(8)	—O(11)	1.613(8)
—O(1)	1.661(12)×2	—O(2)	1.621(12)
$\langle \text{T(2)—O} \rangle$	1.63	$\langle \text{T(5)—O} \rangle$	1.61
T(3)—O(4)	1.607(9)	T(6)—O(8)	1.601(5)
—O(9)	1.596(8)×2	—O(1)	1.655(12)×2
—O(3)	1.611(9)	—O(7)	1.684(12)
$\langle \text{T(3)—O} \rangle$	1.60	$\langle \text{T(6)—O} \rangle$	1.65

хиллсхаймита. Основные кристаллографические характеристики хиллсхаймита и данные монокристалльного эксперимента представлены в табл. 4. Координаты атомов и параметры их тепловых смещений приведены в табл. 5, межатомные расстояния — в табл. 6.

Хиллсхаймит является представителем нового структурного типа. Основной структурной единицей у него, как и у других представителей группы гюнтерблассита (табл. 1), являются блоки, состоящие из трех тетраэдрических слоев, сформированных чередующимися четырех- и восьмичленными кольцами *T*-тетраэдров (*T* = Si, Al) (рис. 3). Внешние слои блока [*T*₄O₁₀] топологически идентичны слоям в структурах шлыковита и криптофиллита, слоистых силикатов семейства маунтинита (Zubkova et al., 2009, 2010). Каждый внешний слой близок к половине двухслойного тетраэдрического пакета в структурах представителей родезитовой меро-плезотиопной серии (Cadoni, Ferraris, 2009). Внутренний слой блока в хиллсхаймите содержит дополнительный тетраэдр и имеет состав [(Si,Al)₅O₁₁]. Размеры тетраэдров в трехслойном блоке (табл. 6) позволяют предположить вхождение дополнительных катионов Fe³⁺ и Al в позицию T(6) и Al в позицию T(4). Аналогично гюнтербласситу в структуре хиллсхаймита висячие вершины *T*-тетраэдров внешних слоев заняты статистически замещающими друг друга атомами O и OH-группами.

В структуре хиллсхаймита (рис. 4) трехслойные тетраэдрические блоки связаны между собой колонками из реберно-соединенных октаэдров, характеризующихся частичной заселенностью и заполненных катионами Mg с примесями Fe и, возможно, Ca. Свободные вершины октаэдров [позиция O(15) в табл. 5] в основном заняты OH-группами. Молекулы воды [позиции O(12), O(13) и O(14) в табл. 5] входят в координационный полиэдр позиции, заполнен-

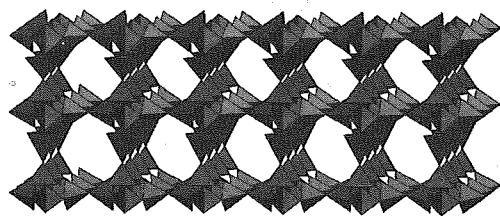


Рис. 3. Трехслойный тетраэдрический блок в структурах минералов группы гюнтерблассита.

Fig. 3. Triple-layered tetrahedral block in structures of günterblasseite-group minerals.

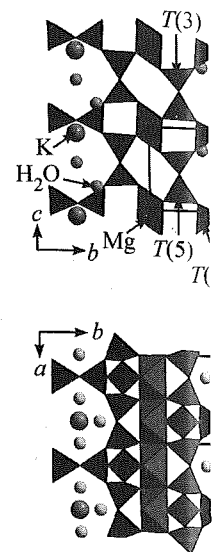


Рис. 4. Кристаллическая структура хиллсхаймита.

Fig. 4. Crystal structure of hillesheimite.

ной статистически замещающими катионами оксония (полоса при 1800 см⁻¹). Образованные группы по схеме S₂ результаты уточнения электронной плотности согласно данным по химическому составу. Вхождение катионов Ca как примеси в позицию. Вхождение Ca в октаэдрические позиции в присутствии в октаэдрических позициях группы гюнтерблассита — уместно. Вхождение маунтинита и родезита. В хиллсхаймите среднее расстояние между катионами оксония (450 см⁻¹) указывают на то, что катионы заняты в основном Mg. Таким образом, структура может быть представлена формулой (OH, O)₆[(OH, H₂O) · 8H₂O].

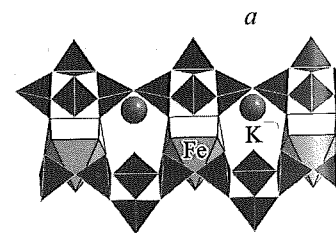


Рис. 5. Фрагмент, связывающий тройные тетраэдрические блоки (Чука).

Fig. 5. The fragment linking triple-layered tetrahedral blocks (Chukotka).

Таблица 6

или хиллессхаймита
of hillesheimite

1.994(10)
2.143(16)×2
2.19(2)
2.210(14)×2
2.15
1.598(8)
1.679(14)
1.675(11)×2
1.66
1.588(7)
1.610(13)
1.613(8)
1.621(12)
1.61
1.601(5)
1.655(12)×2
1.684(12)
1.65

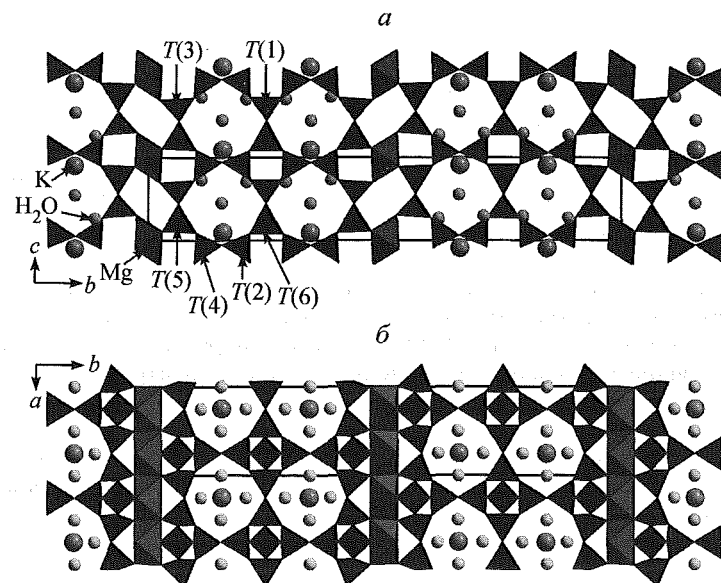
характеристики хиллессхаймита и
ы в табл. 4. Координаты атомов
л. 5, межатомные расстояния —

структурного типа. Основной
ителей группы гюнтерблассита
рических слоев, сформирован-
ьями T -тетраэдров ($T = \text{Si}, \text{Al}$)
идентичны слоям в структурах
ейства маунтинита (Zubkova et
ине двухслойного тетраэдриче-
вой меро-плезотиопной серии
лессхаймите содержит дополни-
тетраэдров в трехслойном бло-
нительных катионов Fe^{3+} и Al в
ербласситу в структуре хиллес-
ев заняты статистически заме-

тетраэдрические блоки связаны
эдров, характеризующихся час-
примесью Fe и, возможно, Ca .
5] в основном заняты OH -груп-
олекулы воды [позиции $\text{O}(12)$,
 $\text{O}(14)$ в табл. 5] входят в коорди-
ый полиэдр позиции, заполнен-

трехслойный тетраэдрический блок в
х минералов группы гюнтерблассита.

ole-layered tetrahedral block in structu-
of günterblasseite-group minerals.

Рис. 4. Кристаллическая структура хиллессхаймита в проекциях bc (а) и ab (б).Fig. 4. Crystal structure of hillesheimite in projections bc (a) and ab (b).

ной статистически замещающими друг друга катионами K , Ca , Ba и H_2O . Возможное присутствие катиона оксония предположено на основании данных ИК-спектроскопии (полоса при 1800 cm^{-1}). Образование катионов оксония возможно за счет водорода силанольных групп по схеме $\text{Si}-\text{OH}^{\text{H}} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Si}-\text{O} + \text{H}_3\text{O}^+$. Принимая во внимание результаты уточнения электронного содержания позиций крупных катионов, а также согласно данным по химическому составу хиллессхаймита, можно предположить вхождение катионов Ca как в K -позицию, так и в октаэдрическую Mg -доминантную позицию. Вхождение Ca в октаэдрическую позицию также подтверждается его присутствием в октаэдрических позициях в структурах еще одного нового представителя группы гюнтерблассита — умбрианита (Sharygin et al., в печати), а также членов семейства маунтинита и родезитовой меро-плезотиопной серии. В то же время в хиллессхаймите среднее расстояние катион—анион в октаэдре ($2.15 \text{ \AA}$) и относительно высокое значение волнового числа полосы валентных колебаний октаэдров в ИК-спектре (450 cm^{-1}) указывают на то, что октаэдрическая позиция в структуре этого минерала занята в основном Mg . Таким образом, кристаллохимическая формула хиллессхаймита может быть представлена в виде: $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{H}_3\text{O}, \square)_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca}, \square)_2[(\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe})_{13}\text{O}_{23} \cdot (\text{OH}, \text{O})_6](\text{OH}, \text{H}_2\text{O}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

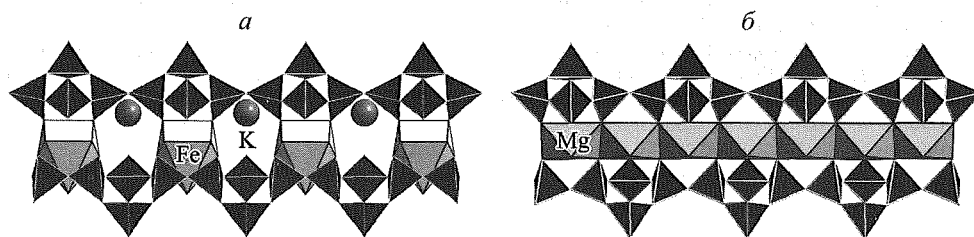


Рис. 5. Фрагмент, связывающий трехслойные тетраэдрические блоки в структурах гюнтерблассита (Чуканов и др., 2012) (а) и хиллессхаймита (б).

Fig. 5. The fragment linking triple-layered tetrahedral blocks in structures of günterblasseite (Chukanov et al., 2012) (a) and hillesheimite (b).

ОБСУЖДЕНИЕ

В структуре гюнтерблассита трехслойные пакеты связаны между собой семивершинниками, заполненными катионами Fe, Mg и Ca (Чуканов и др., 2012), а в хиллсхаймите тетраэдрические блоки связаны между собой колонками из реберно-связанных октаэдров, характеризующихся частичной заселенностью и заполненных катионами Mg с примесями Fe и, возможно, Ca. Различное строение фрагментов, связывающих тетраэдрические блоки в структурах гюнтерблассита и хиллсхаймита, показано на рис. 5. По-видимому, именно это различие приводит к более низкой симметрии гюнтерблассита ($Pm2_1n$) по сравнению с хиллсхаймитом ($Pmmn$).

Как следует из структурных данных, хиллсхаймит отличается от гюнтерблассита и более высоким содержанием H_2O . Этот вывод подтверждается тем фактом, что полосы, относящиеся к колебаниям молекул H_2O в ИК-спектре хиллсхаймита более интенсивные, чем аналогичные полосы в спектре гюнтерблассита (Чуканов и др., 2012).

Хиллсхаймит, гюнтерблассит и умбрианит (табл. 1) являются представителями нового топологического типа алюмосиликатов, структуры которых содержат трехслойный тетраэдрический пакет. Эта группа минералов наряду с их двухслойными и однослойными аналогами намечает специфические полисоматические ряды, связывающие слоистые силикаты и алюмосиликаты с каркасными. Гипотетическими «конечными членами» этих рядов являются силикаты с каркасами цеолитного типа.

По аналогии с гюнтербласситом (Чуканов и др., 2012) и трансформационным эволюционным рядом дельхайелит—фивегит—гидродельхайелит (Пеков и др., 2010), а также принимая во внимание особенности кристаллической структуры хиллсхаймита (неупорядоченность распределения крупных катионов, существенную вакансионность их позиций, высокое содержание воды и бария), можно предположить, что хиллсхаймит является трансформационным минеральным видом, образовавшимся в результате гидратации и выщелачивания значительной части щелочных катионов, кальция и, возможно, галогенов из гипотетического первичного безводного катион-насыщенного минерала типа умбрианита с сохранением исходного трехслойного алюмосиликатного пакета.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 11-05-12001-офи-м-2011, 11-05-00407-а и 11-05-91331-ННИО_а).

Список литературы

- Пеков И. В., Зубкова Н. В., Чуканов Н. В., Задов А. Е., Пуцаровский Д. Ю. Фивегит $K_4Ca_2[AlSi_7O_{17}(O_{2-x}OH_x)][(H_2O)_{2-x}OH_x]Cl$ — новый минерал из Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия) // ЗРМО. 2010. Т. 139. С. 47—62.
- Расцветаева Р. К., Аксенов С. М., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура гюнтерблассита — нового минерала с микропористым гетерополиэдрическим каркасом на основе трехслойного пакета $[Si_{13}O_{29}]$ // Докл. РАН. 2012. Т. 442. № 6. С. 766—770.
- Чуканов Н. В., Расцветаева Р. К., Аксенов С. М., Пеков И. В., Бритвин С. Н., Белаковский Д. И., Шюллер В., Тернес Б. Гюнтерблассит $(K,Ca)_3-xFe[(Si,Al)_{13}O_{25}(OH,O)_4] \cdot 7H_2O$ — новый минерал, первый филлосиликат с тройным тетраэдрическим слоем // ЗРМО. 2012. № 1. С. 71—79.
- Cadoni M., Ferraris G. Two new members of the rhodsite mero-plesiotype series close to delhayelite and hydrodelhayelite: synthesis and crystal structure // Eur. J. Miner. 2009. Vol. 21. P. 485—493.
- Ferraris G., Gula A. Polysomatic aspects of microporous minerals — heterophyllosilicates, palysepiolites and rhodsite-related structures // Rev. Miner. Geochem. 2005. Vol. 57. P. 69—104.
- Hesse K.-F., Liebau F., Merlino S. Crystal structure of rhodsite, $HK_{1-x}Na_x+2yCa_{2-y}\{1B,3,2^2_\infty\}[Si_8O_{19}] \cdot (6-z)H_2O$, from three localities and its relation to other silicates with dreier double layers // Z. Krist. 1992. Vol. 199. P. 25—48.
- Pekov I. V., Zubkova N. V., Chukanov N. V., Turchkova A. G., Filinchuk Ya. E., Pushcharovsky D. Yu. Delhayelite and mountainite mineral families: crystal chemical relationship, microporous character and genetic features / Minerals as Advanced Materials II (ed. S. V. Krivovichev). Berlin: Springer Verlag, 2011. P. 213—219.

- Sharygin V. V., Pekov I. V., Zubkova N. V. $K_7Na_2Ca_2[Al_3Si_{10}O_{29}]F_2Cl_2$, a new mineral from the Khibiny Massif, Kola Peninsula, Russia // Canad. Miner. 2010. Vol. 48. P. 1035—1042.
- Sheldrick G. M. SHELXS-97, a program for the solution of crystal structures // Acta Cryst. 1997a, Germany.
- Sheldrick G. M. SHELXL-97, a program for the refinement of crystal structures // Acta Cryst. 1997b, Germany.
- Zubkova N. V., Pekov I. V., Pushcharovsky D. Yu. Mountainite, $KNa_2Ca_2[Si_8O_{19}] \cdot 6H_2O$, a new mineral from the Khibiny Massif, Kola Peninsula, Russia // Eur. J. Miner. 2010. Vol. 22(4).

УДК 549.6 (470.54)

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ
А. Е. ЗАДОВ, **** Н. В. ЧУКАНОВ,
П. КАДЕН, *****

КАСАТКИНИТ $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$ ИЗ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СР)

* Московский государственный университет
119991 Москва
** Институт проблем химической физики
*** Institute of Condensed Matter Physics
Place Louis Pasteur, 15
**** НИИП «Технология»
***** Институт геохимии и аналитической химии
***** 456574, Челябинск
***** Karlsruhe Institute of Technology
Hermann-von-Helmholtz Institute for Materials Research
***** Karlsruhe Institute of Technology
Hermann-von-Helmholtz Institute for Materials Research

Новый минерал касаткинит $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$ из Баженовского месторождения хризмолитовых минералов. $a = 5.745(3)$, $b = 7.238(2)$, $c = 20.71(1)$ Å. $Z = 2$. $d_{111} = 0.85$ Å. $d_{112} = 0.85$ Å. $d_{113} = 0.85$ Å. $d_{114} = 0.85$ Å. $d_{115} = 0.85$ Å. $d_{116} = 0.85$ Å. $d_{117} = 0.85$ Å. $d_{118} = 0.85$ Å. $d_{119} = 0.85$ Å. $d_{120} = 0.85$ Å. $d_{121} = 0.85$ Å. $d_{122} = 0.85$ Å. $d_{123} = 0.85$ Å. $d_{124} = 0.85$ Å. $d_{125} = 0.85$ Å. $d_{126} = 0.85$ Å. $d_{127} = 0.85$ Å. $d_{128} = 0.85$ Å. $d_{129} = 0.85$ Å. $d_{130} = 0.85$ Å. $d_{131} = 0.85$ Å. $d_{132} = 0.85$ Å. $d_{133} = 0.85$ Å. $d_{134} = 0.85$ Å. $d_{135} = 0.85$ Å. $d_{136} = 0.85$ Å. $d_{137} = 0.85$ Å. $d_{138} = 0.85$ Å. $d_{139} = 0.85$ Å. $d_{140} = 0.85$ Å. $d_{141} = 0.85$ Å. $d_{142} = 0.85$ Å. $d_{143} = 0.85$ Å. $d_{144} = 0.85$ Å. $d_{145} = 0.85$ Å. $d_{146} = 0.85$ Å. $d_{147} = 0.85$ Å. $d_{148} = 0.85$ Å. $d_{149} = 0.85$ Å. $d_{150} = 0.85$ Å. $d_{151} = 0.85$ Å. $d_{152} = 0.85$ Å. $d_{153} = 0.85$ Å. $d_{154} = 0.85$ Å. $d_{155} = 0.85$ Å. $d_{156} = 0.85$ Å. $d_{157} = 0.85$ Å. $d_{158} = 0.85$ Å. $d_{159} = 0.85$ Å. $d_{160} = 0.85$ Å. $d_{161} = 0.85$ Å. $d_{162} = 0.85$ Å. $d_{163} = 0.85$ Å. $d_{164} = 0.85$ Å. $d_{165} = 0.85$ Å. $d_{166} = 0.85$ Å. $d_{167} = 0.85$ Å. $d_{168} = 0.85$ Å. $d_{169} = 0.85$ Å. $d_{170} = 0.85$ Å. $d_{171} = 0.85$ Å. $d_{172} = 0.85$ Å. $d_{173} = 0.85$ Å. $d_{174} = 0.85$ Å. $d_{175} = 0.85$ Å. $d_{176} = 0.85$ Å. $d_{177} = 0.85$ Å. $d_{178} = 0.85$ Å. $d_{179} = 0.85$ Å. $d_{180} = 0.85$ Å. $d_{181} = 0.85$ Å. $d_{182} = 0.85$ Å. $d_{183} = 0.85$ Å. $d_{184} = 0.85$ Å. $d_{185} = 0.85$ Å. $d_{186} = 0.85$ Å. $d_{187} = 0.85$ Å. $d_{188} = 0.85$ Å. $d_{189} = 0.85$ Å. $d_{190} = 0.85$ Å. $d_{191} = 0.85$ Å. $d_{192} = 0.85$ Å. $d_{193} = 0.85$ Å. $d_{194} = 0.85$ Å. $d_{195} = 0.85$ Å. $d_{196} = 0.85$ Å. $d_{197} = 0.85$ Å. $d_{198} = 0.85$ Å. $d_{199} = 0.85$ Å. $d_{200} = 0.85$ Å. $d_{201} = 0.85$ Å. $d_{202} = 0.85$ Å. $d_{203} = 0.85$ Å. $d_{204} = 0.85$ Å. $d_{205} = 0.85$ Å. $d_{206} = 0.85$ Å. $d_{207} = 0.85$ Å. $d_{208} = 0.85$ Å. $d_{209} = 0.85$ Å. $d_{210} = 0.85$ Å. $d_{211} = 0.85$ Å. $d_{212} = 0.85$ Å. $d_{213} = 0.85$ Å. $d_{214} = 0.85$ Å. $d_{215} = 0.85$ Å. $d_{216} = 0.85$ Å. $d_{217} = 0.85$ Å. $d_{218} = 0.85$ Å. $d_{219} = 0.85$ Å. $d_{220} = 0.85$ Å. $d_{221} = 0.85$ Å. $d_{222} = 0.85$ Å. $d_{223} = 0.85$ Å. $d_{224} = 0.85$ Å. $d_{225} = 0.85$ Å. $d_{226} = 0.85$ Å. $d_{227} = 0.85$ Å. $d_{228} = 0.85$ Å. $d_{229} = 0.85$ Å. $d_{230} = 0.85$ Å. $d_{231} = 0.85$ Å. $d_{232} = 0.85$ Å. $d_{233} = 0.85$ Å. $d_{234} = 0.85$ Å. $d_{235} = 0.85$ Å. $d_{236} = 0.85$ Å. $d_{237} = 0.85$ Å. $d_{238} = 0.85$ Å. $d_{239} = 0.85$ Å. $d_{240} = 0.85$ Å. $d_{241} = 0.85$ Å. $d_{242} = 0.85$ Å. $d_{243} = 0.85$ Å. $d_{244} = 0.85$ Å. $d_{245} = 0.85$ Å. $d_{246} = 0.85$ Å. $d_{247} = 0.85$ Å. $d_{248} = 0.85$ Å. $d_{249} = 0.85$ Å. $d_{250} = 0.85$ Å. $d_{251} = 0.85$ Å. $d_{252} = 0.85$ Å. $d_{253} = 0.85$ Å. $d_{254} = 0.85$ Å. $d_{255} = 0.85$ Å. $d_{256} = 0.85$ Å. $d_{257} = 0.85$ Å. $d_{258} = 0.85$ Å. $d_{259} = 0.85$ Å. $d_{260} = 0.85$ Å. $d_{261} = 0.85$ Å. $d_{262} = 0.85$ Å. $d_{263} = 0.85$ Å. $d_{264} = 0.85$ Å. $d_{265} = 0.85$ Å. $d_{266} = 0.85$ Å. $d_{267} = 0.85$ Å. $d_{268} = 0.85$ Å. $d_{269} = 0.85$ Å. $d_{270} = 0.85$ Å. $d_{271} = 0.85$ Å. $d_{272} = 0.85$ Å. $d_{273} = 0.85$ Å. $d_{274} = 0.85$ Å. $d_{275} = 0.85$ Å. $d_{276} = 0.85$ Å. $d_{277} = 0.85$ Å. $d_{278} = 0.85$ Å. $d_{279} = 0.85$ Å. $d_{280} = 0.85$ Å. $d_{281} = 0.85$ Å. $d_{282} = 0.85$ Å. $d_{283} = 0.85$ Å. $d_{284} = 0.85$ Å. $d_{285} = 0.85$ Å. $d_{286} = 0.85$ Å. $d_{287} = 0.85$ Å. $d_{288} = 0.85$ Å. $d_{289} = 0.85$ Å. $d_{290} = 0.85$ Å. $d_{291} = 0.85$ Å. $d_{292} = 0.85$ Å. $d_{293} = 0.85$ Å. $d_{294} = 0.85$ Å. $d_{295} = 0.85$ Å. $d_{296} = 0.85$ Å. $d_{297} = 0.85$ Å. $d_{298} = 0.85$ Å. $d_{299} = 0.85$ Å. $d_{300} = 0.85$ Å. $d_{301} = 0.85$ Å. $d_{302} = 0.85$ Å. $d_{303} = 0.85$ Å. $d_{304} = 0.85$ Å. $d_{305} = 0.85$ Å. $d_{306} = 0.85$ Å. $d_{307} = 0.85$ Å. $d_{308} = 0.85$ Å. $d_{309} = 0.85$ Å. $d_{310} = 0.85$ Å. $d_{311} = 0.85$ Å. $d_{312} = 0.85$ Å. $d_{313} = 0.85$ Å. $d_{314} = 0.85$ Å. $d_{315} = 0.85$ Å. $d_{316} = 0.85$ Å. $d_{317} = 0.85$ Å. $d_{318} = 0.85$ Å. $d_{319} = 0.85$ Å. $d_{320} = 0.85$ Å. $d_{321} = 0.85$ Å. $d_{322} = 0.85$ Å. $d_{323} = 0.85$ Å. $d_{324} = 0.85$ Å. $d_{325} = 0.85$ Å. $d_{326} = 0.85$ Å. $d_{327} = 0.85$ Å. $d_{328} = 0.85$ Å. $d_{329} = 0.85$ Å. $d_{330} = 0.85$ Å. $d_{331} = 0.85$ Å. $d_{332} = 0.85$ Å. $d_{333} = 0.85$ Å. $d_{334} = 0.85$ Å. $d_{335} = 0.85$ Å. $d_{336} = 0.85$ Å. $d_{337} = 0.85$ Å. $d_{338} = 0.85$ Å. $d_{339} = 0.85$ Å. $d_{340} = 0.85$ Å. $d_{341} = 0.85$ Å. $d_{342} = 0.85$ Å. $d_{343} = 0.85$ Å. $d_{344} = 0.85$ Å. $d_{345} = 0.85$ Å. $d_{346} = 0.85$ Å. $d_{347} = 0.85$ Å. $d_{348} = 0.85$ Å. $d_{349} = 0.85$ Å. $d_{350} = 0.85$ Å. $d_{351} = 0.85$ Å. $d_{352} = 0.85$ Å. $d_{353} = 0.85$ Å. $d_{354} = 0.85$ Å. $d_{355} = 0.85$ Å. $d_{356} = 0.85$ Å. $d_{357} = 0.85$ Å. $d_{358} = 0.85$ Å. $d_{359} = 0.85$ Å. $d_{360} = 0.85$ Å. $d_{361} = 0.85$ Å. $d_{362} = 0.85$ Å. $d_{363} = 0.85$ Å. $d_{364} = 0.85$ Å. $d_{365} = 0.85$ Å. $d_{366} = 0.85$ Å. $d_{367} = 0.85$ Å. $d_{368} = 0.85$ Å. $d_{369} = 0.85$ Å. $d_{370} = 0.85$ Å. $d_{371} = 0.85$ Å. $d_{372} = 0.85$ Å. $d_{373} = 0.85$ Å. $d_{374} = 0.85$ Å. $d_{375} = 0.85$ Å. $d_{376} = 0.85$ Å. $d_{377} = 0.85$ Å. $d_{378} = 0.85$ Å. $d_{379} = 0.85$ Å. $d_{380} = 0.85$ Å. $d_{381} = 0.85$ Å. $d_{382} = 0.85$ Å. $d_{383} = 0.85$ Å. $d_{384} = 0.85$ Å. $d_{385} = 0.85$ Å. $d_{386} = 0.85$ Å. $d_{387} = 0.85$ Å. $d_{388} = 0.85$ Å. $d_{389} = 0.85$ Å. $d_{390} = 0.85$ Å. $d_{391} = 0.85$ Å. $d_{392} = 0.85$ Å. $d_{393} = 0.85$ Å. $d_{394} = 0.85$ Å. $d_{395} = 0.85$ Å. $d_{396} = 0.85$ Å. $d_{397} = 0.85$ Å. $d_{398} = 0.85$ Å. $d_{399} = 0.85$ Å. $d_{400} = 0.85$ Å. $d_{401} = 0.85$ Å. $d_{402} = 0.85$ Å. $d_{403} = 0.85$ Å. $d_{404} = 0.85$ Å. $d_{405} = 0.85$ Å. $d_{406} = 0.85$ Å. $d_{407} = 0.85$ Å. $d_{408} = 0.85$ Å. $d_{409} = 0.85$ Å. $d_{410} = 0.85$ Å. $d_{411} = 0.85$ Å. $d_{412} = 0.85$ Å. $d_{413} = 0.85$ Å. $d_{414} = 0.85$ Å. $d_{415} = 0.85$ Å. $d_{416} = 0.85$ Å. $d_{417} = 0.85$ Å. $d_{418} = 0.85$ Å. $d_{419} = 0.85$ Å. $d_{420} = 0.85$ Å. $d_{421} = 0.85$ Å. $d_{422} = 0.85$ Å. $d_{423} = 0.85$ Å. $d_{424} = 0.85$ Å. $d_{425} = 0.85$ Å. $d_{426} = 0.85$ Å. $d_{427} = 0.85$ Å. $d_{428} = 0.85$ Å. $d_{429} = 0.85$ Å. $d_{430} = 0.85$ Å. $d_{431} = 0.85$ Å. $d_{432} = 0.85$ Å. $d_{433} = 0.85$ Å. $d_{434} = 0.85$ Å. $d_{435} = 0.85$ Å. $d_{436} = 0.85$ Å. $d_{437} = 0.85$ Å. $d_{438} = 0.85$ Å. $d_{439} = 0.85$ Å. $d_{440} = 0.85$ Å. $d_{441} = 0.85$ Å. $d_{442} = 0.85$ Å. $d_{443} = 0.85$ Å. $d_{444} = 0.85$ Å. $d_{445} = 0.85$ Å. $d_{446} = 0.85$ Å. $d_{447} = 0.85$ Å. $d_{448} = 0.85$ Å. $d_{449} = 0.85$ Å. $d_{450} = 0.85$ Å. $d_{451} = 0.85$ Å. $d_{452} = 0.85$ Å. $d_{453} = 0.85$ Å. $d_{454} = 0.85$ Å. $d_{455} = 0.85$ Å. $d_{456} = 0.85$ Å. $d_{457} = 0.85$ Å. $d_{458} = 0.85$ Å. $d_{459} = 0.85$ Å. $d_{460} = 0.85$ Å. $d_{461} = 0.85$ Å. $d_{462} = 0.85$ Å. $d_{463} = 0.85$ Å. $d_{464} = 0.85$ Å. $d_{465} = 0.85$ Å. $d_{466} = 0.85$ Å. $d_{467} = 0.85$ Å. $d_{468} = 0.85$ Å. $d_{469} = 0.85$ Å. $d_{470} = 0.85$ Å. $d_{471} = 0.85$ Å. $d_{472} = 0.85$ Å. $d_{473} = 0.85$ Å. $d_{474} = 0.85$ Å. $d_{475} = 0.85$ Å. $d_{476} = 0.85$ Å. $d_{477} = 0.85$ Å. $d_{478} = 0.85$ Å. $d_{479} = 0.85$ Å. $d_{480} = 0.85$ Å. $d_{481} = 0.85$ Å. $d_{482} = 0.85$ Å. $d_{483} = 0.85$ Å. $d_{484} = 0.85$ Å. $d_{485} = 0.85$ Å. $d_{486} = 0.85$ Å. $d_{487} = 0.85$ Å. $d_{488} = 0.85$ Å. $d_{489} = 0.85$ Å. $d_{490} = 0.85$ Å. $d_{491} = 0.85$ Å. $d_{492} = 0.85$ Å. $d_{493} = 0.85$ Å. $d_{494} = 0.85$ Å. $d_{495} = 0.85$ Å. $d_{496} = 0.85$ Å. $d_{497} = 0.85$ Å. $d_{498} = 0.85$ Å. $d_{499} = 0.85$ Å. $d_{500} = 0.85$ Å. $d_{501} = 0.85$ Å. $d_{502} = 0.85$ Å. $d_{503} = 0.85$ Å. $d_{504} = 0.85$ Å. $d_{505} = 0.85$ Å. $d_{506} = 0.85$ Å. $d_{507} = 0.85$ Å. $d_{508} = 0.85$ Å. $d_{509} = 0.85$ Å. $d_{510} = 0.85$ Å. $d_{511} = 0.85$ Å. $d_{512} = 0.85$ Å. $d_{513} = 0.85$ Å. $d_{514} = 0.85$ Å. $d_{515} = 0.85$ Å. $d_{516} = 0.85$ Å. $d_{517} = 0.85$ Å. $d_{518} = 0.85$ Å. $d_{519} = 0.85$ Å. $d_{520} = 0.85$ Å. $d_{521} = 0.85$ Å. $d_{522} = 0.85$ Å. $d_{523} = 0.85$ Å. $d_{524} = 0.85$ Å. $d_{525} = 0.85$ Å. $d_{526} = 0.85$ Å. $d_{527} = 0.85$ Å. $d_{528} = 0.85$ Å. $d_{529} = 0.85$ Å. $d_{530} = 0.85$ Å. $d_{531} = 0.85$ Å. $d_{532} = 0.85$ Å. $d_{533} = 0.85$ Å. $d_{534} = 0.85$ Å. $d_{535} = 0.85$ Å. $d_{536} = 0.85$ Å. $d_{537} = 0.85$ Å. $d_{538} = 0.85$ Å. $d_{539} = 0.85$ Å. $d_{540} = 0.85$ Å. $d_{541} = 0.85$ Å. $d_{542} = 0.85$ Å. $d_{543} = 0.85$ Å. $d_{544} = 0.85$ Å. $d_{545} = 0.85$ Å. $d_{546} = 0.85$ Å. $d_{547} = 0.85$ Å. $d_{548} = 0.85$ Å. $d_{549} = 0.85$ Å. $d_{550} = 0.85$ Å. $d_{551} = 0.85$ Å. $d_{552} = 0.85$ Å. $d_{553} = 0.85$ Å. $d_{554} = 0.85$ Å. $d_{555} = 0.85$ Å. $d_{556} = 0.85$ Å. $d_{557} = 0.85$ Å. $d_{558} = 0.85$ Å. $d_{559} = 0.85$ Å. $d_{560} = 0.85$ Å. $d_{561} = 0.85$ Å. $d_{562} = 0.85$ Å. $d_{563} = 0.85$ Å. $d_{564} = 0.85$ Å. $d_{565} = 0.85$ Å. $d_{566} = 0.85$ Å. $d_{567} = 0.85$ Å. $d_{568} = 0.85$ Å. $d_{569} = 0.85$ Å. $d_{570} = 0.85$ Å. $d_{571} = 0.85$ Å. $d_{572} = 0.85$ Å. $d_{573} = 0.85$ Å. $d_{574} = 0.85$ Å. $d_{575} = 0.85$ Å. $d_{576} = 0.85$ Å. $d_{577} = 0.85$ Å. $d_{578} = 0.85$ Å. $d_{579} = 0.85$ Å. $d_{580} = 0.85$ Å. $d_{581} = 0.85$ Å. $d_{582} = 0.85$ Å. $d_{583} = 0.85$ Å. $d_{584} = 0.85$ Å. $d_{585} = 0.85$ Å. $d_{586} = 0.85$ Å. $d_{587} = 0.85$ Å. $d_{588} = 0.85$ Å. $d_{589} = 0.85$ Å. $d_{590} = 0.85$ Å. $d_{591} = 0.85$ Å. $d_{592} = 0.85$ Å. $d_{593} = 0.85$ Å. $d_{594} = 0.85$ Å. $d_{595} = 0.85$ Å. $d_{596} = 0.85$ Å. $d_{597} = 0.85$ Å. $d_{598} = 0.85$ Å. $d_{599} = 0.85$ Å. $d_{600} = 0.85$ Å. $d_{601} = 0.85$ Å. $d_{602} = 0.85$ Å. $d_{603} = 0.85$ Å. $d_{604} = 0.85$ Å. $d_{605} = 0.85$ Å. $d_{606} = 0.85$ Å. $d_{607} = 0.85$ Å. $d_{608} = 0.85$ Å. $d_{609} = 0.85$ Å. $d_{610} = 0.85$ Å. $d_{611} = 0.85$ Å. $d_{612} = 0.85$ Å. $d_{613} = 0.85$ Å. $d_{614} = 0.85$ Å. $d_{615} = 0.85$ Å. $d_{616} = 0.85$ Å. $d_{617} = 0.85$ Å. $d_{618} = 0.85$ Å. $d_{619} = 0.85$ Å. $d_{620} = 0.85$ Å.

Sharygin V. V., Pekov I. V., Zubkova N. V., Khomyakov A. P., Stoppa F., Pushcharovsky D. Yu. Umbrianite, $K_7Na_2Ca_2[Al_3Si_{10}O_{29}]F_2Cl_2$, a new mineral species from melilitolite of the Pian di Celle volcano, Umbria, Italy // *Canad. Miner.*, в печати.

Sheldrick G. M. SHELXS-97, a program for the solution of crystal structures. University of Gottingen, 1997a, Germany.

Sheldrick G. M. SHELXL-97, a program for crystal structure refinement. University of Gottingen, 1997b, Germany.

Zubkova N. V., Pekov I. V., Pushcharovsky D. Yu., Chukanov N. V. The crystal structure and refined formula of mountainite, $KNa_2Ca_2[Si_8O_{19}(OH)] \cdot 6H_2O$ // *Zs. Krist.* **2009**. Vol. 224. P. 389—396.

Zubkova N. V., Filinchuk Ya. E., Pekov I. V., Pushcharovsky D. Yu., Gobechiya E. R. Crystal structures of shlykovite and cryptophyllite: comparative crystal chemistry of phyllosilicate minerals of the mountainite family // *Eur. J. Miner.* **2010**. Vol. 22(4). P. 547—555.

Поступила в редакцию
7 декабря 2011 г.

УДК 549.6 (470.54)

ЗРМО, № 3, 2012 г.
Zapiski RMO, N 3, 2012

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,* д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ,** Я. Е. ФИЛИНЧУК,***
А. Е. ЗАДОВ,**** Н. Н. КОНОНКОВА,***** С. Г. ЕПАНЧИНЦЕВ,*****
П. КАДЕН,***** А. КУТЦЕР,***** Й. ГЁТТЛИХЕР*****

КАСАТКИНИТ $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ, РОССИЯ)¹

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

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

*** Institute of Condensed Matter and Nanosciences, Universite Catholique de Louvain,
Place Louis Pasteur, B-1348, Louvain-la-Neuve, Belgium

**** НПП «Теплохим», 127238 Москва, Дмитровское шоссе, 71

***** Институт геохимии и аналитической химии, 117975, Москва, ул. Косыгина, 19

***** 456574, Челябинская обл., с. Еманжелинка, ул. Фабричная 6-2

***** Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Nuclear Waste Disposal,
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

***** Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Synchrotron Radiation,
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

Новый минерал касаткинит $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$ установлен в полостях родингитов на Баженовском месторождении хризотил-асбеста, Средний Урал, Россия. Эмпирическая формула $Na_{0.11}K_{0.18}Ba_{1.66}Ca_{7.84}B_{5.05}Al_{0.08}Si_{8.00}O_{31.80}(OH)_{3.06}F_{0.04} \cdot 6.10H_2O$. Моноклинный, $P2_1/c$, $P2/c$ или Pc , $a = 5.745(3)$, $b = 7.238(2)$, $c = 20.79(1)$ Å, $\beta = 90.82(5)^\circ$, $V = 864(1)$ Å³, $Z = 1$. Название дано в честь российского минералога-любителя и коллекционера А. В. Касаткина (р. 1970), обнаружившего минерал. Эталонный образец передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве.

Ключевые слова: касаткинит, новый минерал, боросиликат, родингит, Баженовское месторождение, Урал.

I. V. PEKOV, N. V. CHUKANOV, Ya. E. FILINCHUK, A. E. ZADOV, N. N. KONONKOVA,
S. G. EPANCHINTSEV, P. KADEN, A. KUTZER, J. GÖTTLICHER. KASATKINITE,
 $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$, A NEW MINERAL FROM BAZHENOVSKOYE DEPOSIT
(THE MIDDLE URALS, RUSSIA)

The new mineral kasatkinite, $Ba_2Ca_8B_5Si_8O_{32}(OH)_3 \cdot 6H_2O$, has been found at the Bazhenovskoe chrysotile asbestos deposit, the Middle Urals, Russia. It occurs in cavities of rhodinites, in two associati-

¹ Новый минерал касаткинит и его название одобрены Комиссией по новым минералам РМО и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА 4 июля 2011 г., IMA No. 2011-045.