

Чуканов Н. В., Моисеев М. М., Пеков И. В., Лазебник К. А., Расцветаева Р. К., Заякина Н. В., Феррарис Дж., Ивальди Г. Набалампрофиллит $\text{Ba}(\text{Na}, \text{Ba})\{\text{Na}_3\text{Ti}[\text{Ti}_2\text{O}_2\text{Si}_4\text{O}_{14}](\text{OH}, \text{F})_2\}$ — новый слоистый титаносиликат группы лампрофиллита из щелочно-ультраосновных Инагли и Ковдор, Россия // ЗВМО. 2004 а. № 1. С. 59—72.

Чуканов Н. В., Пеков И. В., Расцветаева Р. К. Кристаллохимия, свойства и синтез микропористых силикатов, содержащих переходные элементы // Усп. хим. 2004 б. Т. 73. № 3. С. 227—246.

Johnsen O., Grice J. D. The crystal chemistry of the eudialyte group // Canad. Miner. 1999. Vol. 37. P. 865—891.

Johnsen O., Ferraris G., Gault R. A., Grice J. D., Kampf A. R., Pekov I. V. The nomenclature of eudialyte-group minerals // Canad. Miner. 2003. Vol. 41. P. 785—784.

Menil F. Systematic trends of ^{57}Fe Mössbauer isomer shifts in (FeO_n) and (FeF_n) polyhedra. Evidence of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond $T-X(-\text{Fe})$ (where X is O or F and T element with a formal positive charge) // J. Phys. Chem. Solids. 1985. Vol. 46. N 7. P. 763—789.

Pol'shin E. V., Platonov A. N., Borutsky B. E., Taran M. N., Rastsvetaeva R. K. Optical and Mössbauer Study of Minerals of the Eudialyte Group // Phys. Chem. Miner. 1991. Vol. 18. P. 117—125.

Поступила в редакцию

14 мая 2005 г.

Requestors must comply with
Copyright law (Title 17 U.S. Code)

УДК 549.6

ЗРМО, № 6, 2005 г.
Zapiski RMO, N 6, 2005

© Почетный член А. П. ХОМЯКОВ, * д. члены Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, **
И. А. ЕКИМЕНКОВА, *** Р. К. РАСЦВЕТАЕВА****

ГЕОРГБАРСАНОВИТ, $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ — МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД ГРУППЫ ЭВДИАЛИТА: РЕАБИЛИТАЦИЯ БАРСАНОВИТА И НОВОЕ НАЗВАНИЕ МИНЕРАЛА¹

A. P. KHOMYAKOV, G. N. NECHELYUSTOV, I. A. EKIMENKOVA, R. K. RASTSVETAEVA.
GEORGBARSANOVITE, $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —
A MINERAL SPECIES OF THE EUDIALYTE GROUP: REVALIDATION OF BARSANOVITE
AND THE NEW NAME OF THE MINERAL

* Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
121357, Москва, ул. Вересаева, 15

** Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья,
109017, Москва, Старомонетный пер., 31

*** Московский университет, 119992, Москва, Воробьевы горы

**** Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский проспект, 59

Barsanovite, described in 1963 as a monoclinic dimorph of trigonal eudialyte, was discredited in 1969 because its assignment to the monoclinic system had been proved to be erroneous. Revision study of the barsanovite type specimen carried out with use of the X-ray single crystal analysis has shown that the mineral is the trigonal one and has a distinct combination of cations and anions that are dominant in the key sites of the crystal structure. It means that this mineral deserves to be revalidated as a separate mineral species of the eudialyte group. According to this proposal, the mineral was revalidated in 2003 by the IMA CNMMN with the new name georgbarsanovite given as before after Georg Barsanov (1907—1991), the known Russian mineralogist. Thus, the original term «barsanovite» become a synonym of georgbarsanovite. The mineral is transparent or translucent; color yellow—green; streak white; luster vitreous; Mohs' hardness 5; brittle; fracture uneven to conchoidal; no cleavage observed. $D_{\text{meas}} = 3.05(2)$, $D_{\text{calc}} = 3.11 \text{ g/cm}^3$. Optically uniaxial, negative, $N_o = 1.639(2)$, $N_e = 1.631(2)$; pleochroic: N_o green, N_e pale yellow. Trigonal, space group $R3m$, $a = 14.262(2)$, $c = 29.949(4) \text{ \AA}$, $V = 5276(2) \text{ \AA}^3$. Strongest XRD lines [d , \AA , (hkl)]: 3.202(100)(208), 2.975(98)(315), 2.857(94)(404), 3.155(71)(217), 4.304 (62)(205), 6.42(54)(104), 2.591(54)(039), 3.179(52)(306), 3.017(52)(119). Empirical formula at $\Sigma_{\text{cat}} = 53$, $Z = 3$: $(\text{Na}_{11.73} \text{K}_{0.24})_{\Sigma 11.97} (\text{Mn}_{1.19} \text{Sr}_{0.71} \text{REE}_{0.63} \text{Ca}_{0.30} \text{Y}_{0.13} \text{Ba}_{0.03})_{\Sigma 2.99} \text{Ca}_6 (\text{Fe}_{2.55} \text{Zr}_{0.23} \text{Ti}_{0.05} \text{Hf}_{0.04})_{\Sigma 2.87} \text{Zr}_3 \text{Nb}_{0.92} \text{Si}_{25.25} \text{O}_{76.48} \text{Cl}_{1.11} \text{F}_{0.61} \cdot 0.88 \text{H}_2\text{O}$ (microprobe data, H_2O by wet chemistry). Simplified formula: $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. IR spectrum is given. Crystal structure is determined, $R = 0.0365$.

¹ Рассмотрено и одобрено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 14 мая 2003 г.

История минералогии изобилует примерами того, как минералы, получившие персональные названия, впоследствии по разным причинам подвергались дискредитации и исключению из минералогического кадастра без права использования исключенных названий для наименования других минералов. Такая участь выпала, в частности, на долю минералов, названных именами Ф. Бекке, А. Г. Вернера, В. М. Гольдшмидта, Ф. Мооса, В. И. Вернадского, Д. И. Менделеева, В. А. Обручева и многих других известных ученых. Правда, как в описываемом ниже примере с барсановитом, при повторном исследовании типовых образцов в целом ряде подобных случаев удавалось доказать неправомерность дискредитации минерала и добиться его восстановления в статусе твердо установленного минерального вида.

История открытия и дискредитации барсановита. Барсановит был описан в Хибинском щелочном массиве (Кольский полуостров, Россия) как новый минеральный вид, представляющий собой моноклинный диморф тригонального эвдиалита (Дорфман и др., 1963, 1965) и назван в честь известного российского ученого-минералогa Георгия Павловича Барсанова (1907—1991).² Данные об этом минерале сразу же вошли в справочную литературу (Fleischer, 1964; Бонштедт-Кушлетская, 1965). Однако уже через несколько лет после открытия минерал был дискредитирован (Fleischer, 1969), поскольку выяснилось (Боруцкий и др., 1968), что барсановит, как и эвдиалит, обладает тригональной сингонией, т. е. его отнесение к моноклинной сингонии было ошибочным.

Рентгеноструктурный анализ (Расцветаева и др., 1990а) выявил принадлежность барсановита к той же, что и у эвдиалита, пространственной группе симметрии $R3m$, но одновременно установил в его структуре не свойственное эвдиалиту высокоупорядоченное распределение внекаркасных катионов, в частности ниобия, что объяснило появление у барсановита ярко выраженного пьезоэффекта, отсутствующего у типичного эвдиалита. Тем же анализом было установлено, что ниобий, содержащийся в барсановите в существенно повышенном количестве, целиком сосредоточен в одной из ключевых структурных позиций этого минерала и доминирует в ней над другими катионами, тогда как та же позиция в структуре эвдиалита в основном заселена атомами кремния. К сожалению, это принципиальное для индивидуализации минерального вида отличие барсановита от типичных эвдиалитов оказалось недооцененным авторами цитируемой структурной работы, в том числе ее соавтором М. Д. Дорфманом, первооткрывателем барсановита, и не было использовано ими для реабилитации дискредитированного минерала.

Было предложено рассматривать барсановит как обогащенную ниобием разновидность эвдиалита, характеризующуюся ярко выраженным пьезоэффектом. Отнесение барсановита к категории минеральных разновидностей основывалось на исповедуемой рядом исследователей (Григорьев, 1961; Поваренных, 1966, и др.) концепции, согласно которой любые члены непрерывного изоморфного ряда, включая конечные, рассматриваются как разновидности одного и того же минерального вида. Данная концепция, однако, противоречит критериям, применяемым Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) при выделении сложно-изоморфных минеральных видов (Nickel, Grice, 1999). Главный из этих критериев состоит в том, что по крайней мере одна структурная позиция в потенциально новом минерале должна быть преимущественно занята иным химическим элементом, чем в других минералах с аналогичной структурой, что и имеет место в структуре барсановита, причем не только в позиции ниобия, но также и в других позициях (см. ниже).

Реабилитация барсановита и его переименование в георгбарсановит. Неправомерность трактовки барсановита как минеральной разновидности стала особенно

² Проф. Г. П. Барсанов широко известен как минералог и историк науки, зав. кафедрой минералогии (1953—1986) и декан геологического факультета МГУ (1957—1962), директор Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана (1952—1976), вице-президент Международной минералогической ассоциации (1960—1964) (Памяти Г. П. Барсанова, 1992).

очевидной после утверждения в КНМНМ ММА открытий двух новых эвдиалитоподобных минералов — аллуайвита (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990б) и кентбруксита (Johnsen *et al.*, 1998), в индивидуализации которых решающую роль сыграл прецизионный рентгеноструктурный анализ. И хотя кентбруксит, открытый в щелочных породах Гренландии, оказался почти полным кристаллохимическим аналогом детально изученного в структурном отношении барсановита (Расцветаева и др., 1990а), наличие заключения о дискредитации барсановита (Fleischer, 1969) дало возможность датским и канадским первооткрывателям кентбруксита оставить без внимания пионерские достижения их российских коллег в изучении хибинского прототипа гренландского минерала. Это побудило авторов настоящей работы провести дополнительное исследование барсановита и предпринять усилия по восстановлению его статуса как самостоятельного минерального вида. Наши предложения по результатам доизучения минерала дважды рассматривались в КНМНМ ММА.

Первое предложение (IMA Proposal 99-C: Revalidation of barsanovite) о реабилитации барсановита в полном объеме, с сохранением первоначального названия было отклонено из-за несоответствия аргументов в пользу реабилитации минерала основному мотиву его дискредитации. Смысл данного решения Комиссии сводился к тому, что полная реабилитация была бы возможна лишь в случае доказательства того, что барсановит действительно является моноклинным. А поскольку нами была подтверждена установленная ранее (Боруцкий и др., 1968; Расцветаева и др., 1990а) ошибочность отнесения барсановита к моноклинной сингонии, сохранение за минералом прежнего названия породило бы путаницу.

Второе предложение (IMA Proposal 2003-013) о реабилитации минерального вида с закреплением за ним нового названия «**георгбарсановит**» (**georgbarsanovite**), данного в честь того же лица и образованного путем соединения имени Георгий с фамилией Г. П. Барсанова, было поддержано решением КНМНМ ММА от 14 мая 2003 г. В связи с указанным решением термин «барсановит» переведен в разряд синонимов, не рекомендуемых к употреблению. В настоящей статье прежнее название минерала используется лишь в отношении сравнительных данных, заимствованных из ранее опубликованных работ.

Условия нахождения, состав и свойства георгбарсановита. Согласно первоописанию барсановита (Дорфман и др., 1963), этот минерал был встречен в верховьях долины р. Петрелиуса (Хибинские тундры), в глыбах нефелин-полевошпатового пегматита с канкринитом, альбитом, эгирин-авгитом, щелочным амфиболом и биотитом, где он замещает эвдиалит. Вместе с эвдиалитом барсановит образует плотные, размером до 8—10 см неправильной формы полихромные агрегаты, сформировавшиеся в последовательности розовый эвдиалит → красно-бурый барсановит → желто-зеленый барсановит. Последний развивается в виде ветвящихся прожилков мощностью 1—2 см в основной матрице красно-бурого барсановита, причем между отдельными разновидностями минерала наблюдаются как постепенные, так и довольно резкие переходы.

Сопоставление результатов химических анализов, приведенных в статье М. Д. Дорфмана и соавторов (1963), показывает, что в отличие от желто-зеленого барсановита, содержащего 2.74 % Nb_2O_5 , красно-бурая разновидность заметно обеднена пятиокисью ниобия (1.67—1.75 %) и по существу является ниобийсодержащей разновидностью эвдиалита. Этот вывод был подтвержден результатами рентгеноструктурного анализа (Расцветаева и др., 1987), с учетом которых к собственно барсановиту следует относить лишь его желто-зеленую разновидность, являющуюся своеобразной тыловой фазой в реакционной серии розовый эвдиалит I → красно-бурый эвдиалит II → барсановит.

Изучение георгбарсановита проведено нами на зернах желтовато-зеленого барсановита, отделенных от типового образца этого минерала из пегматита долины р. Петрелиуса (регистрационный номер 61504, фонды Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН). Комплексом методов подтверждено соответствие изученного минерала ранее описанному барсановиту. Основные результаты выполненных

Сравнительная характеристика георгбарсановита и кентбруксита
Comparison of georgbarsanovite and kentbrooksit

Параметр	Георгбарсановит*	Кентбруксит**
Формула	$\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3 \text{Ca}_6 \text{Fe}_3^{2+} \text{Zr}_3 \text{NbSi}_{25} \text{O}_{76} \text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_{15} \text{Ca}_6 \text{Mn}_3 \text{Zr}_3 \text{NbSi}_{25} \text{O}_{73} (\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3 (\text{F}, \text{Cl})_2$
Сингония	Тригональная	Тригональная
Пространственная группа	$R\bar{3}m$	$R\bar{3}m$
a (Å)	14.262	14.1686
c (Å)	29.949	30.0847
V (Å ³)	5276	5230.3
Z	3	3
D , г/см ³	3.05	3.10
Интенсивные линии на рентгенограмме порошка d , Å (hkl)	3.202(100)(208) 2.975(98)(315) 2.857(94)(404) 3.155(71)(217) 4.304(62)(205) 6.42(54)(104) 2.591(54)(039) 3.179(52)(306) 3.017(52)(119)	2.839(100)(404) 2.961(91)(315) 11.385(43)(101) 7.088(41)(110) 3.380(37)(131) 4.295(34)(205) 5.682(30)(202) 1.770(27)(440) 3.152(25)(217)
Оптический знак	(-)	(-)
N_o	1.639	1.628
N_e	1.631	1.623
Цвет	Желто-зеленый	Желто-коричневый

Примечание. * Данные настоящей работы; ** по данным публикации (Johnsen e. a., 1998).

исследований отражены в табл. 1—3; в табл. 1 основные особенности георгбарсановита сопоставлены с таковыми для кентбруксита, являющегося одним из ближайших аналогов изученного минерала.

Георгбарсановит — прозрачный или слегка мутноватый, желтовато-зеленый минерал со стекляннным блеском. Черта белая. Хрупкий. Спайность не выражена. Излом неровный до раковистого. Твердость 5 по шкале Мооса. Плотность, определенная микрообъемным методом, равна 3.05 г/см³, вычисленная для эмпирической формулы — 3.11 г/см³. Оптически одноосный, отрицательный, в отдельных зернах аномально двuosный ($2V$ до 10—15°), $N_o = 1.639(2)$, $N_e = 1.631(2)$. Отчетливо плеохроирует по схеме $N_o > N_e$: N_o — бутылочно-зеленый, N_e — бледно-желтый. В ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Легко разлагается и желатинирует в подогретых кислотах.

Потеря массы образца, прокаленного при 500 °C в течение 1 ч, составила 1.98 %, что примерно соответствует суммарному содержанию в минерале летучих компонентов — Cl, F и H₂O. ИК-спектр георгбарсановита (рис. 1) характеризуется следующим набором полос поглощения: (см⁻¹; с, ср, сл — сильная, средняя и слабая полосы): 3545-сл, 3426-сл, 3190-сл, 2131-сл, 1667-сл, 1647-сл, 1506-сл, 1456-сл, 1427-сл, 1080-с, 1015-с, 974-с, 923-с, 739-с, 702-ср, 685-ср, 658-ср, 548-ср, 527-ср, 481-с и 453-с. Наличие полос поглощения в области 3545—3190 и 1667—1647 см⁻¹ согласуется с присутствием в минерале молекул воды, а также групп (OH)⁻ и (H₃O)⁺; полосы 1506, 1456 и 1427 см⁻¹ связаны с анионом (CO₃)²⁻, установленным в настоящее время в структурах целого ряда минералов группы эвдиалита.

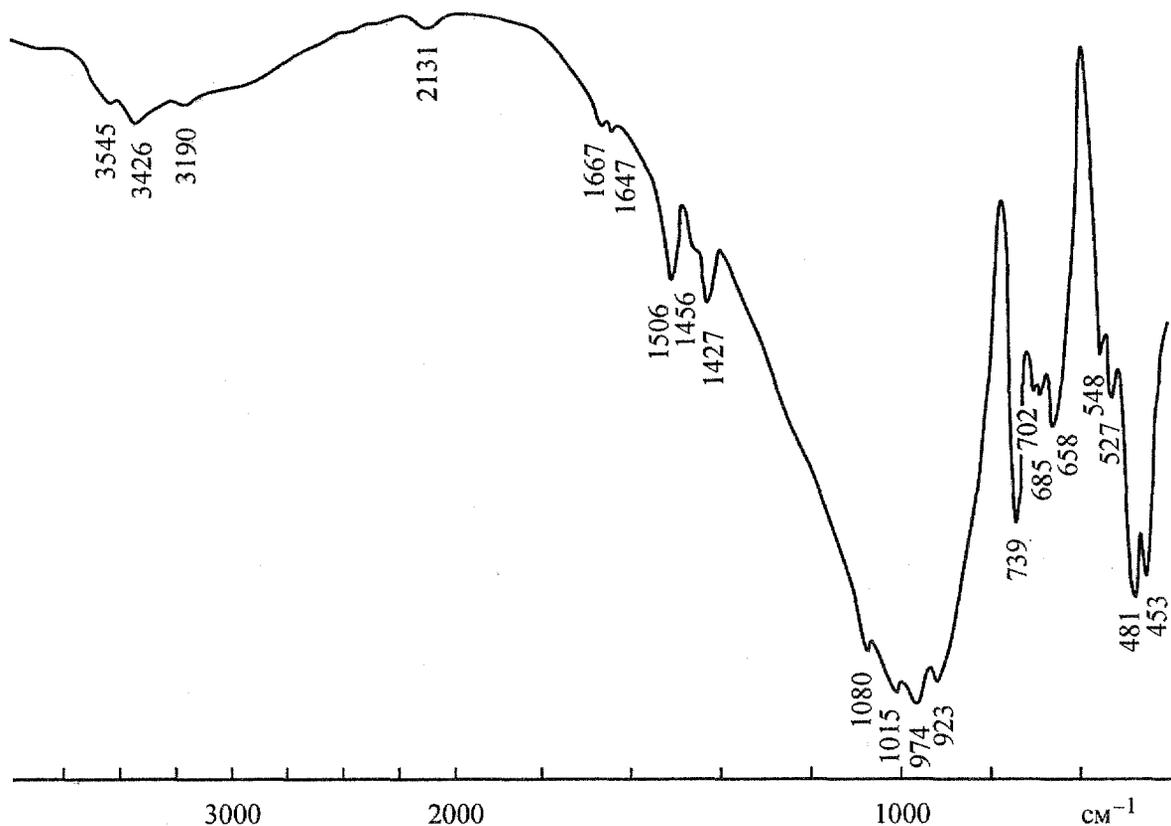


Рис. 1. ИК-спектр георгбарсановита.

Fig. 1. IR spectrum of georgbarsanovite.

Химический состав минерала (табл. 2) изучен Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Superprobe-733 с использованием следующих эталонных: чкаловит (Na), $K_2ZrSi_2O_7$ (K, Zr), диопсид (Ca, Si), $SrTiO_3$ (Sr, Ti), барит (Ba), алмадин (Fe), родонит (Mn), фосфаты индивидуальных РЗЭ (La, Ce, Nd), Y_2SiO_5 (Y), гафний металлический (Hf), $LiNbO_3$ (Nb) и хлоропатит (Cl). Эталонами на фтор служили предварительно проанализированные фторфлогопит и кентбруксит. В приводимой таблице учтены также данные мокрой химии о составе барсановита (Дорфман и др., 1963), в соответствии с которыми минерал содержит 0.48 % H_2O и характеризуется резким преобладанием закисной формы железа над окисной. Пересчет полученных результатов на $\Sigma \text{кат.} = 53$ ($Z = 3$) приводит к эмпирической формуле $(Na_{11.73}K_{0.24})_{\Sigma 11.97} (Mn_{1.19}Sr_{0.71}REE_{0.63}Ca_{0.30}Y_{0.13}Ba_{0.03})_{\Sigma 2.99}Ca_6(Fe_{2.55}Zr_{0.23}Ti_{0.05}Hf_{0.04})_{\Sigma 2.87}Zr_3Nb_{0.92}Si_{25.25}O_{76.48}Cl_{1.11}F_{0.61} \cdot 0.88H_2O$. Упрощенная формула минерала $Na_{12}(Mn, Sr, REE)_3Ca_6Fe_3Zr_3NbSi_{25}O_{76}Cl_2 \cdot H_2O$.

Рентгенографический и рентгеноструктурный анализ. Рентгенограмма порошка георгбарсановита (табл. 3) индивидуальна как по числу отражений, так и по соотношению их интенсивностей, хотя по общему характеру она подобна другим минералам группы эвдиалита. Наиболее интенсивные отражения [d , Å(D)(hkl)]: 3.202(100)(208), 2.975(98)(315), 2.857(44)(404), 3.155(71)(217), 4.304(62)(205), 6.42(54)(104), 2.591(54)(039), 3.176(51)(306), 3.017(51)(119). Вычисленные из рентгенограммы параметры элементарной ячейки (гексагональный аспект) имеют значения $a = 14.274(2)$ Å, $c = 30.02(1)$ Å, очень близкие к параметрам, полученным на основе монокристаллических данных (табл. 1). За исключением отдельных деталей, рентгенограмма порошка георгбарсановита удовлетворительно согласуется с полученной ранее для барсановита (Боруцкий и др., 1968).

Для более глубокого понимания рассматриваемых ниже структурных особенностей георгбарсановита кратко остановимся на кристаллохимической систематике ми-

Химический состав георгбарсановита (мас. %)

Chemical composition of georgbarsanovite (wt %)

Компонент	Содержание в пяти зернах		Коэффициенты атомов в формуле (Σкат. = 53)
	пределы вариаций	среднее	
Na ₂ O	10.68—11.94	11.03	11.73
K ₂ O	0.27—0.39	0.35	0.24
CaO	10.62—10.83	10.73	6.30
SrO	2.11—2.46	2.24	0.71
BaO	0.10—0.16	0.14	0.03
FeO	5.31—5.70	5.57	2.55
MnO	2.37—2.68	2.55	1.19
La ₂ O ₃	0.72—0.92	0.87	0.18
Ce ₂ O ₃	1.51—1.67	1.58	0.32
Nd ₂ O ₃	0.59—0.70	0.65	0.13
Y ₂ O ₃	0.40—0.48	0.43	0.13
ZrO ₂	11.89—12.11	12.08	3.23
HfO ₂	0.24—0.31	0.28	0.04
TiO ₂	0.07—0.14	0.11	0.05
Nb ₂ O ₅	3.60—3.80	3.72	0.92
SiO ₂	45.69—46.44	46.03	25.25
Cl	1.06—1.27	1.20	1.11
F	0.27—0.43	0.35	0.61
H ₂ O		0.48	1.76
—O=(F,Cl) ₂		0.42	
Сумма		99.97	

Примечание. Анализы выполнены на микрозонде Superprobe-733. Ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 20 нА. Содержание воды определено методом Пенфильда (Дорфман и др., 1963). Дополнительно в составе отдельных зерен установлено присутствие Al и Ta в количестве не выше 0.05—0.1 %.

нералов группы эвдиалита, разработанной одним из авторов (Khomuyakov, 2004) на основе современных представлений о конституции минералов этой группы (Johnsen, Grice, 1999; Johnsen e. a., 2003a; Хомяков, 2002; Расцветаева, Хомяков, 2003). Согласно предложенной систематике, группа эвдиалита подразделяется на шесть структурных надтипов — 12a, 12b, 12c, 24a, 24b и 24c, — выделенных по принадлежности минералов к 12-слоистой ($c \sim 30 \text{ \AA}$) или 24-слоистой ($c \sim 60 \text{ \AA}$) структурным мотивам и по сочетаниям каждого мотива с одной из трех установленных в эвдиалитах пространственных групп симметрии: $R\bar{3}m$, $R3m$ и $R3$. В этой систематике георгбарсановит занимает место в надтипе 12b, который объединяет эвдиалиты с 12-слоистым мотивом и пространственной группой $R3m$.

В обозначениях, рекомендованных Подкомитетом по эвдиалитам при КНМНМ ММА (Johnsen e. a., 2003a), состав минералов, относимых к надтипу 12b, может быть схематически описан общей формулой $[N(1)N(2)N(3)N(4)N(5)]_3M(1)_6M(2)_3M(3)M(4)Z_3[T_{24}O_{72}]O'_{4-6}X_2$, где позиции N(1)—N(5), как правило, заселены Na, некоторые из них, прежде всего наиболее изоморфноёмкая N(4), могут быть заселены также REE, Sr, Ca, Mn, K, H₃O⁺; M(1) = Ca, Mn, Sr, REE, Y, Na; M(2) = Fe²⁺, Fe³⁺, Mn, Na, H₃O⁺; M(3) = Nb, W, Ti, Mn, Si; M(4) и T = Si; Z = Zr; O' = O, OH, H₂O; X = Cl, F, H₂O, OH, CO₃. Основу цеолитоподобной структуры минералов группы эвдиалита составляет смешанный каркас $\{M(1)_6Z_3(T_3O_9)_2(T_9O_{27})_2\}^{24-}$, образованный T-, Z- и M(1)-слоями, чередующимися вдоль [001] в последовательности TZTM (рис. 2). T-слои представлены взаимно изолированными кольцами $[Si_3O_9]$ и $[Si_9O_{27}]$, Z-слои — дискретными

Результаты расчета рентгенограммы порошка георгбарсановита

X-ray powder diffraction data for georgbarsanovite

<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{расч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{расч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{расч}	<i>hkl</i>
40	11.48	11.43	101	71	3.155	3.160	217	25	2.134	2.135	3.1.11
19	10.02	10.01	003	52	3.017	3.022	119	13	2.050	2.051	247
29	9.58	9.54	012	98	2.975	2.977	315	23	1.982	1.983	428
24	7.13	7.14	110	12	2.923	2.926	128	11	1.938	1.937	339
54	6.42	6.42	104	30	2.908	2.905	226	23	1.904	1.905	606
21	6.07	6.05	021	94	2.857	2.858	404	17	1.843	1.844	2.4.10
34	5.73	5.72	202	10	2.745	2.748	045	13	1.834	1.834	4.1.12
7	5.40	5.40	015	21	2.695	2.697	410	30	1.785	1.784	440
11	5.01	5.00	006	12	2.675	2.678	137	12	1.760	1.762	0.4.14
62	4.304	4.307	205	12	2.650	2.653	324	7	1.682	1.681	446
34	4.092	4.097	116	8	2.607	2.605	413	21	1.601	1.604	4.0.16
33	3.962	3.966	214	54	2.591	2.593	039	8	1.558	1.557	630
17	3.808	3.810	303	12	2.534	2.531	318	16	1.482	1.483	5.3.11
7	3.596	3.591	018	26	2.525	2.526	2.1.10			1.483	0.7.11
36	3.577	3.568	220	13	2.500	2.502	0.0.12	13	1.428	1.429	808
40	3.518	3.524	027	10	2.465	2.464	051			1.427	550
42	3.407	3.406	131	11	2.386	2.386	048	16	1.406	1.407	185
17	3.341	3.342	312	14	2.380	2.379	330	12	1.374	1.374	900
100	3.202	3.208	208	16	2.265	2.263	238	10	1.371	1.371	817
52	3.179	3.181	306	19	2.151	2.153	4.0.10	11	1.348	1.349	820

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-3М, $\text{CuK}\alpha$ -излучение. При индексировании рефлексов использованы параметры ячейки, уточненные по рентгенограмме порошка: $a = 14.274(2)$, $c = 30.02(1)$ Å.

Zr-октаэдрами и M(1)-слои — шестичленными кольцами из кальциевых или более сложных по составу октаэдров. Цеолитную часть структуры составляют внекаркасные катионы, анионы и молекулы воды, заселяющие позиции N(1)—N(5), M(2), M(3), M(4), O' и X.

Монокристалльным рентгеноструктурным анализом (Екименкова и др., 2000) для георгбарсановита подтверждена ранее установленная в барсановите пространственная группа $R3m$ и определены следующие параметры элементарной ячейки: $a = 14.262(2)$ Å, $c = 29.949(4)$ Å, $V = 5276(2)$ Å³. Структура решена на основе массива отражений, полученного с помощью дифрактометра Syntex P2₁, и уточнена по 1135 независимым отражениям [$F_o > 3\sigma(F)$] до R -фактора 3.65 %. Выполненным анализом установлено следующее распределение атомов по ключевым катионным позициям (без учета расщеплений на подпозиции) в независимой части структуры: N(1) = Na_{3.0}, N(2) = Na_{3.0}, N(3) = Na_{3.0}, N(4) = (Mn_{1.07}Sr_{0.72}Ce_{0.47}Ca_{0.33}K_{0.25}Y_{0.13}Ba_{0.03})_{Σ3.0}, N(5) = Na_{3.0}, M(1) = Ca_{6.0}, M(2) = (Fe_{2.55}Zr_{0.27}Mn_{0.13}Ti_{0.05})_{Σ3.0}, M(3) = (Nb_{0.8}Si_{0.2})_{Σ1.0}, M(4) = Si_{1.0}, Z = Zr_{3.0}.

В соответствии с результатами рентгеноструктурного анализа упрощенная кристаллохимическая формула георгбарсановита может быть представлена в виде $[\text{Na}_{12}][\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE}, \text{Ca}, \text{K}]_3[\text{Ca}_6][\text{Fe}^{2+}, \text{Zr}, \text{Mn}]_3[\text{Zr}_3][(\text{Nb}, \text{Si})(\text{Si})][\text{Si}_{24}\text{O}_{72}](\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}_2$ ($Z = 3$). В основных чертах, как и ожидалось, эта формула повторила установленную ранее формулу барсановита (Расцветаева и др., 1990a) $[\text{Na}_{12}][\text{R}_3][\text{Ca}_6][\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}]_3[\text{Zr}_3][(\text{M})(\text{Si})][\text{Si}_{24}\text{O}_{72}](\text{O}, \text{OH})_6\text{Cl}$, где $\text{R}_3 = \text{Mn}_{1.3}\text{Ce}_{0.6}\text{Na}_{0.43}\text{Sr}_{0.33}\text{Ca}_{0.33}$ и $\text{M} = \text{Nb}_{0.67}\text{Zr}_{0.33}$. Для удобства сопоставления формул в каждой из них квадратными скобками выделены атомы ключевых фрагментов кристаллической структуры. Идеализированная формула минерала $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{REE}, \text{Sr})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ четко отличает георг-

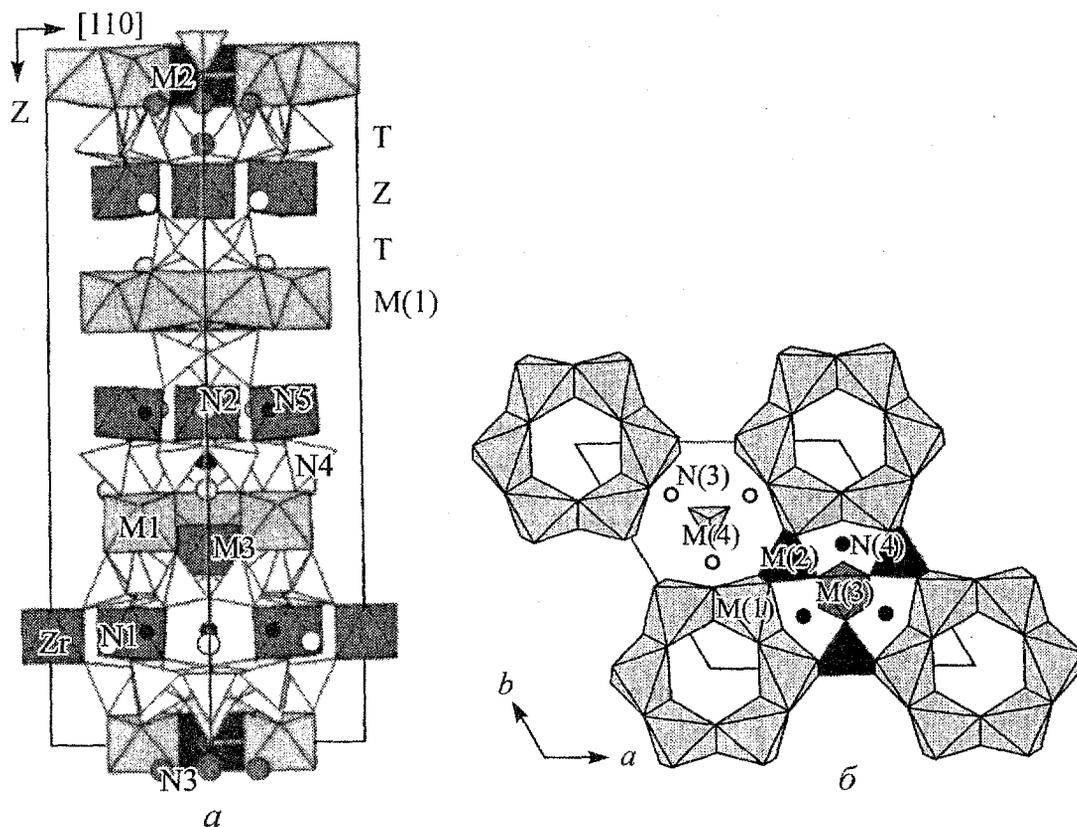


Рис. 2. 12-слойная структура минералов группы эвдиалита с симметрией $R3m$ в проекции на (110) (а) и проекция фрагмента структуры на (001) (б).

Обозначены обсуждаемые в тексте позиции и типы структурных слоев.

Fig. 2. Projection of the 12-layer structure of eudialyte-group minerals with symmetry $R3m$ onto (110) (a) and the (001) projection of the structure fragment (b). Sites and types of layers discussed in the text are marked.

барсановит от других членов группы эвдиалита, относящихся к надтипу $12b$, в частности, от кентбруксита, феррокентбруксита, цирсилита-(Ce), тасекита и ацентричного эвдиалита, каждый из которых характеризуется индивидуальной комбинацией катионов и анионов, доминирующих в ключевых позициях соответствующих структур (табл. 4). От структуры типичного эвдиалита (Гольшев и др., 1971; Расцветаева, Андрианов, 1987; Giusepetti e. a., 1971) структура георгбарсановита отличается максимальной упорядоченностью в заселении цеолитных полостей, объясняющей наличие у этого минерала ярко выраженного пьезоэффекта.

Уникальной кристаллохимической особенностью георгбарсановита, отличающей его от всех других представителей группы эвдиалита, является доминирование Mn в позиции N(4). Последняя относится к числу наиболее вариабельных в структурах минералов группы эвдиалита и обычно заселена широким набором элементов, различающихся по заряду и величине ионного радиуса, тогда как остальные четыре N-позиции, как правило, являются Na-доминантными или чисто натриевыми. Это характерно и для георгбарсановита, сравнительно обедненного в отношении атомов Na, которых хватает лишь для заполнения позиций N(1), N(2), N(3) и N(5). Позицию N(4) занимает изоморфная группа во главе с Mn, причем найденный в процессе структурного уточнения состав этой позиции $(Mn_{1.67}Sr_{0.72}Ce_{0.47}Ca_{0.33}K_{0.25}Y_{0.13}Ba_{0.03})_{23}$ хорошо соответствует средневзвешенной рассеивающей способности заселяющих ее атомов. Отметим, что на долю относительно малого по размеру ионного радиуса атома Mn, доминирующего в данной позиции, приходится лишь 35 % от общего числа атомов позиции, тогда как 65 % составляют более крупные катионы.

**Распределение «цеолитных» атомов, доминирующих
в наиболее переменных структурных позициях георгбарсановита и его аналогов**
**Distribution of «zeolitic» atoms dominating in the most variable structural sites
of georgbarsanovite and its analogues**

Название и формула минерала	Ключевые позиции			
	N(4)	M(2)	M(3)	X
Георгбарсановит $\text{Na}_{12}(\text{Mn,REE,Sr})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{76})\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn	Fe	Nb	Cl
Кентбруксит (Johnsen e. a., 1998) $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O,OH,H}_2\text{O})_3(\text{F,Cl})_2$	Na	Mn	Nb	F
Феррокентбруксит (Johnsen e. a., 2003b) $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O,OH,H}_2\text{O})_3(\text{Cl,F})_2$	Na	Fe	Nb	Cl
Цирсилит-(Ce) (Хомяков и др., 2003) $(\text{Na},\square)_{12}(\text{Ce,Na})_3\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{OH})_3(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Ce	Mn	Nb	CO_3
Тасскит (Petersen e. a., 2004) $\text{Na}_{12}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{73}(\text{O,OH,H}_2\text{O})_3\text{Cl}_2$	Sr	Fe	Nb	Cl
Ацентричный эвдиалит (Гольшев и др., 1971; Расцветасва, Андрианов, 1987) $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O,OH,H}_2\text{O})_3(\text{Cl,OH})_2$	Na	Fe	Si	Cl

Примечание. Обозначение позиций дано в соответствии с Международной номенклатурой для минералов группы эвдиалита (Johnsen e. a., 2003a).

Наши попытки разместить часть Mn в позициях M(1) и M(2) не получили структурного подтверждения, так как привели к увеличению тепловых параметров атомов в Ca-октаэдрах и Fe-полуоктаэдрах с параллельным повышением R-фактора. Примечательно, что позиция N(4) в рассматриваемой структуре представлена 11-вершинным полиэдром со средним расстоянием N(4)—O = 2.682 Å, точно таким же, как в структуре кентбруксита, где эта позиция является Na-доминантной: $(\text{Na}_{1.69}\text{REE}_{0.44}\text{Y}_{0.42}\text{K}_{0.30}\text{Sr}_{0.15})_{\Sigma 3}$ (Johnsen e. a., 1998). Размеры полиэдра рассматриваемой позиции определяются, таким образом, в основном геометрическими особенностями каркасной части структуры, что сближает минералы группы эвдиалита с обычными алюмосиликатными цеолитами, для которых типичной является несоразмерность объемов «гостевых» атомов и занимаемых ими полостей.

Заключение. Известный российский минералог, педагог и историк науки Георгий Павлович Барсанов (1907—1991), испытавший при своей жизни горечь дискредитации названного его именем эвдиалитоподобного минерала — барсановита, вряд ли мог предположить, что когда-нибудь в будущем этот минерал получит второе рождение. Но, как показало выполненное авторами исследование, это оказалось возможным.

Главной задачей настоящей работы явилось дополнительное изучение типового образца барсановита, дискредитированного в 1969 г. из-за его ошибочного отнесения к более низкой, чем у тригонального эвдиалита, моноклинной сингонии. Комплексным исследованием с использованием монокристалльного рентгеноструктурного анализа было установлено, что этот минерал обладает индивидуальной комбинацией катионов и анионов, доминирующих в ключевых позициях кристаллической структуры, и поэтому заслуживает повторного признания в качестве особого минерального вида группы эвдиалита. Однако рассмотрение в КНМНМ ММА наших предложений о реабилитации барсановита затянулось на годы. Камнем преткновения явилось то, что в своих обоснованиях мы акцентировали внимание на новых критериях самостоятельности барсановита как минерального вида, отличных от критериев, по которым он

был дискредитирован, а это, по мнению экспертов указанной комиссии, было несомненно совместимо с сохранением за минералом прежнего названия. К счастью, удачный выход из создавшегося положения все же был найден. В итоге обсуждений Комиссия по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации приняла компромиссное решение от 14 мая 2003 г. о реабилитации дискредитированного минерала с закреплением за ним нового названия «георгбарсановит», данного, как и прежнее название, в честь Г. П. Барсанова. Тем самым международное сообщество минералогов выразило признание заслугам российского ученого перед отечественной и мировой минералогией. В связи с указанным решением термин «барсановит» трансформировался с синонимом, имеющий значение лишь для анализа предыстории событий, приведших к выделению георгбарсановита в качестве твердо установленного минерального вида.

Типовой образец барсановита, в результате доизучения которого выделен георгбарсановит, находится в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, г. Москва (рег. № 61504).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 02-05-64152.

Список литературы

- Бонштедт-Куплетская Э. М.* Новые минералы. XVI // ЗВМО. 1965. № 2. С. 198.
- Боруцкий Б. Е., Органова Н. И., Рудницкая Е. С.* О месте барсановита в эвдиалит-эвколитовом изоморфном ряду // ЗВМО. 1968. Вып. 4. С. 451—460.
- Гольшиев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В.* О кристаллической структуре эвдиалита // Кристаллография. 1971. Т. 16. № 1. С. 93—98.
- Григорьев Д. П.* Что такое минерал? // ЗВМО. 1961. № 4. С. 431—437.
- Дорфман М. Д., Илюхин В. В., Бутова Т. А.* Барсановит — новый минерал // Докл. АН СССР. 1963. Т. 153. № 5. С. 1164—1167.
- Дорфман М. Д., Илюхин В. В., Бутова Т. А.* Новые данные о барсановите // Тр. Минер. музея АН СССР. 1965. Вып. 16. С. 219—224.
- Екименкова И. А., Расцветаева Р. К., Хомяков А. П.* Кристаллическая структура Fe, Cl-аналога кентбруксита // Докл. РАН. 2000. Т. 370. № 4. С. 477—480.
- Памяти Г. П. Барсанова* // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 10. С. 159—160.
- Поваренных А. С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев: Наукова думка, 1966. 547 с.
- Расцветаева Р. К., Андрианов В. И.* Новые данные о кристаллической структуре эвдиалита // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 5. С. 1122—1126.
- Расцветаева Р. К., Пуцаровский Д. Ю., Ямнова Н. А., Боруцкий Б. Е.* Кристаллическая структура «красно-бурого барсановита» и его положение в изоморфном ряду эвдиалит—эвколит—барсановит. Сравнительная кристаллохимия. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 153—160.
- Расцветаева Р. К., Разманова З. П., Боруцкий Б. Е., Дорфман М. Д.* Особенности кристаллического строения барсановита — разновидности эвдиалита // ЗВМО. 1990а. № 3. С. 65—72.
- Расцветаева Р. К., Хомяков А. П.* Кристаллохимия модулярных эвдиалитов // Кристаллография. 2003. Т. 48. № 6 (Приложение). С. S78—S90.
- Расцветаева Р. К., Хомяков А. П., Андрианов В. И., Гусев А. И.* Кристаллическая структура аллуайвита // Докл. АН СССР. 1990б. Т. 312. № 6. С. 1379—1383.
- Хомяков А. П.* «Вторая глава» в минералогии и кристаллохимии группы эвдиалита. Новые идеи и концепции в минералогии. Материалы III Международного минералогического семинара. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 19—21 июня 2002 г. С. 107—108.
- Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К.* Аллуайвит $\text{Na}_{19}(\text{Ca}, \text{Mn})_6(\text{Ti}, \text{Nb})_3\text{Si}_{26}\text{O}_{74}\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — новый титаносиликат с эвдиалитоподобной структурой // ЗВМО. 1990. № 1. С. 117—120.
- Хомяков А. П., Дусматов В. Д., Феррарис Дж., Гула А., Ивальди Г., Нечелюстов Г. Н.* Цирсилит-(Ce)(Na, □)₁₂(Ce, Na)₃Ca₆Mn₃Zr₃Nb(Si₂₅O₇₃)(OH)₃(CO₃) · H₂O и карбокентбруксит (Na, □)₁₂(Na, Ce)₃Ca₆Mn₃Zr₃Nb(Si₂₅O₇₃)(OH)₃(CO₃) · H₂O — новые минералы группы эвдиалита из щелочного массива Дара-и-пиоз, Таджикистан // ЗВМО. 2003. № 5. С. 40—51.
- Fleischer M.* New mineral names // Amer. Miner. 1964. Vol. 49. N 7—8. P. 1153—1154.
- Fleischer M.* New mineral names // Amer. Miner. 1969. Vol. 54. N 9—10. P. 1499.
- Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C.* The crystal structure of eudialyte // Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt. 1971. Bd 16. S. 105—127.

Johnsen O., Grice J. D., Gault R. A. Kentbrooks site from the Kangerdlugssuaq intrusion, East Greenland, a new Mn-REE-Nb-F end-member in a series within the eudialyte group: Description and crystal structure // *Eur. J. Miner.* 1998. Vol. 10. P. 207—219.

Johnsen O., Grice J. D. The crystal chemistry of the eudialyte group // *Canad. Miner.* 1999. Vol. 37. P. 865—891.

Johnsen O., Ferraris G., Gault R. A., Grice J. D., Kampf A. R., Pekov I. V. The nomenclature of eudialyte-group minerals // *Canad. Miner.* 2003a. Vol. 41. P. 785—794.

Johnsen O., Gault R. A., Grice J. D. Ferrokentbrooks site, a new member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec // *Canad. Miner.* 2003b. Vol. 41. P. 55—60.

Khomyskov A. P. Crystal chemical systematics of the eudialyte-group minerals // 32nd International Geological Congress, Florence, Italy, 20—28 August 2004. P. 309—310.

Nickel E. H., Grice J. D. The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: procedures and guidelines on mineral nomenclature, 1998 // *Canad. Miner.* 1998. Vol. 36. Part 3. P. 913—927; *ЗВМО.* 1999. № 2. С. 51—65.

Petersen O. V., Johnsen O., Gault R. A., Niedermayr G., Grice J. D. Taseqite, a new member of the eudialyte group from the Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland // *Neues Jahrb. Miner. Monatsh.* 2004. P. 83—96.

Поступила в редакцию
27 мая 2005 г.

УДК 549.061.240.52

ЗВМО, № 6, 2005 г.
Zapiski RMO, N 6, 2005

© Е. А. БУРКЕ, * Б. Е. ЛИК**

**«НАИМЕНОВАННЫЕ АМФИБОЛЫ»: НОВАЯ КАТЕГОРИЯ АМФИБОЛОВ,
ПРИЗНАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ
АССОЦИАЦИЕЙ (ММА), И ПРАВИЛЬНЫЙ ПОРЯДОК ПРИСТАВОК
В НАЗВАНИЯХ АМФИБОЛОВ
(CANAD. MINER. 2004. VOL. 42. P. 1881—1883)¹**

E. A. J. BURKE, B. E. LEAKE. «NAMED AMPHIBOLES»: A NEW CATEGORY
OF AMPHIBOLES RECOGNIZED BY THE INTERNATIONAL MINERALOGICAL ASSOCIATION (IMA),
AND THE PROPER ORDER OF PREFIXES TO BE USED IN AMPHIBOLE NAMES

* *Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam,*

De Boelelaan 1085, NL = 1081 HV Amsterdam,

The Netherlands E-mail address: erns.burke@falw.vu.nl

** *School of Earth, Ocean and Planetary Sciences, Cardiff University,*

PO Box 914, Cardiff CF10 3YE, Wales, UK

The IMA CNNMMN has actually recognized the new category of names — «named amphiboles» which may be published without preliminary approve, under condition that these names correspond to the amphibole nomenclature. Commonly, in those cases, there are known only chemical composition and the symmetry (monoclinic or triclinic). Those cases cannot be considered as the new amphibole species, and the IMA CNNMMN criteria to distinguish the new mineral species remain intact. Besides, there is determined, for the first time, the order to use prefixes in amphibole names — as in names of the mineral species, so for the «named amphiboles».

КНМНМ ММА в настоящее время признала новую категорию названий («наименованные амфиболы»), которые могут быть опубликованы без предварительного утверждения, при условии, что эти названия согласуются с номенклатурой амфиболов. Обычно в этих случаях известны только химический состав и симметрия (моноклинная или триклинная). Это не новые минеральные виды семейства амфиболов, а

¹ Перевод проф. В. Г. Кривовичева (кафедра минералогии СПбГУ), члена подкомиссии КНМНМ ММА по амфиболам.