

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.525:552.6

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ,* д. чл. И. В. ПЕКОВ,** Л. А. ЛЕВИЦКАЯ,*** А. Е. ЗАДОВ****

ДРОНИНОИТ, $\text{Ni}_3\text{Fe}^{3+}\text{Cl}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ ГИДРОТАЛЬКИТА ИЗ ВЫВЕТРЕЛОГО МЕТЕОРИТА ДРОНИНО¹

N. V. CHUKANOV, I. V. PEKOV, L. A. LEVITSKAYA, A. E. ZADOV. DRONINOITE, $\text{Ni}_3\text{Fe}^{3+}\text{Cl}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
A NEW HYDROTALCITE-GROUP MINERAL FROM THE WEATHERED METEORITE DRONINO

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

** Московский государственный университет, 119899, Москва, Воробьевы горы

*** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва
**** НИИ «Теплохим», 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 71

A new mineral droninoite was found in a fragment of weathered iron meteorite Dronino (dropped near Dronino village, Kasimov district, Ryazan' region, Russia), in association with taenite, violarite, troilite, chromite, goethite, lepidocrocite, nickelbischofite and X-ray amorphous Fe^{3+} hydroxides. The mineral is named for discovery locality. Droninoite is a product of terrestrial alteration of the iron meteorite. It forms dark green to brown friable, soft (earthy) aggregates, up to $0.15 \times 1 \times 1$ mm in size, consisting of minute (typically $< 1 \mu\text{m}$) individuals with Mohs' hardness 1–1.5. Calculated density is 2.857 g/cm^3 . Mean (cooperative for the fine-grained aggregate) refraction index is 1.72(1). IR spectrum indicated absence of SO_4^{2-} and CO_3^{2-} anions. Chemical composition (electron microprobe, division of total iron into Fe^{2+} and Fe^{3+} made on the base of ratio $(\text{Ni} + \text{Fe}^{2+}) : \text{Fe}^{3+} = 3 : 1$, water — by total difference) is the following: NiO 36.45, FeO 12.15, Fe_2O_3 17.55, H_2O 23.78, Cl 13.01, $-\text{O}=\text{Cl}_2$ — 2.94, total 100.00 wt.%. The empirical formula ($Z=6$) is: $\text{Ni}_{1.216}\text{Fe}_{0.75}^{2+}\text{Fe}_{0.97}^{3+}\text{Cl}_{1.62}(\text{OH})_{7.10} \cdot 2.28\text{H}_2\text{O}$. The simplified formula: $\text{Ni}_3\text{Fe}^{3+}\text{Cl}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Droninoite is trigonal, space group $R\bar{3}m$, $R3m$ or $R32$; $a = 6.206(2)$, $c = 46.184(18) \text{ \AA}$; $V = 1540.4(8) \text{ \AA}^3$. The strongest lines of the X-ray powder diffraction pattern [d , Å (I , %) (hkl)] are: $7.76(100)(006)$, $3.88(40)(0,0,12)$, $2.64(25)(202, 024)$, $2.32(20)(0,2,10)$, $1.965(0,2,16)$. There holotype specimen is deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, with registration number 3676/1.

Copied by Univ. of Old. Library

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

under S.50 of Copyright Act 1968

On - 9 JUN 2009

УДК 549.525:552.6

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, * д. чл. И. В. ПЕКОВ, ** Л. А. ЛЕВИЦКАЯ, *** А. Е. ЗАДОВ****

ДРОНИНОИТ, $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ ГИДРОТАЛЬКИТА ИЗ ВЫВЕТРЕЛОГО МЕТЕОРИТА ДРОНИНО¹

N. V. CHUKANOV, I. V. PEKOV, L. A. LEVITSKAYA, A. E. ZADOV. DRONINOITE, $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$,
A NEW HYDROTALCITE-GROUP MINERAL FROM THE WEATHERED METEORITE DRONINO

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

** Московский государственный университет, 119899, Москва, Воробьевы горы

*** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва
**** НИИ «Теплохим», 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 71

A new mineral droninoite was found in a fragment of weathered iron meteorite Dronino (dropped near Dronino village, Kasimov district, Ryazan' region, Russia), in association with taenite, violarite, troilite, chromite, goethite, lepidocrocite, nickelschiffite and X-ray amorphous Fe^{3+} hydroxides. The mineral is named for discovery locality. Droninoite is a product of terrestrial alteration of the iron meteorite. It forms dark green to brown friable, soft (earthy) aggregates, up to $0.15 \times 1 \times 1$ mm in size, consisting of minute (typically $< 1 \mu m$) individuals with Mohs' hardness 1–1.5. Calculated density is 2.857 g/cm³. Mean (cooperative for the fine-grained aggregate) refraction index is 1.72(1). IR spectrum indicated absence of SO_4^{2-} and CO_3^{2-} anions. Chemical composition (electron microprobe, division of total iron into Fe^{2+} and Fe^{3+} made on the base of ratio $(Ni + Fe^{2+}) : Fe^{3+} = 3 : 1$, water — by total difference) is the following: NiO 36.45, FeO 12.15, Fe_2O_3 17.55, H_2O 23.78, Cl 13.01, —O=Cl, — 2.94, total 100.00 wt.%. The empirical formula ($Z = 6$) is: $Ni_{2.16}Fe_{0.75}^{2+}Fe_{0.97}^{3+}Cl_{1.62}(OH)_{7.10} \cdot 2.28H_2O$. The simplified formula: $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$. Droninoite is trigonal, space group $R\bar{3}m$, $R3m$ or $R32$; $a = 6.206(2)$, $c = 46.184(18)$ Å; $V = 1540.4(8)$ Å³. The strongest lines of the X-ray powder diffraction pattern [d , Å (I , %) (hkl)] arc: 7.76(100)(006), 3.88(40)(0.0.12), 2.64(25)(202, 024), 2.32(20)(0.2.10), 1.965(0.2.16). There holotype specimen is deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, with registration number 3676/1.

ВВЕДЕНИЕ

Метеориты, в первую очередь содержащие значительные количества металлических и сульфидных фаз, сильно отличаются от земных объектов геохимически и минералогически. Это обуславливает и специфический характер продуктов их выветривания, происходящего на поверхности Земли. Особенно своеобразны минеральные парагенезисы, возникающие на ранних стадиях земного изменения высокометаллических метеоритов. Тот, кто занимается продуктами выветривания таких метеоритов, оказывается на стыке минералогии гипергенеза, геохимии космического вещества и тех разделов химии и металлургии, которые посвящены вопросам коррозии черных металлов. Это пока еще мало разработанное направление может не только расширить представления о минеральном веществе, но и дать немало нового для геохимии и генетической минералогии.

¹ Новый минерал дрониноит и его название рассмотрены Комиссией по новым минералам и названиям минералов РМО и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации 1 апреля 2008 г., IMA № 2008-003.

Очень интересным в отделе Дронино, обнаруженный в основном из низкоконтент хромита и сульфидов железа. В отдельных участках он с другими резко преобладают тр

Метеоритный дождь Дронино, уже после окончания Многочисленные обломки общая масса составляет не километров. Подавляющее ности, из ледниковых и пор ра вмещающей породы зависва. Так, фрагменты, попада ски неизменными, если не время обломки метеорита, линз, сильно выветрелые: о тами кристаллических (гёттиных оксидов и гидроксидов обнаруживают зональное с но-гидроксидной «скорлупо ты метеоритных минералов таллизировались наиболее ра сульфидных фаз — разноо ксиды железа (в том числе Дронино недавно открыт аналוג малахита и членов г хонессит, никельгексагидр нералов. Отметим, что наибо тогда как тэзит и сульфиды даже в тех образцах, где ка ксилородсодержащих фаз.

Описываемый в настоя келя и железа из группя ненных в земных условиях лучил название дрониноит им. А. Е. Ферсмана РАН в

УСЛОВИЯ
СВ

Дрониноит обнаружен ры около $12 \times 17 \times 19$ см. стой коркой гётита. Проме ксидов железа с реликтами гнезда оранжево-бурого ле ного сульфато-гидроксида зует также октаэдрически верн. Ядро сложено полим мененные первичные мин продукты изменения в зем масита: гётит, лепидокро Тэзит присутствует в виде

Очень интересным в отношении гипергенных минералов оказался железный метеорит Дронино, обнаруженный в 2000 г. в окрестностях деревни Дронино в Касимовском районе Рязанской области, Россия. Этот метеорит относится к атакситам и состоит в основном из низконикелистого камасита с подчиненными количествами тэнита, хромита и сульфидов железа и никеля (Russell et al., 2004; Grokhovsky et al., 2005). В отдельных участках он сильно обогащен сульфидами (до десятков об. %), среди которых резко преобладают троилит и виоларит.

Метеоритный дождь Дронино выпал, по приблизительной оценке, 5—8 тыс. лет назад, уже после окончания последнего периода оледенения на Русской равнине. Многочисленные обломки метеорита, весящие от нескольких граммов до 300 кг (их общая масса составляет не менее 3 т), рассеялись на площади в несколько квадратных километров. Подавляющее большинство их извлечено с глубины 0.5—1 м от поверхности, из ледниковых и постледниковых песчано-глинистых отложений. От характера вмещающей породы зависит степень гипергенного изменения метеоритного вещества. Так, фрагменты, попавшие в водоупорные глинистые слои, остались практически неизменными, если не считать пленки или тонкой корочки «ржавчины». В то же время обломки метеорита, извлеченные из водопроницаемых песчаных прослоев и линз, сильно выветрелые: они в значительной мере, а часто нацело замещены агрегатами кристаллических (гётит, гематит, акаганеит, лепидокрокит) и рентгеноаморфных оксидов и гидроксидов трехвалентного железа. Частично измененные фрагменты обнаруживают зональное строение: снаружи они покрыты толстой ржавой оксидно-гидроксидной «скорлупой», а в ядре содержат наряду с новообразованиями реликты метеоритных минералов. Для внутренних зон типичны каверны, в которых кристаллизовались наиболее ранние продукты гипергенного изменения металлических и сульфидных фаз — разнообразные сульфаты, хлориды, карбонаты, оксиды и гидроксиды железа (в том числе двухвалентного) и никеля. В этой ассоциации в метеорите Дронино недавно открыт новый минерал чукановит $Fe_2^{2+}(CO_3)(OH)_2$ — железистый аналог малахита и членов группы розазита (Pekov et al., 2007), установлены ривесит, хонессит, никельгексагидрит, никельбишофит и ряд других редких гипергенных минералов. Отметим, что наиболее неустойчив к выветриванию здесь оказался камасит, тогда как тэнит и сульфиды более стабильны и нередко наблюдаются в виде реликтов даже в тех образцах, где камасит уже практически полностью превращен в агрегаты кислородсодержащих фаз.

Описываемый в настоящей статье новый минерал, водный хлоридо-гидроксид никеля и железа из группы гидроталькита, установлен в одном из таких частично измененных в земных условиях фрагментов метеорита Дронино. По месту находки он получил название **дрониноит**. Эталонный образец передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, рег. № 3676/1.

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ, ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Дрониноит обнаружен в центральной части обломка метеорита, имевшего размеры около $12 \times 17 \times 19$ см. Снаружи обломок покрыт мономинеральной тонкозернистой коркой гётита. Промежуточная зона, в основном состоящая из оксидов и гидроксидов железа с реликтами тэнита и сульфидов, имеет плотное сложение и содержит гнезда оранжево-бурого лепидокрокита, коричневые прожилки недостаточно изученного сульфато-гидроксида группы гидроталькита и зерна магнетита. Последний образует также октаэдрические кристаллы до 0.5 мм, инкрустирующие стенки мелких каверн. Ядро сложено полиминеральным агрегатом, включающим в себя как слабо измененные первичные минералы метеорита (тэнит, виоларит, троилит, хромит), так и продукты изменения в земных условиях первичных минералов, в первую очередь камасита: гётит, лепидокрокит, никельбишофит, рентгеноаморфные гидроксиды Fe^{3+} . Тэнит присутствует в виде многочисленных пластинок размером до нескольких мил-

I

САЯ, *** А. Е. ЗАЛОВ ****

НОВЫЙ МИНЕРАЛ

А

ДРОНИНОИТ

DRONINOITE, $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$,
FROM METEORITE DRONINO

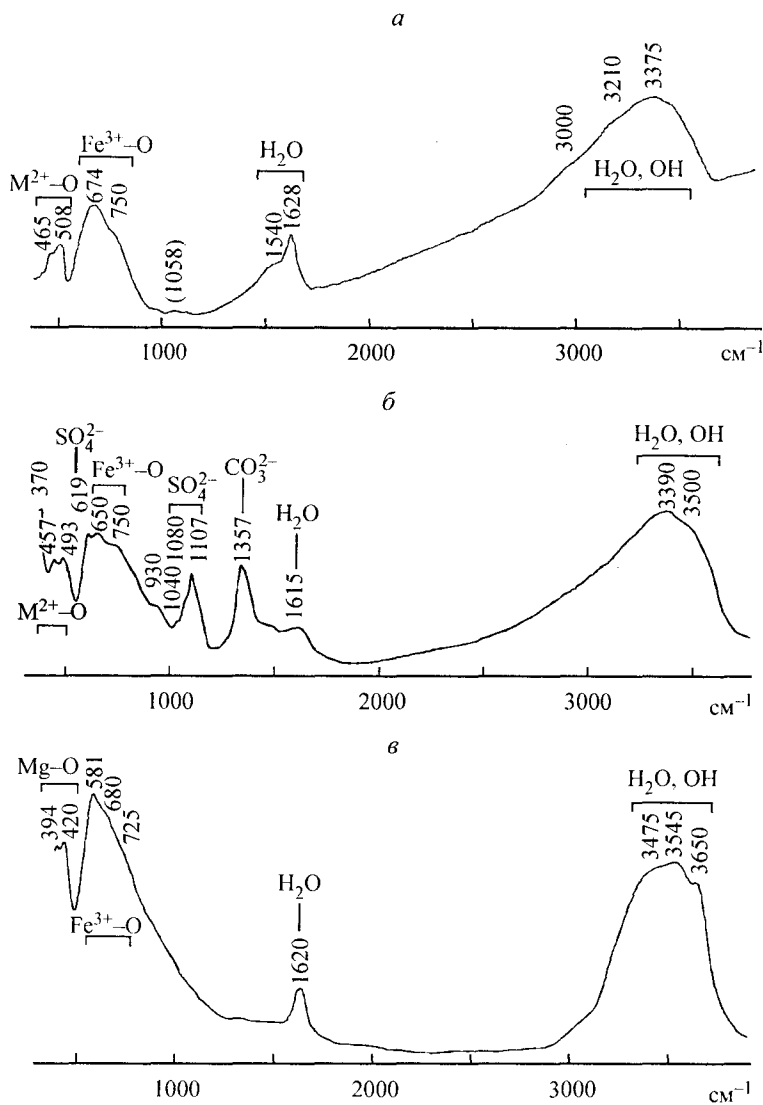
from obs., g. Chernogolovka;

from the Vorob'yevy Gory
geological and geochemistry RAS, Moscow
100000, 71

in meteorite Dronino (dropped near
the taenite, violarite, troilite, chromi-
dides. The mineral is named for dis-
c meteorite. It forms dark green to
sisting of minute (typically < 1 μm)
 cm^3 . Mean (cooperative for the fine-
ness of SO_4^{2-} and CO_3^{2-} anions. Chem-
ical Fe^{3+} made on the base of ratio
O 36.45, FeO 12.15, Fe_2O_3 17.55.
empirical formula ($Z=6$) is:
 $Ni_3(OH)_8 \cdot 2H_2O$. Droninoite is trigo-
nal, $a=1.4(8) \text{ \AA}$. The strongest lines of the
38(40)(0.0.12), 2.64(25)(202, 024),
Fersman Mineralogical Museum of

ые количества металличе-
ских объектов геохимически и ми-
нералогически. Характер продуктов их выветри-
вания разнообразны минеральные
изменения высокометалль-
ничности таких метеоритов,
космического вещества и
исследования коррозии черных
металлов может не только расширить
наши знания о новом для геохимии и ге-

по новым минералам и на-
именование, номенклатуре и классифи-
кации. Апрель 2008 г., IMA № 2008-003.



ИК-спектры дрониноита (а), SO₄-содержащего ривесита (б) и айвоайта (в).

IR spectra of droninoite (a), SO₄-bearing reevesite (б) and iowaite (в).

Химический состав:

Chemical composition	
Component	
	NiO
	FeO*
	Fe ₂ O ₃
	Cl
	H ₂ O ^{***}
	-O=Cl ₂
	Сумма

Примечание: * порогов обнаружения за на Fe²⁺ и Fe³⁺ проиг железа, в пересчете

ней части метеоритного облася лепидокрокитом.

Агрегаты нового минералтвердость их по шкале Моосмикроскопом (столь малы игруппы гидроталькита можной по (001). Излом у агрегальной плотность равна 2.85

Под микроскопом дрониИз-за малого размера монокзатель преломления минерал

Волновые числа полос Иболее сильных полос подчелентные колебания); 1628, 1:(деформационные колебания), 508, 565 (Ni—O-ИК-спектры минералов, струХарактеристические полюсьдрониноита отсутствуют в о

Химический состав дрономикроанализа на цифровоMV2300, оснащенном YAG-годисперсионным рентгенодетектором Link INCA Ene 0.5 нА и площади сканирования: повреждения неустойчивого по риментально не определялосьнение обычных методов анализено вследствие неопределенH₂ (см.: Frost et al., 2006), а твенной водой в процессе термдержания воды дано как вычлиза.

Эмпирическая формула, имеет вид: Ni_{2.16}Fe_{0.75}²⁺Fe_{0.97}³⁺С

лиметров. Реликты виоларита и троилита, достигающие 1 см, имеют неровные очертания или форму, приближающуюся к эллипсоиду. Хромит образует отдельные редкие зерна миллиметрового размера. Никельбишофит и рентгеноаморфные гидроксиды Fe³⁺ встречены в виде прожилков, гнезд, а также сферолитовых корочек, нарастающих на стенки полостей.

Тонкозернистые (размер индивидов не более 1 мкм) обособления дрониноита темно-зеленого до бурого цвета находятся в интерстициях между агрегатами тэнита, виоларита и троилита, иногда в непосредственном контакте с никельбишофитом (судя по их взаимоотношениям, не исключено замещение никельбишофита дрониноитом). Размеры мономинеральных выделений дрониноита, заключенных между пластинками тэнита, составляют около 0.15 × 1 × 1 мм. По мере приближения от ядра к внеш-

Химический состав дрониноита (среднее из 4 локальных анализов)

Chemical composition of droninoite (mean of 4 local analyses)

Компонент	Мас. %	Пределы содержания	Эталон
NiO	36.45	35.13—37.62	Ni
FeO*	12.15	27.31—29.21**	Fe
Fe ₂ O ₃	17.55		
Cl	13.01	12.50—13.40	NaCl
H ₂ O ^{***}	23.78		
-O=Cl ₂	-2.94		
Сумма	100.00		

Примечание. Содержания F, Na, Mg, P, S, K, Ca, Al, Si, Mn, Co, Cr — ниже порогов обнаружения (т. е. <0.05-0.2 % для разных элементов); * разделение железа на Fe²⁺ и Fe³⁺ произведено исходя из условия (Ni+Fe²⁺): Fe³⁺ = 3:1; ** для общего железа, в пересчете на FeO; *** вычислено по разности.

ней части метеоритного обломка дрониноит частично, а затем и полностью замещается лепидокрокитом.

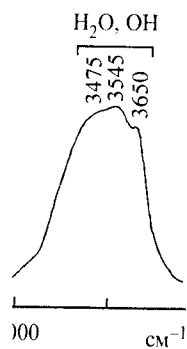
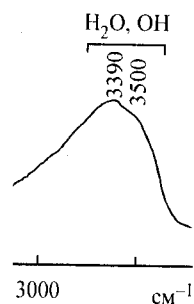
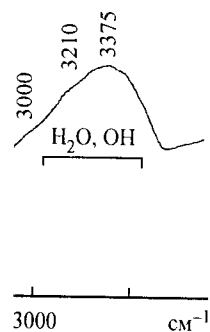
Агрегаты нового минерала землистые, мягкие (сминаются и полируются ногтем); твердость их по шкале Мооса составляет около 1—1.5. Спайность не видна даже под микроскопом (столь малы индивиды дрониноита), но по аналогии с другими членами группы гидроталькита можно предположить, что она должна быть весьма совершенной по (001). Излом у агрегатов нового минерала землистый, блеск тусклый. Вычисленная плотность равна 2.857 г/см³.

Под микроскопом дрониноит темный серо-зеленый, плеохроизм не наблюдается. Из-за малого размера монокристаллических частиц удалось измерить лишь средний показатель преломления минерала: $n_{cp} = 1.72(1)$.

Волновые числа полос ИК-спектра равны (см⁻¹, sh — плечо; волновые числа наиболее сильных полос подчеркнуты; см. рисунок): 3375s, 3210sh, 3000sh (O—H-валентные колебания); 1628, 1540sh (деформационные колебания молекул H₂O); 1058w (деформационные колебания групп Fe³⁺ ··· O—H?), 750sh, 674s (Fe³⁺—O-валентные колебания), 508, 565 (Ni—O- и Fe²⁺—O-валентные колебания). На рисунке приведены ИК-спектры минералов, структурно родственных дрониноиту — айоваита и ривесита. Характеристические полосы ионов CO₃²⁻ (диапазон 1350—1500 см⁻¹) в ИК-спектре дрониноита отсутствуют в отличие от его карбонатного аналога ривесита.

Химический состав дрониноита (табл. 1) изучен методом электронно-зондового микроанализа на цифровом сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300, оснащенный YAG-детектором вторичных и отраженных электронов и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым (Si-Li) детектором Link INCA Energy, при ускоряющем напряжении 15.7 кВ, токе зонда 0.5 нА и площади сканирования 16 × 16 мкм. Такие условия позволили избежать повреждения неустойчивого под электронным пучком минерала. Содержание воды экспериментально не определялось из-за недостатка чистого вещества. Кроме того, применение обычных методов анализа H₂O (метод Пенфилда, ТГА) в данном случае затруднено вследствие неопределенности состава летучих продуктов пиролиза H₂O, Cl₂, HCl, H₂ (см.: Frost et al., 2006), а также из-за возможности частичного окисления Fe²⁺ собственной водой в процессе термического разложения дрониноита. В силу этих причин содержание воды дано как вычисленное по дефициту суммы электронно-зондового анализа.

Эмпирическая формула, рассчитанная на сумму [(OH) + Cl + H₂O] = 11 (Z = 6), имеет вид: Ni_{2.16}Fe_{0.75}²⁺Fe_{0.97}³⁺Cl_{1.62}(OH)_{7.10} · 2.28H₂O; отношение OH/H₂O вычислено по



(б) и айоваита (в).
nd iowaite (в).

см, имеют неровные очертания, образуют отдельные редугеноаморфные гидроксиды: сферолитовых корочек,

собрания дрониноита между агрегатами тэнита, вионикельбишофитом (судя по бишофиту дрониноитом). Частичные между пластинчатые приближения от ядра к внеш-

балансу зарядов. Упрощенная формула, с учетом кристаллохимических особенностей минералов группы гидроталькита, может быть записана в виде $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$.

Корректность определений химического состава, среднего показателя преломления и плотности дрониноита подтверждается хорошей сходимостью по критерию Гладстоуна-Дейла: $1 - K_p/K_c = 0.025$ («Excellent»).

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

Субмикронные размеры индивидов дрониноита не позволили провести его монокристалльное рентгеновское исследование. Однако, исходя из порошковой рентгенограммы и стехиометрии, новый минерал может быть с уверенностью отнесен к группе гидроталькита, объединяющей ромбоэдрические (идеальная симметрия $R\bar{3}m$, параметры элементарной ячейки $a \approx 6.1-6.2$, $c \approx 45-47$ Å) водные гидроксиды с дополнительными анионами, в основе слоистой структуры которых лежат бруситоподобные пакеты.

Порошковая рентгенограмма дрониноита, полученная фотометодом в камере РКУ диаметром 114.6 мм ($Fe_{K\alpha}$ -излучение, Мп-фильтр), приведена в табл. 2. Индексирование ее рефлексов выполнено по аналогии с гидроталькитом $Mg_6Al_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$. Заключение об изоструктурности дрониноита гидроталькиту сделано исходя из близких значений интенсивности большинства рефлексов порошковой рентгенограммы нового минерала, в первую очередь серии 001 (табл. 2), и теоретической рентгенограммы гидроталькита, вычисленной из структурных данных (база данных JCPDS-ICDD, карточка 89-0460). В то же время дрониноит сильно отличается по значениям интенсивности главных рефлексов порошковой рентгенограммы от членов группы манассеита — гексагональных аналогов ($R\bar{6}_3/mmc$, $a \approx 6.1-6.2$, $c \approx 15-16$ Å) минералов группы гидроталькита.

Все отражения полученной нами порошковой рентгенограммы дрониноита формально могут быть проиндексированы в малой элементарной ячейке с той же ромбоэдрической ($R\bar{3}m$) симметрией и параметрами $a = 3.103(1)$, $c = 23.092(9)$ Å. Однако нам представляется, что это лишь подъячейка: используя ее, мы получаем дробное значение $Z = 3/4$ даже для «сокращенной» формулы $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$. Принимая это во внимание, мы выбрали для дрониноита элементарную ячейку гидроталькитового типа. Ее параметры, рассчитанные из порошковой рентгенограммы, следующие: $a = 6.206(2)$, $c = 46.184(18)$ Å, $V = 1540.4(8)$ Å³, $Z = 6$. Возможные для нового минерала пространственные группы: $R\bar{3}m$, $R3m$ или $R32$.

Отметим, что все синтетические соединения, близкородственные дрониноиту (см. ниже), рассматриваются авторами их описаний как представители структурного типа пирроаурита (т. е. гидроталькита), но не манассеита.

Таблица 2

Результаты расчета порошковой рентгенограммы дрониноита

X-ray powder diffraction data for droninoite

$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl	$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl
100	7.76	7.697	006	5	1.756	1.751	2.0.20
40	3.88	3.849	0.0.12	5	1.652	1.654	0.2.22
25	2.64	2.669, 2.617	202, 024	10	1.546	1.551	220
5	2.58	2.566	0.0.18	10	1.536	1.539	0.0.30
<5	2.46	2.436	208	5	1.442	1.439	2.2.12
20	2.32	2.323	0.2.10	10b	1.337	1.341, 1.335, 1.328	042, 404, 2.2.18
<5	2.08	2.084	2.0.14	10b	1.289	1.290, 1.283	4.0.10, 0.0.36
15	1.965	1.967	0.2.16	10b	1.216	1.218, 1.212	4.0.16, 0.2.34

Примечание. b — уширенные рефлексы.

Структурно родственные с общей формулой $(Ni^{2+}, Fe^{2+})_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$ («зеленая патина») (Briemann, Fechter, 1994; Chaves, 1967; De Waal, Viljoen, 1971; 1959; Bish, Livingstone, 1981) минералы известны природные аналоги (Bourrié, 2006; Trolard et al., 1967; De Waal, Viljoen, 1971; 1959; Bish, Livingstone, 1981) ман, Donnay, 1969; Braithwaite относящиеся к группам гидроталькитового типа, описан под названием $4Fe^{2+}(OH)_2 \cdot Fe^{3+}OCl \cdot 4H_2O$, на (1996).

Синтетические фазы, близкие к нему (идентичны), так называемые «green rust». В частности, см.

Сравнительные данные

Comparative data for

Свойство	Дрониноит
Формула	$Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$
Симметрия, пространственная группа	Тригональный $R\bar{3}m$ или $R32$
$a, \text{Å}$	6.206
$c, \text{Å}$	46.184
Z	6
Сильные линии порошковой рентгенограммы: $d, \text{Å} (I, \%)$	7.76(100), 3.88(40), 2.64(25), 2.32(20), 1.965(15)
Волновые числа сильных полос ИК-спектра, cm^{-1}	3375, 1628, 674, 508
Оптические данные	$n = 1.72$ (среднее значение агрегата)
Плотность, g/cm^3	2.857 (вычисл.)
Ссылка	Настоящая работа

лохимических особенностей в виде $Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$. Низкого показателя преломления сходимостью по критерию

позволили провести его монография из порошковой рентгенографии отнесен к группе с высокой симметрией $R\bar{3}m$, паразодные гидроксиды с доплатных лежат бруситоподоб-

ем в камере РКУ диаметром 1.2. Индексирование ее рефлексов $(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$. Заключение исходя из близких значений интенсивности главных рефлексов — гексагональных аналогов гидроталькита.

онинита формально могут с той же ромбоэдрической $23.092(9) \text{ \AA}$. Однако нам удалось получить дробное значение $(OH)_8 \cdot 2H_2O$. Принимая это значение ячейку гидроталькитового типа, следующие: $a = 6.206(2)$, $c = 24.113$ \AA , $Z = 6$.

родственные дрониниту (см. Таблица 2) гавители структурного типа

Таблица 2

Дронинит	
$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$	hkl
51	2.0.20
54	0.2.22
51	220
39	0.0.30
39	2.2.12
11, 1.335, 1.328	042, 404, 2.2.18
30, 1.283	4.0.10, 0.0.36
18, 1.212	4.0.16, 0.2.34

Структурно родственные пирроауриту синтетические и техногенные соединения с общей формулой $(Ni^{2+}, Fe^{2+}, Mg)_6Fe_2^{3+} [SO_4, CO_3, Cl_2(OH)_2](OH)_{16} \cdot nH_2O$ широко известны и неоднократно описывались в литературе под собирательным названием «green rust» («зеленая патина») (Brindley, Bish, 1976; Refait, Génin, 1992, 1993, 1997; Schwertmann, Fechter, 1994; Chaves, 2005; Chaves et al., 2007). Для некоторых из этих соединений известны природные аналоги, а именно: фоггерит $Fe_6^{2+} Fe_2^{3+} (OH)_{18} \cdot nH_2O$ (Trolard, Bourrié, 2006; Trolard et al., 2007), ривесит $Ni_6Fe_2^{3+} (CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ (White et al., 1967; De Waal, Viljoen, 1971; Taylor, 1973), хонессит $Ni_6(SO_4)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ (Heyl et al., 1959; Bish, Livingstone, 1981), айоваит $Mg_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$ (Kohls, Rodda, 1967; Allmann, Donnay, 1969; Braithwaite et al., 1994) и некоторые другие минералы, в основном относящиеся к группам гидроталькита и манассеита (табл. 3). Тригональный хлоргидроксид Fe^{2+} и Fe^{3+} техногенного происхождения, дающий рентгенограмму пирроауритового типа, описан под названием «хлоросидерит», с идеализированной формулой $4Fe^{2+}(OH)_2 \cdot Fe^{3+}OCl \cdot 4H_2O$, на горелом терриконе в Копейске, Урал (Чесноков и др., 1996).

Синтетические фазы, близкородственные дрониниту (а некоторые из них, возможно, ему идентичны), также фигурируют в литературе как одна из разновидностей «green rust». В частности, соединения с общей формулой $Ni_{3-x}Fe_x^{3+}Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot nH_2O$

Таблица 3

Сравнительные данные для дронинита и близкородственных ему минералов группы гидроталькита

Comparative data for droninoite and close related hydrotalcite-group minerals

Свойство	Дронинит	Ривесит	Хонессит	Айоваит
Формула	$Ni_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$	$Ni_6Fe_2^{3+}(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$	$Ni_6Fe_2^{3+}(SO_4)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$	$Mg_3Fe^{3+}Cl(OH)_8 \cdot 2H_2O$
Симметрия, пространственная группа	Тригональный $R\bar{3}m$, $R\bar{3}m$ или $R32$	Тригональный $R\bar{3}m$	Тригональный Не опр.	Тригональный $R\bar{3}m$
$a, \text{ \AA}$	6.206	6.15—6.164	3.083	3.118
$c, \text{ \AA}$	46.184	45.54—45.61	26.71	24.113
Z	6	3	Не опр.	3/4 (? — прим. авт.)
Сильные линии порошковой рентгенограммы: $d, \text{ \AA} (I, \%)$	7.76(100), 3.88(40), 2.64(25), 2.32(20), 1.965(15)	7.63(100), 3.80(73), 2.60(81), 2.30(61), 1.946(48), 1.508(34), 1.537(33)	8.84(100), 4.43(40), 2.65(10), 2.62(20), 2.39(10), 1.54(15)	8.109(100), 4.047(40), 2.639(17), 2.363(27), 2.019(23), 1.530(13), 1.560(8)
Волновые числа сильных полос ИК-спектра, см^{-1}	3375, 1628, 674, 508	3300—3450, 1355—1365, 620—750, 450—510	3300—3400, 1080—1110, 600—750, 440—510	3300—3450, 1610—1630, 570—600, 390—450
Оптические данные	$n = 1.72$ (среднее для агрегата)	Одноосный (-); $\omega = 1.72—1.735$ $\epsilon = 1.63—1.65$	$n = 1.615$ (среднее для агрегата)	Одноосный (-); $\omega = 1.543—1.561$ $\epsilon = 1.533—1.543$
Плотность, г/см^3	2.857 (выч.)	2.78—2.87 (выч.) 2.80—2.88 (изм.)	Не опр.	2.04 (выч.) 2.09 (изм.)
Ссылка	Настоящая работа	White et al., 1967; De Waal, Viljoen, 1971; Taylor, 1973; данные авторов	Heyl et al., 1959; Bish, Livingstone, 1981; данные авторов	Kohls, Rodda, 1967; Allmann, Donnay, 1969; Braithwaite et al., 1994; данные авторов

($0 \leq x \leq 3$) и структурой пирроауритового (гидроталькиитового) типа были синтезированы в результате окисления на воздухе гидроксидов Ni(II)—Fe(II), осажденных из водных растворов хлоридов Ni(II) и Fe(II) при различных значениях Fe/Ni-отношения (Refait, Génin, 1997): $\text{NiCl}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow (\text{Fe,Ni})(\text{OH})_2 \downarrow + \text{NaCl} \rightarrow (+\text{O}_2) \rightarrow \text{Ni}_{3-x}^{2+}\text{Fe}_x^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Cl}(\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Как было показано с помощью методов спектрального анализа (ICP/AES), мессбауровской спектроскопии и рентгенографии, при соотношении Fe/Ni в растворе $\geq 1/3$ образуется чистый хлоридо-гидроксид с устойчивым стехиометрическим соотношением $\text{Fe}^{3+} : (\text{Fe}^{2+} + \text{Ni}) = 1 : 3$ (Refait, Génin, 1997). Эта эмпирическая закономерность была использована нами для обоснования способа разделения железа в составе дрониноита на Fe^{2+} и Fe^{3+} .

При относительно низкой активности хлора, соответствующей общей начальной концентрации в растворе $\text{NiCl}_2 + \text{FeCl}_2$ 0,23 моль/л, соотношение Cl : ($\text{Fe}_{\text{общ}} + \text{Ni}$) в образующейся «зеленой патине» пирроауритового типа близко к 1 : 4. Однако при более высокой активности Cl это соотношение может достигать 1 : 2 (см. Refait, Génin, 1993).

На более глубокой стадии окисления (Fe²⁺,Ni)-содержащей «зеленой патины» образуется смесь лепидокрокита и/или рентгеноаморфных гидроксидов Fe³⁺ и Ni (Refait, Génin, 1997). В связи с этим интересно отметить, что лепидокрокит, развивающийся по дрониноиту, находится в тесной ассоциации с рентгеноаморфным гидроксидом железа, содержащим примесь никеля.

Экспериментальные данные по синтезу «зеленой патины» и характер взаимоотношений Fe²⁺-содержащего никельбишофита с более поздним дрониноитом позволяют с большой степенью вероятности предполагать, что последний мог образовываться за счет первого.

Вопрос об источнике хлора, входящего в состав гипергенных минералов метеорита Дронино, остается открытым. По данным ряда авторов (Farrington, 1903; Heide, 1934; Boddhue, 1940; Кринов, 1955; Mason, 1967; Vdovykin, 1973; Hoffer, 1974), главным концентратом хлора в железных метеоритах является лавренсит (Fe,Ni)Cl₂, причем данные изотопного анализа хлора (Goel, 1964) свидетельствуют о первично-космическом происхождении этого минерала. В присутствии воды лавренсит неустойчив и легко может переходить в кислородные соединения Fe и Ni. С другой стороны, некоторыми исследователями (Buchwald, 1977; Buchwald, Koch, 1995) существование лавренсита как первичного минерала метеоритов вообще подвергается сомнению, а неоднократные находки в выветрелых железных метеоритах хиббингита Fe₂(OH)₃Cl (он обнаружен нами и в Дронино) связываются с привнесением хлора уже в земных условиях. Мы допускаем возможным как метеоритный, так и земной источник хлора для гипергенных минералов из Дронино.

Минералы-хлориды никеля (никельбишофит, дрониноит) известны пока лишь в единственном фрагменте метеорита Дронино, причем лишь в его центральной части. В промежуточной зоне этого же фрагмента, где сульфиды в большей степени подвергались окислению, а также в других обломках этого метеорита при выветривании произошло разделение никеля и хлора: первый концентрируется в низкохлорных разновидностях ривесита и хонессита, а второй — в составе практически чисто железистого хиббингита. Высказывалось предположение (Miyata, 1983) о том, что двухвалентные дополнительные анионы обладают по сравнению с одновалентными более сильным химическим сродством к фазам типа пирроаурита. По-видимому, образованию дрониноита способствует низкая локальная активность сульфат-ионов вследствие того, что ассоциирующие с ним сульфиды подверглись окислению в незначительной степени в отличие от промежуточной зоны, где вместо дрониноита образовался его высокосульфатный аналог — хонессит.

В заключение сделаем ремарку классификационного характера, касающуюся групп гидроталькита и манессита. В них объединяются соответственно тригональные (ромбоэдрические) и гексагональные минералы со слонстыми структурами одинаковой топологии и общей формулы $A_6^{2+}M_2^{3+}(\text{OH})_6X \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, где $A = \text{Mg}, \text{Ni}, \text{Fe}$,

$M = \text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Co}, X = \text{CC}$ ва, относящиеся к разным группам (например, гидроталькит и манессит) соответствуют современному определению отношения OH/X, составляющих структурных единиц минералогических классов. Члены этих групп отнесены к гидроталькитам, Cl-содержащие (айсбергит, гидроталькит) — к гидроталькитам. Представляются так и с кристаллохимически и структурно родственными минералами: $A : M : (\text{OH}) : X : \text{H}_2\text{O}$ — лавренсит, шиганит, маунткейтит и др.

Авторы благодарны Д. В. Мухоморову за помощь в работе и гранта Фонда содействия

- Кринов Е. Л. Основы метеоритологии // Кринов Е. Л., Чесноков Б. В., Рочев А. В., Буланов В. В. Угольного бассейна (сообщение докторов наук) // *Allmann R., Donnay J. D. H. Abstr. Geol. Soc. London*. 1994. Vol. 58. P. 79—85.
- Bish L. D., Libvingstone A. The sulphate analogues of reevesite // *Meteoritics*. 1994. Vol. 48. P. 561.
- Braithwaite R. S. W., Dunn P. J. 1994. Vol. 58. P. 79—85.
- Brindley G. W., Bish D. L. Green rust // *Mineralogical Magazine*. 1974. P. 453—491.
- Buchwald V. F., Koch C. B. Hiba and ancient iron objects // *Meteoritics*. 2005. Vol. 9. No. 1. P. 1—10.
- Chaves L. H. G. The role of green rust in the formation of iron-rich minerals // *Meteoritics*. 2005. Vol. 9. No. 1. P. 11—20.
- Chaves L. H. G., Curry J. E., St. Pierre J. R. Iron-rich minerals synthesized by precipitation // *Meteoritics*. 1994. P. 813—818.
- De Waal S. A., Viljoen E. A. Ni-bearing hydroxide minerals in the hydrothermal group // *Amer. Mineralogist*. 1993. Vol. 15. P. 71—72.
- Frost R., Bouzaid J., Musumeci G. Chlorine-36 production in hydrothermalite iowaite // *J. Therm. Anal. Calor.* 1993. P. 1163.
- Grokhovskiy V. I., Ustyugov V. I. Iron-rich minerals in the shower in Russia // *Lunar and Planetary Science*. 1967. P. 1001.
- Heide F. Kleine Meteoritenkur // *Meteoritics*. 1940. Vol. 44. P. 995—1000.
- Heyl A. V., Milton C., Axelrod P. R. 1959. Vol. 44. P. 995—1000.
- Hoffer F. B. Meteorites of Virginia // *Meteoritics*. 1973. Vol. 47. P. 1001—1002.
- Kohls D. W., Rodda J. L. Iowaite, a new mineral from the cambrian of Iowa // *Amer. Mineralogist*. 1967. Vol. 52. P. 1001—1002.
- Mason B. Extraterrestrial minerals // *Meteoritics*. 1967. Vol. 41. P. 1001—1002.

юго) типа были синтезированы Ni(II)—Fe(II) , осаждаемых в значительных Fe/Ni -отношениях $(\text{OH})_2 \downarrow + \text{NaCl} \rightarrow (+\text{O}_2) \rightarrow$

анализа (ICP/AES), мессбаумовского спектра Fe/Ni в растворе $\geq 1/3$ иономерическим соотношением Fe/Ni — закономерность изменения железа в составе дронинита

в зависимости от соотношения $\text{Cl} : (\text{Fe}_{\text{общ}} + \text{Ni})$ в области $1 : 4$. Однако при более низком соотношении $1 : 2$ (см. Refait, Génin,

и др.) «зеленой патины» оксидов Fe^{3+} и Ni (Refait, Докрокит, развивающийся на аморфном гидроксидом

и характер взаимотношения дронинита позволяют с уверенностью предполагать, что они могли образовываться за

счет окисления железных минералов метеоритов (Farrington, 1903; Heide, 1973; Hoffer, 1974), главным образом лавренсита $(\text{Fe,Ni})\text{Cl}_2$, свидетельствуют о первичности воды лавренсита неустойчивости Fe и Ni . С другой стороны (Koch, 1995) существование гидроксидов вообще подвергается сомнению в метеоритах хиббингита с привнесением хлора уже в земной среде, так и земной источник

известны пока лишь в его центральной части в большей степени подтеорита при выветривании образуется в низкокислотных разрабатываемых железных руд практически чисто железистых (1983) о том, что двухвалентный с одновалентными более а. По-видимому, образование сульфат-ионов вследствие окисления в незначительной степени дронинита образовался

о характера, касающуюся соответственно тригональными структурами Mg , Ni , Fe , $4\text{H}_2\text{O}$, где $A = \text{Mg}$, Ni , Fe ,

$M = \text{Al}$, Fe , Cr , Mn , Co , $X = \text{CO}_3$, SO_4 , Cl_2 , $(\text{OH})_2$, причем минералы идентичного состава, относящиеся к разным группам и традиционно рассматриваемые как полиморфы (например, гидротальцит и манассеит, имеющие состав $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}(\text{CO}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, отвечают современному определению политипов. Несмотря на очень высокое значение отношения OH/X , составляющее 8 для одновалентных X -анионов и 16 для двухвалентных, и отчетливое структурное родство с бруситом $\text{Mg}(\text{OH})_2$, во многих современных минералогических классификациях наиболее многочисленные CO_3 -содержащие члены этих групп отнесены к классу карбонатов, SO_4 -содержащие (хонессит) — к сульфатам, Cl -содержащие (айовант, вудалит) — к хлоридам, а фоггерит с $X = (\text{OH})_2$ — к гидроксидам. Представляется наиболее более обоснованным как с химической, так и с кристаллохимической точки зрения относить все эти минералы [а также химически и структурно родственные им, но обладающие иными соотношениями $A : M : (\text{OH}) : X : \text{H}_2\text{O}$ — колингит, хлормагальминит, гидрохонессит, вермландит, шигаит, маунткейтит и ряд других] к гидроксидам с дополнительными X -анионами.

Авторы благодарны Д. В. Качалину и Д. Н. Ермолаеву за образцы, предоставленные для изучения. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-05-64024-а) и гранта Фонда содействия отечественной науке (И. В. П.).

Список литературы

- Кринов Е. Л. Основы метеоритики. М.: Гостехиздат, 1955. 392 с.
- Чесноков Б. В., Рочев А. В., Баженова Л. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение девятое) // Уральский минер. сборник. 1996. № 6. С. 3—25.
- Allmann R., Donnay J. D. H. About the structure of iowaite // Amer. Miner. 1969. Vol. 54. P. 296—299.
- Bish L. D., Libvingstone A. The crystal chemistry and paragenesis of honessite and hydrohonessite: the sulphate analogues of reevesite // Miner. Mag. 1981. Vol. 44. P. 339—343.
- Boddhue J. D. An analysis of lawrencite in the Mount Elden, Arizona, Meteorite // Popular Astronomy. 1940. Vol. 48. P. 561.
- Braithwaite R. S. W., Dunn P. J., Pritchard R. G., Paar W. H. Iowaite, a re-investigation // Miner. Mag. 1994. Vol. 58. P. 79—85.
- Brindley G. W., Bish D. L. Green rust: a pyroaurite type structure // Nature. 1976. Vol. 263. P. 353.
- Buchwald V. F. The mineralogy of iron meteorites // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1977. Vol. 286. P. 453—491.
- Buchwald V. F., Koch C. B. Hibbingite (beta- $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$), a chlorite-rich corrosion product in meteorites and ancient iron objects // Meteoritics. 1995. Vol. 30. N 5. P. 493—503.
- Chaves L. H. G. The role of green rust in the environment: a review // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2005. Vol. 9. N 2. P. 284—288.
- Chaves L. H. G., Curry J. E., Stone D. A., Chorover J. Fate of nickel ion in (II—III) hydroxysulphate green rust synthesized by precipitation and coprecipitation // Revista Brasileira Ci. Solo. 2007. Vol. 31. P. 813—818.
- De Waal S. A., Viljoen E. A. Nickel minerals from Barberton, South Africa: IV. Reevesite, a member of the hydrotalcite group // Amer. Miner. 1971. Vol. 56. P. 1077—1081.
- Farrington O. C. An occurrence of free phosphorus in the Saline Township meteorite // Amer. J. Sci. 1903. Vol. 15. P. 71—72.
- Frost R., Bouzaid J., Musumeci A., Klopogge J., Martens W. Thermal decomposition of the synthetic hydrotalcite iowaite // J. Therm. Analysis and Calorimetry. 2006. Vol. 86. P. 437—441.
- Goel P. S. Chlorine-36 produced by neutron capture in meteorites // Nature. 1964. Vol. 203. P. 1162—1163.
- Grokhovsky V. I., Ustyugov V. F., Badyukov D. D., Nazarov M. A. Dronino: an ancient iron meteorite shower in Russia // Lunar and Planetary Science. 2005. Vol. 36. P. 1692—1693.
- Heide F. Kleine Meteoritenkunde. Berlin: Springer, 1934.
- Heyl A. V., Milton C., Axelrod J. M. Nickel minerals from near Linden, Iowa County, Wisconsin // Amer. Miner. 1959. Vol. 44. P. 995—1009.
- Hoffer F. B. Meteorites of Virginia // Virginia minerals. 1974. Vol. 20. N 3. P. 17—28.
- Kohls D. W., Rodda J. L. Iowaite, a new hydrous magnesium hydroxide—ferric oxychloride from the Precambrian of Iowa // Amer. Miner. 1967. Vol. 52. P. 1261—1271.
- Mason B. Extraterrestrial mineralogy // Amer. Miner. 1967. Vol. 52. P. 307—326.

Miyata S. Anion-exchange properties of hydrotalcite-like compounds // *Clays and Clay Miner.* 1983. Vol. 31. P. 305—311.

Pekov I. V., Perchiazzi N., Merlino S., Kalachev V. N., Merlin M., Zadov A. E. Chukanovite, $Fe_2(CO_3)(OH)_2$, a new mineral from the weathered iron meteorite Dronino // *Eur. J. Miner.* 2007. Vol. 19. P. 891—898.

Refait Ph., Génin J.-M. R. The structure of Ni(II)—Fe(III) hydroxychloride green rusts by Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction // *Hyperfine Interactions.* 1992. Vol. 69. P. 827—830.

Refait Ph., Génin J.-M. R. The oxidation of Ni(II)—Fe(II) hydroxides in chloride-containing aqueous media // *Corros. Sci.* 1993. Vol. 34. P. 2059—2070.

Refait Ph., Génin J.-M. R. Mechanisms of oxidation of Ni(II)—Fe(II) hydroxides in chloride-containing aqueous media: role of the pyroaurite-type Ni-Fe hydroxychloride // *Clay Minerals.* 1997. Vol. 32. P. 597—613.

Russell S. S., Folco L., Grady M. M., Zolensky M. E., Jones R., Righter K., Zipfel J., Grossman J. N. // *The Meteoritical Bulletin*, N 88, 2004 July, *Meteoritics & Planetary Science.* 2004. Vol. 39 (supplement).

Schwertmann U., Fechter H. The formation of green rust and its transformation to lepidocrocite // *Clay Minerals.* 1994. Vol. 29. P. 87—92.

Taylor H. F. W. Crystal structures of some double hydroxide minerals // *Mineral. Mag.* 1973. Vol. 39. P. 377—389.

Trollard F., Bourrié G. Structure of fougérite and green rusts and a thermodynamic model for their stabilities // *J. Geochem. Explor.* 2006. Vol. 88. N 1—3. P. 249—251.

Trollard F., Bourrié G., Abdelmoula M., Refait P., Feder F. Fougérite, a new mineral of the pyroaurite-iowaite group: description and crystal structure // *Clays and clay minerals.* 2007. Vol. 55. P. 323—334.

Vdovykin G. P. The Canyon Diablo meteorite // *Space Science Reviews.* 1973. Vol. 14. N 6. P. 758—831.

White J. S., Jr., Henderson E. P., Mason B. Secondary minerals produced by weathering of the Wolf Creek meteorite // *Amer. Miner.* 1967. Vol. 52. P. 1190—1197.

Поступила в редакцию
27 мая 2008 г.

УДК 550.04 : 553.251 + 552.18

ЗРМО, № 6, 2008 г.
Zapiski RMO, N 6, 2008

© А. Е. ЗАДОВ,* В. М. ГАЗЕЕВ,** д. чл. Н. Н. ПЕРЦЕВ,** А. Г. ГУРБАНОВ,**
Е. Р. ГОБЕЧИЯ,*** д. чл. Н. А. ЯМНОВА,*** д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ****

КАЛЬЦИООЛИВИН γ - Ca_2SiO_4 : СТАРЫЙ И НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД¹

A. E. ZADOV, V. M. GAZEYEV, N. N. PERTSEV, A. G. GURBANOV, E. R. GOBECHIYA, N. A. YAMNOVA,
N. V. CHUKANOV. CALCIOOLIVINE γ - Ca_2SiO_4 — AN OLD AND NEW MINERAL SPECIES

* ООО «НПП Теплохим», 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 71; e-mail: {aezadov@ya.ru}

** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., 35; e-mail: <pertsev@igem.ru>

*** Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119992, Москва, Воробьевы горы

**** Институт проблем химической физики РАН, 142432, Черноголовка, Московская область

Calcioolivine is considered in the MDI database as the «grandfathered» mineral. Its history, together with related artificial compounds, is extremely complex: different minerals and compounds got this name, as well as the natural orthorhombic Ca orthosilicate has different names. The paper contains the very first description of crystal structure and properties of the natural calcioolivine. The mineral occurs in the Mountain Lakargi (Verkhnechegem Highland, the Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria republic, Russia). It has been found in skarnized (originally carbonate) xenoliths in the Middle-Late Pliocene acid ignimbrites of Verkhnechegemskaya caldera. Those xenoliths (from several centimeters up to several meters in size) are located closely to volcanic vent. Calcioolivine forms mostly rims around relics of larnite, and occurs as relic grains among crystal of spurrite, rondonite, wadalite or secondary minerals — hillebrandite, afwillite, thaumasite and ettringite. Hillebrandite is the

¹ Минерал и его название рассмотрены КНМ РМО 17 января 2007 г., утверждены КНМНК ММА 10 августа 2007 г.

main product of calcioolivine alteration. Associated minerals are spurrite, larnite, lakargiite ($CaZrOS$), members of calcioolivine was produced in interaction of eruption events. This name — «calcioolivine» (N 07-B).

Кальциооливин находится в базе данных (Grandfathered minerals), но название через утверждение Международной минералогической ассоциации, хотя и не имеющих достаточных оснований для названия минерального вида. С известными минералами ясности названия «lime-olivine» (англ. термин кальциооливин) не использовались для γ - Ca_2SiO_4 , а также примечания (Clark, 1993) или к оливину названия давались существовать. Характеристика природного γ -кальциооливина. Цель нашего исследования — обоснование необходимости признать новую форму Ca_2SiO_4 . Международная минералогическая ассоциация (CNMNM) 6 сентября 2007 г. признала кальциооливин, закрепив название в образце, хранящемся в г. Москве за № 3546/1

Ле-Шателье в 1882 г. впервые описал (Bridge, 1966). А. Дэй и Х. О'Даниел обозначив их как α и β , отмечая структурное сходство γ - Ca_2SiO_4 с кальциооливином. Ранее С. П. Брэнфорд был близок к α - Ca_2SiO_4 в том, что в настоящее время выделены и охарактеризованы термически устойчивые α -получения.

Название «Kalk-Olivin» введено в 1906 г. кальцием оливины из «палеогеного» (Paul, 1906) описал неизвестный автор, считав его формулу из анализа Ca_2SiO_4 , и опубликовал свои данные о минерале. Н. Боуэн (Bowen, 1906) и отныне называют этот минерал Ф. После того как он ознакомился с описанием, убедившись, что это действительно кальциооливин. В то же время А. Н. и Г. Вин