

Рожденный вулканом: новый минерал хреновит

доктор геолого-минералогических наук Р.К.Расцветаева

Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН (Москва, Россия); e-mail: rast.crys@gmail.com; rascrystal.ru

Кадастр минеральных видов насчитывает около 6 тыс. представителей, и каждый год он пополняется в среднем на 50–60 новых минералов. Среди их открывателей — и российские ученые. Наиболее перспективны для открытия новых минералов на территории России — Хибинский и Ловозерский массивы Кольского п-ова, а также Камчатские вулканические регионы. В данной статье рассказывается о недавнем открытии нового минерала хреновита $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$ — арсенатного представителя группы аллюодита из фумаролы Толбачинского вулкана.

Ключевые слова: арсенаты, хреновит, новый минерал, группа аллюодита, кристаллическая структура, фумарола, Толбачик, Камчатка.

Хреновит — новый представитель класса арсенатов — найден в ассоциации с сульфатами группы афтиталита на Камчатке, в районе фумаролы Арсенатная Толбачинского вулкана. Минерал назван в честь русского вулканолога и геолога Анатолия Петровича Хренова (1946–2016) из Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, который внес большой вклад в изучение вулканов Камчатки, в том числе Толбачика.

Хреновит найден в виде прозрачных призматических кристаллов размером $0.2 \times 0.3 \times 0.8$ мм и их кластеров размером до 1 мм в поперечнике, окрашенных в медовый, красно-оранжевый или желтовато-коричневый цвет [1]. Состав минерала сложный и содержит в пересчете на 12 атомов кислорода следующие элементы: $(\text{Na}_{2.26}\text{K}_{0.16}\text{Ca}_{0.02}\text{Mn}_{0.35}\text{Cu}_{0.33}\text{Zn}_{0.15}\text{Al}_{0.02}\text{Fe}_{1.62})_{\Sigma 4.91}(\text{As}_{2.98}\text{Si}_{0.01}\text{V}_{0.01})_{\Sigma 3}$. Без учета примесных атомов формула выглядит значительно проще: $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$.

Фумарола Арсенатная изучалась российскими учеными на протяжении нескольких лет [2–4]. В результате было открыто 20 новых содержащих мышьяк минералов, среди которых несколько (как и хреновит) названы в честь российских ученых: козыревскит $\text{Cu}_4\text{O}(\text{AsO}_4)_2$, поповит $\text{Cu}_5\text{O}_2(\text{AsO}_4)_2$, щуровскиит $\text{K}_2\text{CaCu}_6\text{O}_2(\text{AsO}_4)_4$, дмисоколовскит $\text{K}_3\text{Cu}_5\text{AlO}_2(\text{AsO}_4)_4$, анатолиит $\text{Na}_6(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe}^{3+})_3\text{Al}(\text{AsO}_4)_6$, зубковаит $\text{Ca}_3\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4$ и бадаловит $\text{NaNaMg}(\text{MgFe}^{3+})(\text{AsO}_4)_3$. Эти минералы различаются не только химическим составом, но и структурными типами. Хреновит первоначально был исследован как «unnamed $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$ » [3], а позже

Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА) утвердила его уже в качестве нового минерального вида (IMA 2017–105) [1]. Образец минерала хранится в Минералогическом музее имени А.Е.Ферсмана РАН в Москве под номером 96190.

Хреновит — моноклинный, с пространственной группой $C2/c$ и параметрами ячейки: $a = 12.2394(7)$ Å, $b = 12.7967(5)$ Å, $c = 6.6589(4)$ Å, $\beta = 112.953(7)^\circ$, $V = 960.37(10)$ Å³. Он изоструктурен с минералами группы аллюодита (аллуаудита) [5, 6]. Основу его каркаса образуют зигзагообразные ленты реберносвязанных октаэдров. Октаэдры $M1$ больше по размеру (среднее $M1-O = 2.263$ Å) и заняты атомами Na с примесью Mn и Zn, а меньший октаэдр $M2$ (среднее $M2-O = 2.042$ Å) заселен Fe^{3+} с примесью Cu^{2+} (рис.1). Ленты соединены тетраэдрами $T1$ в гетерополиэдрические слои, перпендикулярные [001]. $T2$ -тетраэдры объединяют их в каркас, обобщая три свои вершины с октаэдрами одной ленты и одну вершину с октаэдрами соседней. Оба T -тетраэдра заняты As^{5+} с примесью V и атомов Si. Каркас пронизан каналами, идущими вдоль третьего направления [001]. Каналы первого типа более узкие и заняты октаэдрами со средними расстояниями $A1-O = 2.411$ Å, а в каналах второго типа располагаются восьмивершинники с $A2-O = 2.744$ Å. Оба полиэдра заняты атомами Na с примесью Mn и K в $A1$ и $A2$ соответственно.

Хреновит отличается от минералов группы аллюодита тем, что в его составе Na преобладает в $M1$ -позиции, а трехвалентные катионы — в $M2$ -позиции,

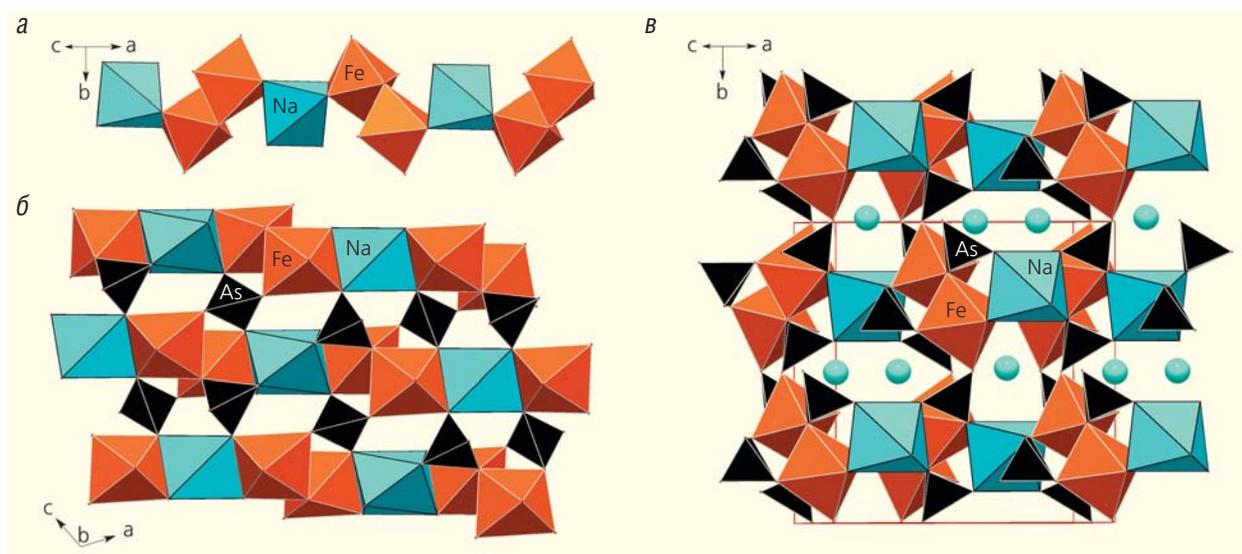


Рис.1. Лента из реберносвязанных октаэдров Na и Fe (а), слой из лент реберносвязанных октаэдров Na и Fe, которые соединены (As,O)-тетраэдрами (б) и каркас из Na- и Fe-октаэдров и (As,O)-тетраэдров, в каналах которого располагаются атомы Na (в).

в то время как в арсенатах и фосфатах группы аллюодита в *M1* больше двухвалентных катионов, а в *M2* — двух- или трехвалентных. Кристаллохимическое сходство с хреновитом наблюдается лишь в синтетическом мышьяковом соединении

$\text{Na}_3\text{In}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$ [7]. Синтезировать же соединение состава $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$ не удастся. Возможно, что в природных условиях структуру хреновита стабилизирует присутствие примесных двухвалентных катионов в *M*- и/или в *A*-позициях. ■

Литература / References

1. Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I. et al. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. XVIII. Khrenovite, $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$, the sodium-richest alluaudite-supergroup member. *Mineralogical Magazine*. 2022; 86: 1–17. DOI:10.1180/mgm.2022.64.
2. Pekov I.V., Zubkova N.V., Yapaskurt V.O. et al. New arsenate minerals from the Arsenatnaya fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. I. Yurmarinite, $\text{Na}_7(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Cu})_4(\text{AsO}_4)_6$. *Mineralogical Magazine*. 2014; 78: 905–917.
3. Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V. et al. Fumarolic arsenates — a special type of arsenic mineralization. *European Journal of Mineralogy*. 2018; 30: 305–322.
4. Shchipalkina N.V., Pekov I.V., Koshlyakova N.N. et al. Unusual silicate mineralization in fumarolic sublimates of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia — Part 1: Neso-, cyclo-, ino- and phyllosilicates. *European Journal of Mineralogy*. 2020; 32: 101–119.
5. Moore P.B. Crystal chemistry of the alluaudite structure type: contribution to the paragenesis of pegmatite phosphate giant crystals. *Amer. Miner.* 1971; 56: 1955–1975.
6. Tait K.T., Hawthorne F.C., Halden N.M. Alluaudite — group phosphate and arsenate minerals. *Canad. Miner.* 2021; 59(1): 243–263.
7. Khorari S., Rulmont A., Tarte P. Alluaudite-like structure of the arsenate $\text{Na}_3\text{In}_2(\text{AsO}_4)_3$. *Journal of Solid State Chemistry*. 1997; 134(1): 31–37.

Born by Volcano: New Mineral Khrenovite

R.K.Rastsvetaeva

Shubnikov Institute of Crystallography, Federal Scientific Research Centre “Crystallography and Photonics”, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

List of minerals recognized by the International Mineralogical Association contains about 6000 mineral species and each year it is upsized by 50–60 new minerals. Russian scientists are also among the discoverers of these new species. The most perspective for the new mineral discovery on the Russian territory are the Khibiny Mountains and Lovozero Massif of the Kola Peninsula as well as Kamchatka volcanic region. This article reports on recent discovery of khrenovite $\text{Na}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{AsO}_4)_3$, a new arsenate member of alluaudite group from fumarole of Tolbachik volcano.

Keywords: arsenate, khrenovite, new mineral, alluaudite group, crystal structure, fumarole, Tolbachik volcano, Kamchatka.