

Родом из Чили: открытие трех новых минералов

доктор геолого-минералогических наук Р.К.Расцветоваева

Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН (Москва, Россия)

e-mail: rast.crys@gmail.com

Открытие новых минеральных видов — одна из важнейших задач минералогии. Для ее решения необходимо не только найти минерал, но и всесторонне его исследовать. И главными характеристиками, определяющими его новизну, служат химический состав и расположение атомов в структуре. Особенности химического состава могут быть основанием для утверждения минерала Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК) даже тогда, когда он относится к известному структурному типу, как магнезиовольтаит и мёнит в данной работе. И большая удача, если структура минерала уникальна, как в риотинтоите. В статье описывается открытие трех новых минералов из Чили.

Ключевые слова: Чили, пустыня Атакама, минеральный вид, кристаллическая структура, риотинтоит, магнезиовольтаит, мёнит.

Известный немецкий минералог и коллекционер Герхард Мён много лет сотрудничает с российскими учеными, поставляя для исследования образцы из Чили и Германии. Он лично раз в год (в январе) посещает Чили и привозит собранную им коллекцию минералов. Благодаря тщательному предварительному тестированию химического состава в домашней лаборатории предложенные им образцы часто оказываются потенциально новыми минеральными видами. Так было и на этот раз. Он предложил нам исследовать три минерала. Два из них найдены в пустыне Атакама — одним из самых засушливых мест на Земле. Третий образец также найден в Чили, на одном из гуановых месторождений. Вдоль северного побережья этой страны встречаются многочисленные залежи птичьего гуано, а месторождение Пабеллон де Пика особенно интересно в минералогическом отношении. Здесь обнаружено несколько азотсодержащих и органических минералов меди, в том числе открытый с нашим участием антипинит $\text{KNa}_3\text{Cu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_4$ [1]. О гуановых минералах (и антипините) я уже рассказывала на страницах «Природы»*.

Исследованные минералы оказались новыми минеральными видами, названными риотинтоитом, магнезиовольтаитом и мёнитом.

Риотинтоит $\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ образует бесцветные прозрачные пластинчатые кристаллы тол-



Рис. 1. Кристаллы риотинтоита.

Здесь и далее фото М.Буркхардта

щиной до 0.4 мм (рис.1). Это — третий минеральный вид, открытый в регионе Антофагаста на месторождении Ля Вендида (до 1990 г. Рио Тинто), которое находится в 3 км от деревни Сьерра Горда. До него там были найдены беллоит $\text{Cu}(\text{OH})\text{Cl}$ и вендидаит $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_3\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ [2, 3]. Химический состав риотинтоита определен методом микрозондового анализа как $\text{Al}_{0.93}(\text{SO}_4)_{0.99}(\text{OH})_{0.81}\cdot 3.25\text{H}_2\text{O}$. Для исследования кристаллической структуры минерала методом рентгеноструктурного анализа мы использовали набор дифракционных отражений, полученных на монокристалльном дифрактометре «Bruker Smart Apex II CCD» с кристалла размером 0.07×0.12×0.15 мм.

* Расцветоваева Р.К. Гуановая республика // Природа. 2015. №4. С.75–87.

Измеренные на этом же дифрактометре параметры элементарной триклинной ячейки оказались не очень большими: $a = 5.600(2)$, $b = 7.450(3)$, $c = 7.671(3)$ Å, $\alpha = 74.785(7)^\circ$, $\beta = 86.042(8)^\circ$, $\gamma = 75.810(7)^\circ$, $V = 299.9(6)$ Å³, пространственная группа $P\bar{1}$. Структуру определили методом «charge flipping» и уточнили до итогового R -фактора — 3.98%, используя 1402 рефлекса с $I > 2\sigma(I)$ [4].

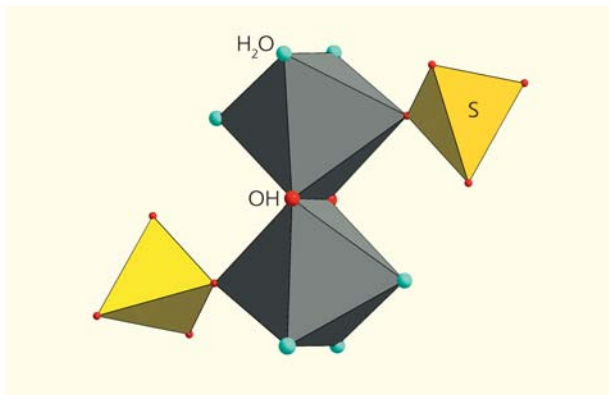


Рис.2. Кластер $\{Al_2(SO_4)_2(OH)_2(H_2O)_6\}$ в структуре риотинтоита.

Выяснилось, что структура риотинтоита состоит из изолированных кластеров (рис.2). Они образованы димерами из связанных по OH—OH ребрам Al-октаэдров, к которым присоединились два SO₄-тетраэдра. Среднее расстояние серы до атомов кислорода составляет 1.472 Å, а для атомов алюминия в октаэдрах — 1.889 Å. Свободные вершины Al-октаэдров заняты молекулами воды.

Кластеры нейтральны по заряду и объединяются за счет сильных водородных связей, образованных молекулами воды и OH-группами (рис.3). Нам удалось локализовать атомы водорода и в молекулах воды, и в гидроксильных группах, а также установить кристаллохимическую формулу риотинтоита $Al_2(SO_4)_2(OH)_2(H_2O)_6$.

Для нас стало полной неожиданностью, что исследованный минерал не имеет структурных аналогов. Ведь гетерополиэдрические кластеры довольно широко распространены в природных и синтетических сульфатах [5]. Я писала о них и в «Природе»*. А среди минералов известно уже 11 сульфатов алю-

* Расцветаева Р.К. Хикикомория // Природа. 2014. №4. С.68–80.

Таблица 1

Природные сульфаты алюминия

Минерал, формула	Пространственная группа	Параметры элементарной ячейки			Источник
		a , Å α , °	b , Å β , °	c , Å γ , °	
Милошевичит $Al_2(SO_4)_3$	$R\bar{3}$	8.025	8.025	21.357 120	[6]
Риотинтоит $Al(SO_4)(OH)(H_2O)_3$	$P\bar{1}$	5.600 74.79	7.450 86.04	7.671 75.81	[4]
Мангазит $Al_2(SO_4)(OH)_4 \cdot 3H_2O$	—	8.286	9.385	11.35	[7]
Фельзобанит $Al_4(SO_4)(OH)_{10} \cdot 4H_2O$	$P2_1$	13.026	10.015 104.34	11.115	[8]
Джурбанит $Al(SO_4)(OH)_5 \cdot 2H_2O$	$P2_1/n$	8.397	12.479 101.92	8.155	[9]
Ростит* $Al(SO_4)(OH)_5 \cdot 5H_2O$	$Pcab$	11.169–11.187	13.039–13.060	10.871–10.893	[10]
Метаалюминит $Al_2(SO_4)(OH)_4 \cdot 5H_2O$	—	7.930	16.879 106.74	7.353	[11]
Алюминит $Al_2(SO_4)(OH)_4 \cdot 7H_2O$	$P2_1/c$	7.440	15.583 110.18	11.700	[12]
Гидробазалюминит $Al_4(SO_4)(OH)_{10} \cdot 15H_2O$	—	14.911	9.993 112.40	13.640	[13]
Алуноген $Al_2(SO_4)_2(H_2O)_{12} \cdot 5H_2O$	$P\bar{1}$	7.420 89.57	26.970 97.34	6.062 91.53	[14]
Захерит* $Al_{12}(SO_4)_5(OH)_{26} \cdot 20H_2O$	—	18.47 95.24	19.45 91.48	3.77 80.24	[15]

* Структура не известна. Прочерк — нет данных.

миния (табл.1). В их структурах октаэды алюминия могут быть одиночными (как в алуногене) или объединенными — димеры в джурбаните, ленты в алюмините или слои в алуните. Однако кластер такого типа, как в структуре риотинтоита, встречен впервые.

Самые близкие к риотинтоиту по химическому составу и отношению $Al:(SO_4) = 1:1$ джурбанит $Al(SO_4)(OH) \cdot 5H_2O$ и ростит $Al(SO_4)(OH,F) \cdot 5H_2O$ характеризуются иным структурным мотивом [9, 10]. В структуре джурбанита тоже есть димеры из реберносвязанных Al-октаэдров, но они не объединяются с SO_4 -тетраэдрами (рис.4). Несмотря на то что структура ростита на сегодняшний день не расшифрована, мы можем предполагать его структурную идентичность джурбаниту, основываясь на количестве молекул воды.

Еще один сульфат Al, открытый на этом месторождении, — вендидаит $Al_2(SO_4)(OH)_3Cl \cdot 3H_2O$ — отличается тем, что в его составе присутствует дополнительный анион Cl^- , а сульфатных тетраэдров в два раза меньше [3]. Структура вендидаита также состоит из димеров. Однако димеры алюминиевых октаэдров не изолированы друг от друга, а объединяются через OH-вершины в ломаные цепочки, между которыми располагаются SO_4 -тетраэдры (рис.5). Все элементы структуры связаны водородными связями OH-групп и молекул воды с участием анионов хлора.

Для имени нашего нового минерала мы использовали старое название места его находки. Минерал и его имя утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК) в 2015 г. (IMA №2015-085). Несмотря на место жи-

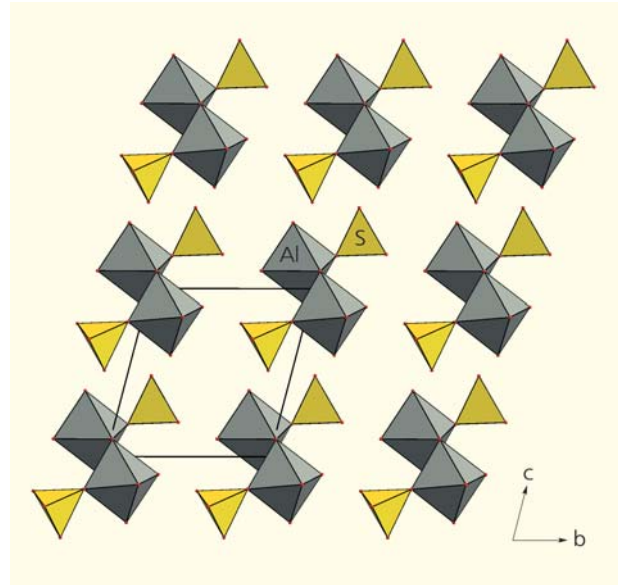


Рис.3. Укладка кластеров в структуре риотинтоита.

тельства минерала в далекой Чили, голотипный образец риотинтоита хранится в Минералогическом музее имени А.Е.Ферсмана РАН в Москве, а котипный — в Естественно-историческом музее Лос-Анджелеса в США (№65628).

Магнезиовольтаит $K_2Mg_5Fe_3^3Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$ Мён обнаружил в январе 2013 г. в том же регионе Антофагаста, на месторождении Алькапаросса, которое находится в 3 км от железнодорожной станции Церритос Байос Калама. Желтые до коричневого прозрачные изометричные кристаллы до 0.7 мм в поперечнике найдены на небольшой глубине в пустотах и жилах вулканической породы

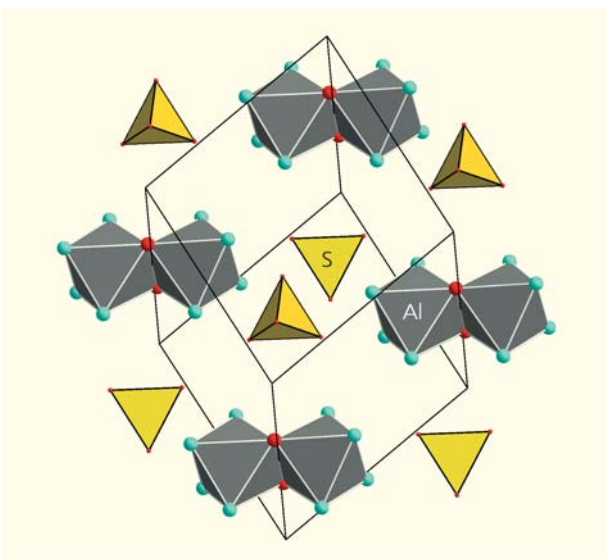


Рис.4. Структура джурбанита.

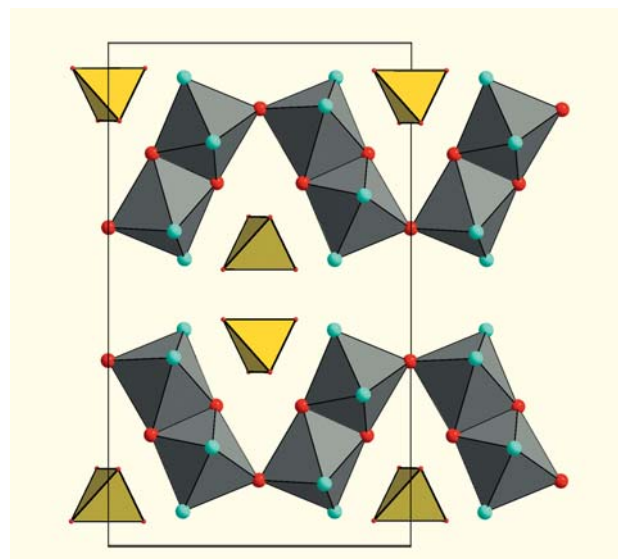


Рис.5. Структура вендидаита.

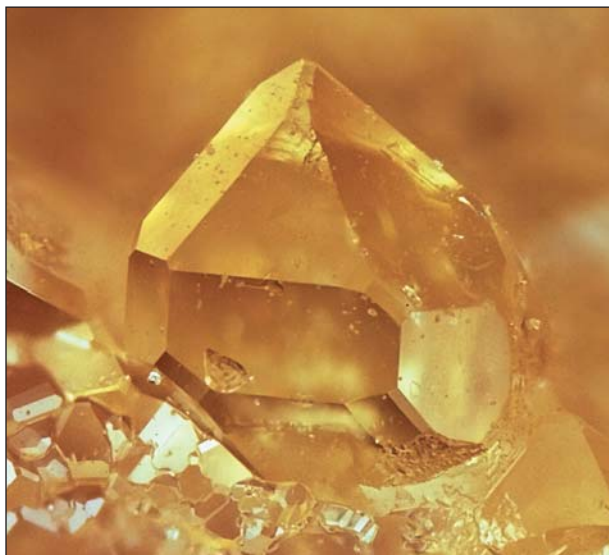


Рис.6. Кристаллы магнезиовольтаита.

(рис.6). В ассоциации с ними присутствовали кокимбит $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, тамаругит $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ромбоклаз $\text{FeH}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Na- и K-квасцы — $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, пиккерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, ярозит $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ и натроярозит, иногда образующие с ним сростки.

Химический состав, определенный электроннозондовым анализом, выглядит просто устрашающе:

$(\text{K}_{1.85}\text{Na}_{0.08})(\text{Mg}_{4.25}\text{Mn}_{0.46}\text{Zn}_{0.14})\text{Fe}_{3.14}\text{Al}_{0.91}(\text{SO}_4)_{11.91}(\text{H}_2\text{O})_{18.325}\text{O}_{0.035}$. Однако упрощенная формула намного компактнее: $\text{K}_2\text{Mg}_5\text{Fe}_3^+\text{Al}(\text{SO}_4)_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Трехвалентная форма железа установлена по мёссбауэровскому спектру.

Рентгеноструктурный анализ мы выполнили с использованием дифракционных рефлексов, полученных также на дифрактометре «Bruker Smart Apex II CCD» от кристалла $0.13 \times 0.13 \times 0.17$ мм. Кубическая симметрия, характерная для большинства минералов группы вольтаита, подтверждена систематическими погасаниями (пространственная группа $Fd\bar{3}$, начало координат на оси $\bar{3}$). Поскольку симметрия и параметры ячейки ($a = 27.161 \text{ \AA}$) нашего минерала оказались близкими к параметрам вольтаита, мы предположили их изоструктурность и использовали в качестве исходных координаты атомов в структуре синтетического аналога вольтаита, опубликованные Й.Майзланом с соавторами [16]. Наши ожидания оправдались, и структура была уточнена до низких значений R -фактора — 3.2% по 1147 рефлексам с $I > 2\sigma(I)$ [17].

Каркасная структура вольтаита очень сложна и состоит из изолированных октаэдров, объединенных вершинами SO_4 -тетраэдров (рис.7). Общая для всех представителей группы формула имеет вид $[M(1)(\text{H}_2\text{O})_2]_4M(2)_4[\text{SO}_4]_{12}$, где M — двух- и трехвалентные катионы: Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} .

В отличие от вольтаита [16], в котором все M -октаэдры заняты атомами трехвалентного железа, в нашем минерале в $M1$ -октаэдрах располагаются двухвалентные катионы с преобладанием магния $[\text{Mg}_{0.71}(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn})_{0.29}]$. Среднее расстояние катиона до атомов кислорода в этих октаэдрах 2.053 \AA , в то время как меньший по размеру $M2$ -октаэдр (среднее расстояние катион — анион равно 2.004 \AA) полностью занят атомами трехвалентного железа. Вершины октаэдров частично заполняются молекулами воды. В гетерополиэдрическом каркасе в крупных полостях и каналах находятся щелочные одновалентные катионы, образующие 12-вершинники. В магнезиовольтаите такой полиэдр занят атомами K с расстояниями $\text{K} - \text{O} = 2.867 - 3.267 \text{ \AA}$ (среднее 3.067 \AA). В других полостях располагаются разупорядоченные

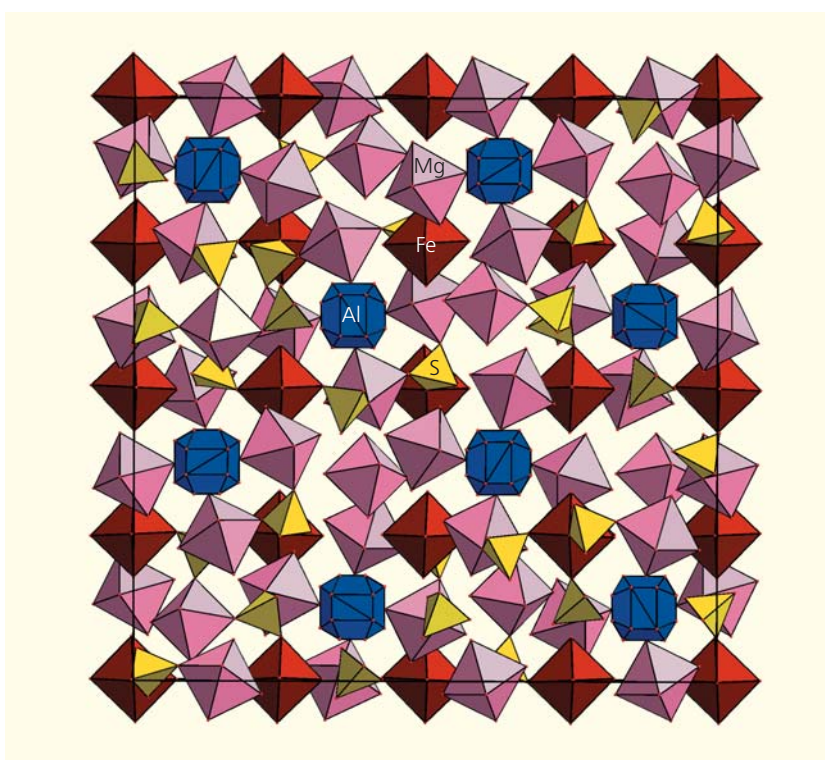


Рис.7. Каркас структуры магнезиовольтаита.

Таблица 2

Кристаллохимические параметры минералов группы вольтаита

Минерал, формула	Симметрия, пространственная группа	a, Å	c, Å	V, Å ³	Z	Цвет	Источник
Магнезиовольтаит $K_2Mg_5Fe_3^+Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$	кубическая $Fd\bar{3}c$	27.161		20038	16	желтый	[17]
Вольтаит $K_2Fe_5^2Fe_3^+Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$	кубическая $Fd\bar{3}c$	27.254		20244	16	темно-зеленый до черного	[18]
Цинковольтаит $K_2Zn_5Fe_3^+Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$	кубическая $Fd\bar{3}c$	27.180		20079	16	темно-зеленый	[19]
Аммонийно-магнезиовольтаит $(NH_4)_2Mg_5Fe_3^+Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$	кубическая $Fd\bar{3}c$	27.260		20257	16	желтый до коричневого	[20]
Пертликит $K_2(Fe^{2+}, Mg)_2(Mg, Fe^{3+})_4Fe_3^+Al(SO_4)_{12} \cdot 18H_2O$	тетрагональная $I4_1/acd$	19.2080	27.2158	10041.2	8	темно-зеленый до черного	[21]

Al-октаэдры со средними расстояниями катион–анион, равными 1.860 Å. Алюминий в них полностью окружен молекулами воды.

Кристаллохимическая формула, полученная в результате нашего исследования ($Z = 16$), отражает состав в позициях каркаса и его полостей: $^A(K_{1.9}Na_{0.1})[(Al_{0.9}Fe_{0.1}^{3+})(H_2O)_6] \{ [^{M(1)}(Mg_{4.3}(Fe^{3+}, Mn, Zn)_{1.7}(H_2O)_{12})]^{M(2)}Fe_2^+(SO_4)_{12} \}$.

Магнезиовольтаит изоструктурен с другими кубическими представителями группы вольтаита (табл.2). Он может рассматриваться и как Mg-доминантный аналог вольтаита и цинковольтаита, и как K-доминантный аналог аммонийномагнезиовольтаита.

Желтый цвет — диагностический признак магнезиовольтаита (как и аммонийномагнезиовольтаита). По мнению некоторых исследователей, цвет минералов группы вольтаита зависит от валентности железа [16]. В состав черных и темно-зеленых кристаллов вольтаита, цинковольтаита и пертликита входит двухвалентное железо, а в магнезиовольтаите оно заменяется трехвалентным, и минерал приобретает желтый цвет.

В имени минерала мы отразили его связь с вольтаитом и особенность состава по сравнению с другими минералами этой группы. Магнезиовольтаит и его название утверждены КНМНК в 2015 г. (ИМА №2015-095). Как и в предыдущем случае, его голотипный образец хранится в Минералогическом музее имени А.Е.Ферсмана РАН в Москве (№4780/1).

Мёнит $(NH_4)_2K_2Na(SO_4)_2$ найден в виде корок и агрегатов, состоящих из бипирамидальных кристаллов от светло-коричневого до коричневого цвета размером 0.07×0.07×0.15 мм в гуановых залежах Пабеллон де Пика в регионе Тарапака (рис.8). В ассоциации с ним находятся галлит $CuGaS_2$, чанабая-

ит $Cu_4(N_3C_2H_2)_4(NH_3)_4Cl_2(Cl, OH)_2 \cdot H_2O$, амминит $CuCl_2(NH_3)_2$, шиловит $Cu(NH_3)_4(NO_3)_2$, антипинит $KNa_3Cu_2(C_2O_4)_4$, джоаннеймит $Cu(C_3N_3O_3H_2)_2(NH_3)_2$. Измененный аксессуарный халькопирит $CuFeS_2$ из вмещающих габбровых пород служит источником меди для этих минералов.

Мёнит же — единственный минерал, открытый на этом месторождении, не содержащий медь. Он — гипергенный, образовавшийся на контакте между сильно измененными гуановыми залежами и обогащенным халькопиритом габбро. Гуано слу-



Рис.8. Агрегат кристаллов мёнита.

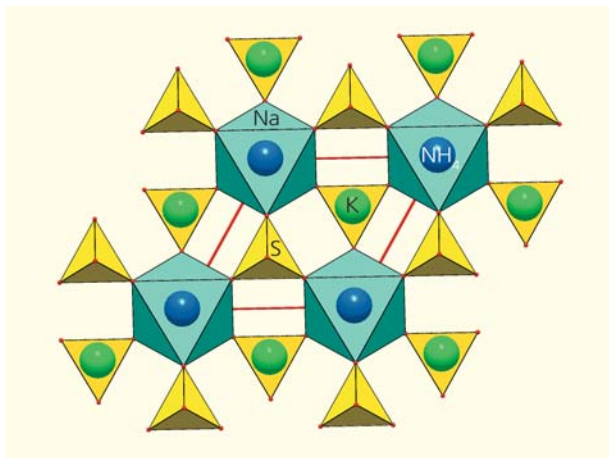


Рис.9. Слой в структуре мёнита.

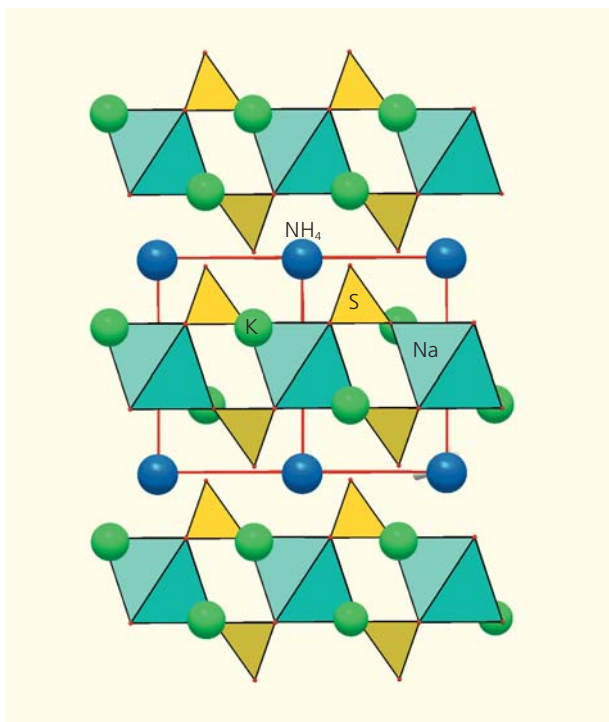


Рис.10. Объединение слоев в структуре мёнита.

жит ему источником азота, а окисленный халькопирит — источником серы. Минерал растворяется в воде и стабилен на сухом воздухе. Однако если мёнит нагреть в запаянной ампуле, то он перейдет в белый сублимат (предположительно, сульфата аммония). Эмпирическая формула минерала — $(\text{NH}_4)_{0,95}\text{Na}_{0,95}\text{K}_{2,14}\text{S}_{1,99}\text{O}_8$ — установлена по результатам микронзондового химического анализа. Мы вы-

полнили рентгеноструктурный анализ по 283 дифракционным рефлексам с $F \geq 4\sigma(F)$, полученным на дифрактометре «Xcalibur Oxford Diffraction», оснащённом CCD-детектором. Параметры ромбоэдрической ячейки следующие: $a = 5.7402(3)$, $c = 7.435(1)$ Å, $V = 212.16(4)$ Å³, пространственная группа $P\bar{3}m1$. Структура решена и уточнена до $R = 4.9\%$. Кристаллохимическая формула имеет вид: $[(\text{NH}_4)_{0,85}\text{K}_{0,15}][\text{K}_{1,9}(\text{NH}_4)_{0,1}]\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ [22].

Мёнит оказался аммониевым аналогом афтита-лита $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$, в структуре которого установлены слои, состоящие из NaO_6 -октаэдров и SO_4 -тетраэдров [23]. Более крупные катионы K^+ располагаются в самих слоях и между ними. Такие же слои присутствуют и в структуре мёнита (рис.9). Однако атомы K в нем находятся только внутри слоя в 10-вершинниках с расстояниями в пределах 2.634–3.164 Å (среднее 2.942 Å), а между слоями группы NH_4^+ образуют 12-вершинники с расстояниями 2.988–3.330 Å (среднее 3.159 Å) (рис.10).

Новый минерал был назван в честь того самого Мёна, о котором говорилось в начале статьи. Минерал и его имя были утверждены КНМНК (ИМА №2014-101). Как и в случае с предыдущими минералами, образец мёнита хранится в Минералогическом музее имени А.Е.Ферсмана РАН (№4638/1).

Открытие трех новых минералов из засушливых районов Чили — существенный вклад в минералогии. Особенность риотинтоита и магнезиовольтаита — высокое содержание воды в их составе. Наше структурное исследование показало, что вода в виде молекул и гидроксильных групп входит в их кристаллическую решетку, формируя октаэдры вокруг атомов металлов. Но может возникнуть вопрос: «Каким же образом в гиперзасушливых условиях кристаллизуются минералы, содержащие воду?». Ведь для их образования нужны водные растворы, а в самой засушливой в мире пустыне Атакама дожди — крайне редкое явление. Известно, что там на протяжении 400 лет (с 1570 до 1971 г.) вообще не было ни одного дождя. Однако в районе Антофагасты, где найдены наши минералы, все же раз в несколько лет дожди случаются. И хотя среднее количество осадков здесь крайне мало (1 мм в год), этого оказалось достаточно, чтобы появились прекрасные кристаллы — подобные тем, которые нам посчастливилось исследовать. ■

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках Государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН — в части рентгеноструктурного анализа и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-29-12005) — в части кристаллохимического анализа.

Литература / References

1. *Chukanov N.V., Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K. et al.* Antipinite, $\text{KNa}_3\text{Cu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_4$, a new mineral species from a guano deposit at Pabellyn de Pica, Chile. *Mineral Magaz.* 2015; 79(5): 1111–1121.
2. *Schlüter J., Klaska K.H., Gebhard G.* Belloite, $\text{Cu}(\text{OH})\text{Cl}$, a new mineral from Sierra Gorda, Antofagasta, Chile. *Neues Jahrbuch Mineral. Mh.* 2000; 2: 67–73.
3. *Chukanov N.V., Krivovichev S.V., Chernyatieva A.P. et al.* Vendidaite, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_3\text{Cl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from La Vendida copper mine, Antofagasta region, Chile. *Canadian Mineralogist.* 2013; 51: 559–568.
4. *Chukanov N.V., Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K. et al.* Riotintoite, $\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from La Vendida copper mine, Antofagasta region, Chile. *Canadian Miner.* 2016; 54: 1293–1305.
5. *Hawthorne F.C., Krivovichev S.V., Burns P.C.* Crystal chemistry of sulfate minerals. *Rev. Mineral. Geochem.* 2000; 40: 1–112.
6. *Dahmen T., Gruehn R.* Beitrage zum thermischen Verhalten von Sulfaten. IX. Einkristallstrukturverfeinerung der Metall(III)-sulfate $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ und $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. *Zeitschrift für Kristallographie.* 1993; 204: 57–65.
7. *Gamyagin G.N., Zhdanov Yu.Ya., Zayakina N.V. et al.* Mangazeite, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new mineral. *Geol. Ore Deposits.* 2007; 49: 514–517.
8. *Farkas L., Pertlik F.* Crystal structure determinations of felsobanyaite and basaluminite, $\text{Al}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$. *Acta Mineralogica Petrographica.* 1997; 38: 5–15.
9. *Sabelli C.* Refinement of the crystal structure of jurbanite, $\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. *Zh. Kristallogr.* 1985; 173: 33–39.
10. *Iech F.* Rostite, a new name for orthorhombic $\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. *Neues Jahr. Mineral. Monatsheft.* 1979; 193–194.
11. *Farkas L., Werner P.E.* Powder diffraction studies on aluminite and meta-aluminite. *Zeitschrift für Kristallographie.* 1980; 151: 141–152.
12. *Sabelli C., Ferroni T.* The crystal structure of aluminite. *Acta Crystallographica B.* 1978; 34: 2407–2412.
13. *Clayton T.* Hydrobasaluminite and basaluminite from Chickerell, Dorset. *Mineralogical Magazine.* 1980; 43: 931–937.
14. *Fang J.H., Robinson P.D.* Alunogen, $\text{Al}_2(\text{H}_2\text{O})_{12}(\text{SO}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_5$: Its atomic arrangement and water content. *American Mineralogist.* 1976; 61: 311–317.
15. *Bruyn H. de, Schoch A.E., Beukes G.J. et al.* Note on cell parameters of zaherite. *Mineralogical Magazine.* 1985; 49: 145–146.
16. *Majzlan J., Schlicht H., Wierzbicka-Wieczorek M. et al.* A contribution to the crystal chemistry of the voltaite group: solid solutions, Mössbauer and infrared spectra, and anomalous anisotropy. *Mineralogy and Petrology.* 2013; 107: 221–233.
17. *Chukanov N.V., Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K. et al.* Magnesiovoltaite, $\text{K}_2\text{Mg}_3\text{Fe}_3^2\text{Al}(\text{SO}_4)_{12}\cdot 18\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from the Alcaparrosa mine, Antofagasta region, Chile. *European Journal of Mineralogy.* 2016; 28: 1005–1017.
18. *Mereiter K.* Die Kristallstruktur des Voltaits, $\text{K}_2\text{Fe}_3^2\text{Fe}_3^3\text{Al}(\text{SO}_4)_{12}\cdot 18\text{H}_2\text{O}$. *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen.* 1972; 18: 185–202. (In German).
19. *Wanmao Li, Guoying Chen, Shurong Sun.* Zincovoltaite — a new sulfate mineral. *Acta Mineralogica Sinica.* 1987; 7: 307–312. (In Chinese with English abstract).
20. *Szakáll S., Sajj I., Fehér B., Bigi S.* Ammoniomagnesiovoltaite, a new voltaite-related mineral species from Pécs-Vasas, Hungary. *The Canadian Mineralogist.* 2012; 50: 65–72.
21. *Ertl A., Dyar M.D., Hughes J.H. et al.* Pertlikite, a new tetragonal Mg-rich member of the voltaite group from Madeni Zakh, Iran. *The Canadian Mineralogist.* 2008; 46: 661–669.
22. *Chukanov N.V., Aksenov S.M., Rastsvetaeva R.K. et al.* Möhnite, $(\text{NH}_4)\text{K}_2\text{Na}(\text{SO}_4)_2$, a new guano mineral from Pabellon de Pica, Chile. *Miner. Petrol.* 2015; 109(5): 643–648.
23. *Nikolova R., Kostov-Kytin V.* Crystal chemistry of “glaserite” type compounds. *Bulgarian Chem. Commun.* 2013; 45: 418–426.

Originally from Chile: the Discovery of Three New Minerals

R.K.Rastsvetaeva

Shubnikov Institute of Crystallography (Moscow, Russia)

New mineral species discovery is one of the main tasks of the mineralogy. For this purpose it is necessary not only to find mineral but to investigate it in details. Among main characteristics defining novelty of a mineral is its chemical composition and atomic distribution in its structure. Chemical features may be the basement for improving mineral by CNMNC IMA even if it belongs to known structural type, as is in the case of magnesiovoltaite and möhnite, described in this paper. It is a great luck if the structure of the mineral is unique as in case of riotintoite. This paper describes the history of investigation and discovery of three new minerals from Chile.

Keywords: Chile, Atakama desert, species, crystal structure, riotintoite, magnesiovoltaite, möhnite.