УНИКАЛЬНАЯ АРСЕНАТНО-ФОСФАТНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КЕСТЁРСКОГО ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЯКУТИЯ)

Яковенчук В.Н., Пахомовский Я.А., Коноплёва Н.Г., Паниковровский Т.Л., Базай А.В., Кривовичев С.В.
ФИЦ КНЦ РАН

С момента открытия в 1937 г. П.П. Епифановым Кестёрского оловорудного месторождения [1] оно привлекает внимание учёных своей необычайно разнообразной фосфатной минерализацией [2-7]. При этом, вплоть до недавнего времени многие находки даже не были надёжно диагностированы, и так и остаются в списке минералов месторождения под названиями «неизвестный фосфат», «фосфат белого цвета», «фосфат зелёный», «Си-фосфат синий», «фосфат жёлтый». Тем не менее, с развитием методов локального минералогического и рентгеноструктурного анализов эти пробелы начинают восполняться, – к тому же, как оказалось, некоторые редкие фосфаты обладают интересными функциональными свойствами, в частности, ионной проводимостью.

В ходе изучения современными методами образцов, отобранных первыми тремя авторами в 1987 г. из крупного (5 м в диаметре) кварцево-фосфатного гнезда в грейзенизированных касситеритсодержащих гранодиоритах Кестёрского месторождения (рис. 1), были достоверно установлены амблигонит, ауеглит, арсенолит, артурит, гидроксилapatит, лазулит, либетенит, метаторбернит, оливинит, псевдомалахит, самплеит, фторапатит, а также четыре новых фосфата: епифановит, батагаит, Na-аналог батагаита и Mg-Zn аналог гопеита (табл. 1).

Рис. 1. Фосфатная минерализация Кестёрского месторождения (по М.В. Кокунину [4]).

Это гнездо было сложено колломорфными агрегатами (до 30 см в диаметре) светло-серого карбонатсодержащего фторапатита (штаффелита) и кавернозными сегрегациями молочно-белого кварца (до 10 см). Многочисленные трещины и пустоты во фторапатите и кварце были покрыты тёмно-зелеными кристаллами (до 4 мм в длину) и сферолитами (до 5 мм в диаметре) мышьяковистого псевдомалахита и самплеита (рис. 2 а), друзами бледно-зелёных призматических кристаллов либетенита (до 7 мм в длину, рис. 2 б), травяно-зелёными радиально-лучистыми агрегатами артурита (до 5 мм в диаметре, рис. 2 б), таблитчатых зёрен оливинита (до 3 мм, рис. 2 в) и метаторбернита (рис. 2 г), а также обособленными сегрегациями самородной меди (до 3 мм в диаметре, рис. 2 д).

Бирюзово-голубые таблитчатые кристаллы епифановита (до 50 мкм в длину, рис. 2 е) нарастают на вышеперечисленные минералы меди в тесной ассоциации с бесцветными кубооктаэдрами

Рис. 2. Редкие фосфаты, арсенаты и ассоциирующие минералы Кестёрского месторождения: 1 – фторапатит (штаффелит), 2 – псевдомалахит, 3 – самплеит, 4 – медь, 5 – епифановит, 6 – Na-аналог батагаита, 7 – либетенит, 8 – артурит, 9 – оливинит, 10 – мусковит-2М, 11 – метаторбернит; 12 – арсенолит, 13 – батагаит, 14 – Mg-Zn-аналог гопеита, 15 – гидроксилapatит.

арсенолита (до 1 мм в диаметре), квадратными зеленоватыми пластинками тоберморита (до 1 мм в диаметре), льдисто-серыми уплощенно-призматическими кристаллами батагаита (рис. 2 ж) и гопеитоподобного Mg-Zn фосфата (до 2 мм в длину, рис. 2 з), а также бледно-зелёными радиально-лучистыми агрегатами Na-аналога батагаита (до 3 мм в диаметре).

Таблица 1. Состав и параметры элементарной ячейки изученных фосфатов и арсенатов.

Минерал	Формула	Параметры элементарной ячейки
Епифановит	$\text{NaCaCu}_5(\text{PO}_4)_4[\text{AsO}_2(\text{OH})_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$a=9.69, b=9.74, c=9.96 \text{ \AA},$ $\beta=102.2^\circ, V=918.7 \text{ \AA}^3, Z=2$
Батагаит	$\text{CaZn}_2(\text{Zn,Cu})_6(\text{PO}_4)_4(\text{PO}_3(\text{OH}))_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	$a=8.43, b=12.83, c=14.69 \text{ \AA},$ $\beta=98.5^\circ, V=1571.1 \text{ \AA}^3, Z=2$
Самплеит	$\text{NaCaCu}_5(\text{PO}_4)_4\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$a=9.70, b=19.14, c=9.73 \text{ \AA},$ $\alpha=\gamma=90^\circ, \beta=90.01^\circ,$ $V=1805.5 \text{ \AA}^3, Z=4$
Метаторбернит	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$a=6.98, c=8.65 \text{ \AA}, V=421.3$ $\text{ \AA}^3, Z=2$
Либетенит	$\text{Cu}_2\text{PO}_4(\text{OH})$	$a=8.06, b=8.38, c=5.88 \text{ \AA},$ $V=404.3 \text{ \AA}^3, Z=4$
Оливенит	$\text{Cu}_2\text{AsO}_4(\text{OH})$	$a=8.58, b=8.21, c=5.93 \text{ \AA},$ $\beta=90.1^\circ, V=417.6 \text{ \AA}^3, Z=4$
Mg-аналог гопеита	$\text{MgZn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$a=10.63, b=18.37, c=5.02 \text{ \AA},$ $V=980.3 \text{ \AA}^3$

Последовательность кристаллизации рассматриваемых минералов (медь → псевдомалахит → либетенит → самплеит → епифановит → батагаит Na-аналог батагаита → арсенолит) при низкотемпературной переработке первичных рудных минералов окисляющими гидротермальными растворами свидетельствует о закономерной смене ионного состава минералообразующих растворов по мере их взаимодействия со фторапатитом и осаждения новообразованных фаз: $\text{Cu} \rightarrow \text{CuP} \rightarrow \text{CaCuPAs} \rightarrow \text{CuAs} \rightarrow \text{As}$. Для воспроизводства условий образования фосфатов меди произведён синтез самплеита, либетенита и елисеевита золь-гель методом.

Исследования выполнялись в рамках гранта РФФИ 14-17-00071.

Литература

- Смирнов С.С., Дубовик М.М., Епифанов П.П. Минералогический очерк Яна-Адычанского района // Тр. Ин-та геол. наук, сер. минер. 1941. Т. 9. Вып. 46.
- Соболева В.Н. Матер. к минералогии месторождения Кёстер из бассейна реки Яны // Матер. по геологии Северо-Востока СССР. 1949. Вып. 6.
- Киселёв А.И. Серебро-цинксодержащий станнин из месторождения Арга-Ыннах-Хайской интрузии в бассейне р. Яна // Матер. по геол. и пол. иск. Северо-Востока СССР. 1948. № 3. С. 113.
- Кокунин М.В. Редкие минералы забытого месторождения // Отечественная геология. 2011. №1. С. 72-82.
- Яковенчук В.Н., Пахомовский Я.А., Коноплева Н.Г., Паниковровский Т.Л., Михайлова Ю.А., Бочаров В.Н., Кривовичев С.В., Иванюк Г.Ю. Епифановит $\text{NaCaCu}_5(\text{PO}_4)_4[\text{AsO}_2(\text{OH})_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – новый минерал из месторождения Кестёр (Саха-Якутия, Россия) // ЗРМО. 2017. № 3. С. 30-39.
- Паниковровский Т.Л., Кривовичев С.В., Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю. Кристаллическая структура епифановита // ЗРМО. 2017. № 3. С. 39-50.
- Yakovenchuk V.N., Pakhomovsky Ya.A., Konopleva N.G., Panikorovskii T.L., Bazai A.V., Mikhailova Ju.A., Bocharov V.N., Ivanyuk G.Yu., Krivovichev S.V. Batagayite, $\text{CaZn}_2(\text{Zn,Cu})_6(\text{PO}_4)_4(\text{PO}_3(\text{OH}))_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, a new phosphate mineral from Kester tin deposit (Yakutia, Russia): characterization and crystal structure // Mineral. Petrol. 2017. Doi: 10.1007/s00710-017-0551-x.