

УДК 549.3(477.64)

**В.В. Байраков, Е.Ю. Палкина, А.И. Цепин**

## **МИНЕРАЛ ИЗ ГРУППЫ ЛЁЛЛИНГИТА В ЗОНЕ КОНТАКТА ПЕГМАТИТОВ С МЕТАУЛЬТРАБАЗИТАМИ**

Охарактеризованы кристалломорфология и химический состав минерала, представленного в основном миналами лёллингита и раммельсбергита с незначительным содержанием минала сафлорита, обнаруженного во флогопитовой зоне, образовавшейся на контакте пегматитов и метаяльтрабазитов б. Крутая в Приазовье.

Никель-арсенидная минерализация в виде мелкой вкрапленности никелина и маухерита ранее была установлена в метаморфизованных ультрабазитах Сорокинской тектонической зоны на правом склоне б. Крутая возле с. Оси-пенко Запорожской обл. [7]. На этом склоне скважинами выявлены альбитовые пегматиты со сподуменом и другой редкометалльной минерализацией, залегающие среди гранат-андалузит-силлиманит-ставролит-биотитовых сланцев, плагиоклазовых амфиболитов и метаяльтрабазитов. В зоне контакта выщеперечисленных пород с пегматитами образуются слюдиты, мощность которых и разнообразие минерального состава максимально проявлены при внедрении пегматитов в ультраосновные породы. В слюдитовых зонах, обогащенных редкими щелочными металлами — литием, рубидием и цезием [1], обнаружены новый минерал симферит [3] и литиево-бериллиевый маргарит [2], детальное изучение кристаллической структуры которого позволило считать его эфеситом модификации  $IM_1$  [6], а также изумруд [8].

Флогопитовая зона, содержащая описываемый минерал, образовалась на контакте пегматитов с карбонат-оливин-антофиллитовыми и хлорит-карбонат-антофиллитовыми породами. Минерал, как правило, встречается в виде хорошо образованных кристаллов среди

чешуек флогопита или включений в слюде. Размер кристаллов — от 0,7 до 0,1 мм. Цвет минерала серебристо-белый, черта серовато-черная, блеск металлический. Среди его кристаллов, относящихся к ромбической сингонии, выделяются по облику три группы: 1 — удлиненные столбчатые, 2 — короткостолбчатые, 3 — конвертообразные (рисунок).

На зеркальном фотогониометре [5] было измерено 16 кристаллов — представителей всех трех групп (табл. 1). Кристаллы были установлены по оси [001]. Измерение кристаллов было сложным из-за их небольших размеров и слабого блеска граней. Поэтому точность измерений координат граней составляет от 30' до 1°.

Первая группа представлена удлиненными по оси [001] (удлинение от 1 : 2 до 1 : 3) кристаллами с небольшим числом граней на вершине, обычно это грани {101} в комбинации с гранями вертикального пояса, самые распространенные из которых {110} и {010}. Призма 110} этих кристаллов образована штриховы-

Таблица 1. Результаты гониометрических измерений

Измеренные		Табличные		hkl
$\varphi$	$\rho$	$\varphi$	$\rho$	
90°00'	28°00'	90°00'	28°33'	101
48°00'	90°00'	48°30'	90°00'	110
0°00'	25°30'	0°00'	25°43'	011
0°00'	90°00'	0°00'	90°00'	010
20°30'	90°00'	20°38'	90°00'	130

© В.В. Байраков, Е.Ю. Палкина,  
 А.И. Цепин, 2008

ми поверхностями, параллельными оси [001]. Края граней {101} часто образуют тонкие ступеньки, которые накладываются на штриховку. Таких кристаллов ~10 % (всего визуально изучено 1000 кристаллов).

Вторая и самая многочисленная группа — 85 % от общего количества — изометрические и короткостолбчатые кристаллы с отношением длины к ширине 1 : 1 и 1 : 1,2. Они образованы гранями {101}, {110}, {011}, {010} и {130}. На гранях {101} и {011} проявлены штриховые скульптуры в двух направлениях, параллельных ребрам этих граней. На таких кристаллах, вероятно, присутствуют микроскопические грани {111}, но измерить их не удалось.

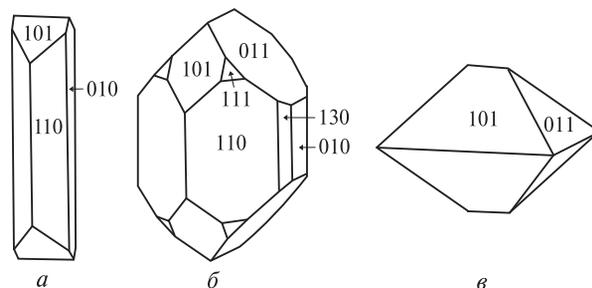
Третья и самая малочисленная группа кристаллов (5 %) представлена индивидами конвертообразной формы. Кристаллы образованы гранями {101} и {011}. Поверхность граней этих кристаллов иногда гладкая и блестящая, скульптура проявлена незначительно. Большинство кристаллов имеют матовые грани.

Микронзондовый анализ минерала выполнен на двух кристаллах — первой и второй групп (табл. 2). Использован микроанализатор MS-46 "Cameca", угол отбора излучения 18°, рабочее напряжение 20 кV, ток поглощенных электронов — 40 мА, эталоны сравнения по никелю, мышьяку и кобальту — чистые металлы, по железу — стехиометрический халькопирит. Измерения проводились в 10 точках каждого участка с последующим усреднением полученных значений интенсивности. Экспозиция в точке — 10 с. Диаметр зонда — 2 мкм. Каждый кристалл измерялся на трех участках по схеме: край — центр — край. Относительную интенсивность пересчитывали в концентрации на ЭВМ IBM AT-286 по программе "Пума" [4].

Средний состав минерала по двум кристаллам, %: As — 71,29; Ni — 12,13; S — 0,50; Co —

Таблица 2. Результаты микронзондового исследования минерала

Элемент	Кристалл первой группы			Среднее содержание	Кристалл второй группы			Среднее содержание
	край	центр	край		край	центр	край	
As	70,49	71,66	71,79	71,31	71,09	71,20	71,53	71,27
Ni	12,07	12,17	12,13	12,12	11,89	12,23	12,27	12,13
S	0,51	0,51	0,48	0,50	0,48	0,53	0,51	0,50
Co	1,06	1,07	1,07	1,06	1,16	1,11	1,12	1,13
Fe	15,27	15,03	15,17	15,15	14,95	15,25	15,31	15,17
Σ	99,40	100,44	100,64	100,14	99,57	100,32	100,74	100,20



Морфология кристаллов лёллингита — раммельсбергита (идеализированные изображения): а — удлиненного столбчатого облика, б — короткостолбчатого облика, в — конвертообразной формы

1,10; Fe — 15,16; Σ — 100,18, был пересчитан на кристаллохимическую формулу  $(\text{Fe}_{0,556} \times \text{Ni}_{0,423} \text{Co}_{0,032})_{1,011} (\text{As}_{1,951} \text{S}_{0,032})_{1,983}$ .

Микронзондовое изучение было проведено и на других кристаллах этого минерала. Полученные в одном его зерне максимально отличные от данных, приведенных в табл. 2, результаты были также пересчитаны на кристаллохимическую формулу (состав, %): As — 72,40; Ni — 13,50; S — 0,30; Co — 0,90; Fe — 12,60; Σ — 99,70)  $(\text{Ni}_{0,477} \text{Fe}_{0,468} \text{Co}_{0,032})_{0,977} (\text{As}_{2,004}$

Таблица 3. Дебаеграмма минерала

I	d/n, нм	I	d/n, нм
2	0,39	4	0,1334
3	0,382	6	0,1320
3	0,294	3	0,1289
4	0,280	6	0,1278
9	0,264	4	0,1252
10	0,255	2	0,1208
10	0,241	2	0,1190
5	0,234	4	0,1182
1	0,213	4	0,1154
4	0,1968	6	0,1125
4	0,1929	6	0,1098
9	0,1870	4	0,1080
5	0,1835	5	0,1074
2	0,1737	4	0,1068
7	0,1656	8	0,1052
8	0,1638	1	0,1015
4	0,1577	1	0,1009
4	0,1542	1	0,1003
3	0,1494	3	0,0994
3	0,1476	5	0,0986
2	0,1419	—	—

Примечание. I — интенсивность, d/n — межплоскостное расстояние; диаметр камеры Дебая 57,3 мм, диаметр образца в резиновом клее — 0,5 мм, Fe-излучение, режим трубки — 30 кV, 10 мА, время экспозиции 10 ч, аналитик Н.В. Прозорова.

$S_{0,019}^{2,023}$ , то есть установлено, что в составе изученного минерала содержится от 47 до 56 % минала лёллингита, от 42 до 48 % минала раммельсбергита и 3 % минала сафлорита.

В результате проведения полуколичественного спектрального анализа (аналитик В.В. Ларкина, КО УкрГГРИ) в этом минерале установлены, %: медь —  $0,5 \cdot 10^{-3}$ , свинец —  $4 \cdot 10^{-4}$ , кобальт — 3, никель — 10, цинк —  $2 \cdot 10^{-3}$ , хром —  $12 \cdot 10^{-4}$ , ванадий —  $2,5 \cdot 10^{-4}$ , титан —  $2,5 \cdot 10^{-2}$ , олово —  $2 \cdot 10^{-4}$ , магний —  $4 \cdot 10^{-1}$ , марганец —  $4 \cdot 10^{-3}$ , цирконий —  $5 \cdot 10^{-3}$ , иттрий —  $1,5 \cdot 10^{-3}$ , иттербий —  $2 \cdot 10^{-4}$ , мышьяк — 25, сурьма —  $5 \cdot 10^{-3}$ , ртуть —  $25 \cdot 10^{-3}$ , бор —  $1 \cdot 10^{-3}$ , алюминий — 0,1, железо — 8, кальций — 0,08, кремний — 1, натрий — 0,02. Не обнаружены Mo, Ba, La, Ce, Ag, W, Sr, P, Au, Ta, Hf, Tl, U, In, Cd и Th.

По межплоскостным расстояниям, согласно дебаеграмме минерала (табл. 3), вычислены

параметры его элементарной ячейки:  $a = 0,511$ ,  $b = 0,590$ ,  $c = 0,308$  нм, по которым он ближе к лёллингиту ( $a_0 = 0,529$ ,  $b_0 = 0,598$ ,  $c_0 = 0,288$  нм), чем к раммельсбергиту ( $a_0 = 0,479$ ,  $b_0 = 0,579$ ,  $c_0 = 0,354$  нм).

Формирование этого минерала в слюдистых оторочках происходило в результате воздействия гидротермальных растворов, обогащенных редкими щелочными элементами и мышьяком и отделившихся от пегматитового расплава. Что же касается никеля и кобальта, входящих в состав изученного минерала, то их поставщиками были ультраосновные породы. Именно гидротермальные условия объясняют формирование идеальных кристаллов этого минерала.

*Авторы выражают благодарность И.В. Кваснице за выполнение рисунков кристаллов лёллингита — раммельсбергита.*

1. Байраков В.В. Минералогическая характеристика слюд, обогащенных редкими щелочами // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1973. — № 7. — С. 579—582.
2. Байраков В.В. Новая находка литиево-бериллиевого маргарита в СССР // Там же. — С. 483—486.
3. Байраков В.В., Якубович О.В., Симонов М.А. и др. Симферит  $Li(Mg, Fe^{3+}, Mn^{3+})_2[PO_4]_2$  — новый минерал // Минерал. журн. — 2005. — 27, № 2. — С. 112—121.
4. Боронихин В.А., Цепин А.И. Программа универсальная для расчета поправок и статистических результатов текущих измерений при количественном рентгеноспектральном микроанализе ("Пума") // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. — Л.: Машиностроение, 1980. — Вып. 23. — С. 204—217.
5. Глазов А.И. Методы морфометрии кристаллов. — Л.: Недра, 1981. — С. 53—54.
6. Дриц В.А., Соколова Г.В., Александрова В.А., Байраков В.В. Кристаллическая структура эфесита модификации ІМІ // XI Всес. совещ. по применению рентгеновских лучей к исследованию материалов. — Звенигород, 1976. — С. 27—29.
7. Кравченко Г.Л., Бондаренко С.Н. Никель-арсенидная минерализация в ультрабазитах Сорокинской тектонической зоны (Приазовье) // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1989. — № 3. — С. 7—12.
8. Таран М.М., Яковлева В.В., Вишневський О.А., Панченко В.І. Дослідження хромвісного берилу — смарагду з прояву Крута Балка (Приазов'я) // Минерал. журн. — 2005. — 27, № 2. — С. 93—102.

Каз. підприємство "Южэкогеоцентр", Симферополь  
Крым. отд-ние Укр. гос. геол.-развед. ин-та, Симферополь  
Ин-т геологии руд, месторождений, минералогии, петрографии  
и геохимии РАН, Москва

Поступила 11.03.2008

**РЕЗЮМЕ.** Охарактеризовані кристаломорфологія та хімічний склад мінералу, представленого переважно міналами лёлінгиту та раммельсбергиту з незначним вмістом міналу сафлориту, виявленого у флогопітовій зоні, що утворилась на контакті пегматитів і метальтрабазитів Балки Крута в Приазов'ї.

**SUMMARY.** Morphology of crystals and chemical composition have been characterized for the mineral represented mainly by loellingite and rammelsbergite minals with inconsiderable content of safflorite minal found in the flogopite zone formed in the contact zone of pegmatite and metaultrabasites of Balka (ravine) Krutaya in the Peri-Azov region.