

К. А. ЧЕКАЛОВА, А. П. СЛЮСАРЕВ

О НАХОДКЕ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩЕГО ХАММАРИТА  
В ОРЛОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

(Представлено академиком Г. С. Дзоценидзе 7 VI 1973)

При исследовании минерального состава первичных руд Орловского колчеданно-полиметаллического месторождения был установлен Se-содержащий хаммарит. Хаммарит впервые открыт на месторождении Гладхаммар К. Юхансоном в 1924 г. <sup>(1)</sup>. В последующем он был найден и изучен на Джидинском молибдено-вольфрамовом месторождении в Западном Забайкалье <sup>(2)</sup>. Для Казахстана — это первая находка. В опубликованной литературе селенистую разновидность хаммарита, не содержащую меди, относят к виттиту <sup>(1)</sup>. Исследуемый нами минерал содержит медь с отношением  $Cu : Pb$ , близким к единице.

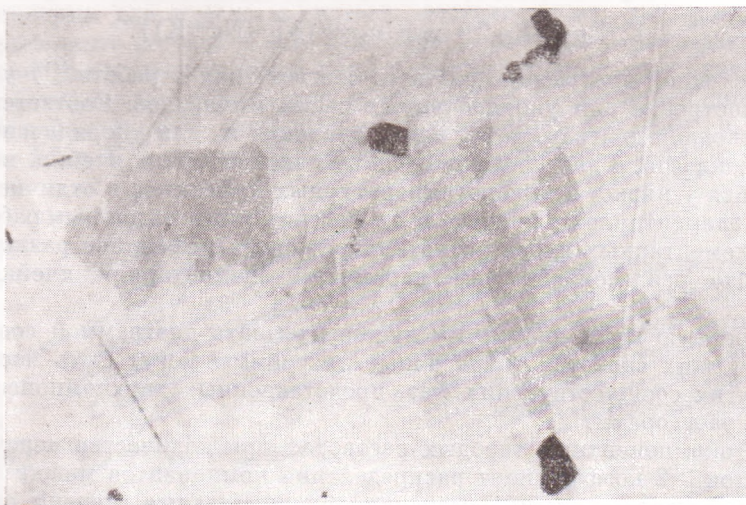


Рис. 1. Включение селенохаммарита (серое) в халькопирите (светлое). (Черное — дефекты полировки.) Шлиф полированный. 960×

Селенохаммарит обнаруживается в шлифах только под микроскопом. Встречен он в 3-м рудном теле в сплошной медно-цинковой руде существенно халькопиритового состава. Он слагает в халькопирите включения неправильной формы размером  $0,07 \times 0,035$  мм, состоящие из агрегата отдельных зерен от  $0,005 \times 0,07$  до  $0,008 \times 0,02$  мм (рис. 1).

Минерал мягкий, в отраженном свете имеет белый цвет с синеватым оттенком, очень усиливающимся в иммерсии, с сильным двуотражением, наблюдаемым как в иммерсии, так и на воздухе. Он сильно анизотропен, эффекты анизотропии сопровождаются изменением цвета от темно-серого до серого. Полисинтетических двойников не наблюдалось. Форма зерен короткопризматическая и таблитчатая. Отражение выше, чем у галенита, значения его приведены в табл. 1. Кривая дисперсии отражения селено-

хаммарита дана на рис. 2, и здесь же для сопоставления — кривая дисперсии хаммарита по данным М. М. Повилайтис и др. <sup>(2)</sup>. Приведенные кривые имеют большое сходство.

Микротвердость измерялась на микроскопе MeF В. И. Ельцовой. При нагрузке 10 г она равна 138 кг/мм<sup>2</sup>, отпечатки ромбические.

Химический состав минерала, определенный на рентгеновском микроанализаторе марки ГХА-3, приведен в табл. 2.

При рентгеноспектральном микроанализе описываемого минерала основное внимание было уделено контролю стабильности его под действием электронного зонда и изучению характера распределения отдельных элементов в изучаемом срезе минерала. Стабильность объекта в процессе анализа контролировалась по кривым записи интенсивности линий и тока электронов, поглощенных образцом. Характер распределения элементов в пределах произвольного сечения зерна минерала и степень однородности определялись путем выборочного анализа в отдельных точках и по записям концентрационных кривых. При точечном анализе зонд диаметром 1,2 мкм наводился на выбранные участки минерала и последовательно фиксировался в точках, отстоящих друг от друга на 4 мкм. Вариации отсчетов в отдельных точках для всех элементов не превышали отклонение измерений интенсивности в фиксированной точке.

Для проведения количественного анализа в качестве эталонов использовались чистые металлы: Cu, Bi, Te; минералы халькопирит (CuFeS<sub>2</sub>), айкинит (CuPbBiS<sub>3</sub>) и соединение Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. Обработка и коррекция экспе-

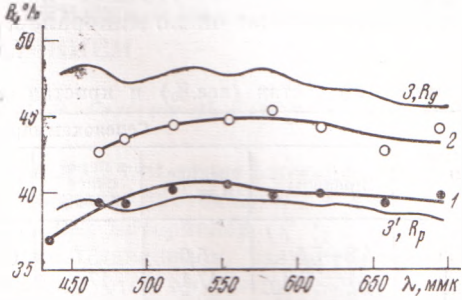


Рис. 2. Кривые дисперсии отражения селенохаммарита и хаммарита. 1, 2 — селенохаммарит Орловского месторождения; 3, 3' — хаммарит по данным М. М. Повилайтис и др. <sup>(2)</sup>

Таблица 1  
Отражение минерала в воздухе \*

λ, нм п.п.	Длины волн, нм								
	439	467	485	516	553	584	615	658	696
1	36,9	40,2	39,4	40,3	40,7	40,1	40,2	39,6	
2		42,6	43,4	44,1	44,6	45,2	44,2	42,6	44,0

\* Отражение минерала определялось В. С. Чекменевой и В. И. Ельцовой на МИМ-7 с фотоэлектрической приставкой.

риментальных данных проводилась по общепринятой методике <sup>(3)</sup>. Выполнить рентгеноструктурный анализ не удалось из-за малых размеров выделений минерала.

Проведенное изучение показало, что этот минерал следует рассматривать как промежуточный член переменного состава в ряде твердых растворов между висмутином и айкинитом и относить его к селенохаммариту, у которого отличительной особенностью является постоянное наличие в значительных количествах селена. При пересчете данных анализов (табл. 2) на формулу хаммарита у исследуемого минерала отмечается избыток серы и селена и устанавливается, что он более беден висмутом, чем хаммарит <sup>(1, 2)</sup>. С некоторым приближением его формулу можно

представить как  $\text{Cu}_2\text{Pb}_2\text{Bi}_3(\text{Se}, \text{S})_9$  с изоморфным вхождением селена на место серы.

История вопроса о изоморфном ряде висмутинов — айкиннит подробно разобрана в работах Бородаева и Годовикова (<sup>4</sup>, <sup>5</sup>). Они считают, что существует целая группа минералов, характеризующаяся одинаковым качественным составом и различающаяся количественным соотношением компонентов. Соотношение Cu и Pb обусловлено изоморфизмом Bi. А. А. Годовиков (<sup>5</sup>) доказал экспериментальным путем существование непрерывного ряда твердых растворов между висмутином и айкиннитом с присутствием промежуточных членов. Он указывает, что может быть обнаружено большее число минералов.

Таблица 2

Химический состав (вес. %) и кристаллохимическая формула селенохаммарита

Компонент	Селенохаммарит					Хаммарит ( <sup>2</sup> )	
	пределы	среднее ( $n = 10$ )	в пересчете на 100%	ат. колич.	отнош. ат. колич.	Джиджа	Гладхаммар
Cu	4,8—5,5	5,0	5,0	0,079	1,13	7,69	7,60
Pb	15,1—20,0	17,1	17,2	0,083	1,24	23,13	27,40
Bi	49,8—52,17	50,5	50,7	0,242	3,61	49,00	47,59
S	12,4—14,8	14,1	14,2	0,440	} 0,603	17,57	17,01
Se	12,1—14,1	12,8	12,9	0,163		0,004	—
Fe						0,05	—
Ag						0,17	—
Zn						1,78	—
Sn						0,05	—
Sb						0,14	—
Te						0,02	—
SiO <sub>2</sub>						0,50	—
Сумма		99,5				100,104	99,60
Формула	$\text{Cu}_{1,13}\text{Pb}_{1,24}\text{Bi}_{3,61}(\text{Se}, \text{S})_9$ или $\text{Cu}_{1,83}\text{Pb}_{1,92}\text{Bi}_{5,62}(\text{Se}, \text{S})_{14}$					$\text{Pb}_2\text{Cu}_2\text{Bi}_4\text{S}_9$	

Изоморфизму серы и селена в системе  $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$  посвящены работы Дьячковой (<sup>6</sup>), Малевского и др. (<sup>7</sup>) — для группы свинцово-висмутовых сульфосолей и др. Полученные этими авторами экспериментальные данные подтвердили возможность широкого замещения серы селеном.

Таким образом, проведенное изучение показало, что исследуемый минерал по оптическим свойствам и составу близок к хаммариту. Возможное существование и других членов в ряде висмутинов — айкиннит и изоморфизм серы и селена позволяют нам рассматривать находку в Казахстане как селенохаммарит.

Минералы висмута и селенохаммарит на Орловском месторождении выделяются в позднюю барит-полиметаллическую стадию формирования руд. Температурный интервал рудоотложения этой стадии, по данным гомогенизации газовой-жидких включений в баритах и флюоритах, выполненной И. И. Жилинской, находился в пределах 330—210°. По ряду признаков в эту стадию происходило изменение растворов из нейтральных в кислые.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева  
Академии наук КазССР  
Алма-Ата

Поступило  
1 VI 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Справочник. Минералы, т. 1, Изд. АН СССР, 1960. <sup>2</sup> М. М. Повилайтис и др., ДАН, т. 187, № 4 (1969). <sup>3</sup> А. А. Годовиков и др., Зап. Всесоюз. мин. общ., т. 100, в. 3 (1971). <sup>4</sup> Ю. С. Бородаев и др., Вестн. Московск. ун-в., № 1 (1970). <sup>5</sup> А. А. Годовиков, Висмутные сульфосоли, «Наука», 1972. <sup>6</sup> И. Б. Дьячкова, Тр. Инст. минерал., геохим. и кристаллохим. редких элементов, в. 7 (1961). <sup>7</sup> А. Ю. Малевский и др., там же, в. 18 (1963).