

Ю.М.Дымков, Б.И.Рыжов, В.Д.Бегизов, Л.С.Дубакина,
Е.Н.Завьялов, В.Г.Рябева, М.В.Цветкова

МГРИИТ, Vi -ПЕТРОВИЦИТ И АССОЦИИРУЮЩИЕСЯ С НИМИ СЕЛЕНИДЫ
ИЗ КАРБОНАТНЫХ ЖИЛ РУДНЫХ ГОР

В статье приведены сравнительные данные по мгрииту и синтетическому аналогу Cu_3AsSe_3 , а также новые сведения о минераграфических свойствах сопровождающих мгриит селенидов Cu , Sb , Pb , Ag , Tl . Детально охарактеризована новая Vi -разновидность петровицита, расшифрованы псевдоморфозы распада по метастабильному минералу типа R_3Se_2 , обосновано предположение о существовании нового Cu , Pb , Vi -селенида.

Селениды в ураноносных жилах Центральной Европы - объект активного исследования минералогов. Достаточно упомянуть здесь месторождения Франции (Шамеан), Польши (Судеты), Германии (Шлема-Альберода), Чехо-Словакии (Предбожице, Рожна и др.). В данной статье приводятся новые материалы о селенидах из буршпатовых жил месторождения Шлема-Альберода^I, посвященные мгрииту и ассоциирующимся с ним минералам, а также новой Vi -разновидности петровицита.

Аналитические работы проводились в разное время в лабораториях ИГЕМ АН СССР, ВИМС, МГРИ, ИМГРЭ и ВНИИХТ.

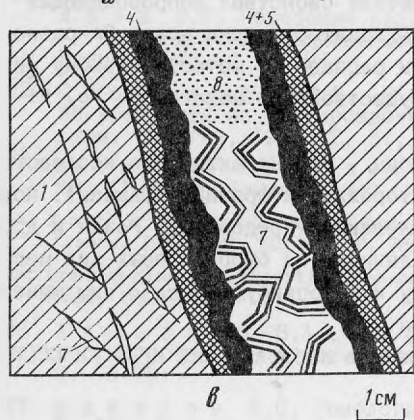
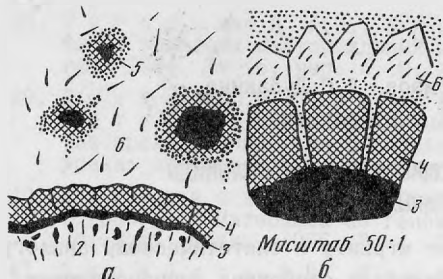
Условия нахождения и парагенезис

Месторождение Шлема-Альберода геологически, геохимически и парагенетически охарактеризовано в работах [1,2], буршпатовые жилы (преимущественно сами карбонаты) и селениды минералогически изучались авторами [3-6].

Селеновое оруденение в Рудных горах приурочено исключительно к ураноносным карбонатным жилам, относится к вкрапленному типу. Известно свыше 200 жил с селеновым оруденением. Среди них выделяются два типа селеноносных жил: более ранние кварц-кальцит-настурановые и поздние доломит-анкеритовые. Обычно оба типа жил встречаются в одних и тех же трещинах, при этом ранняя кварц-кальцит-настурановая минерализация подвергается интенсивному замещению более поздними карбонатами доломит-анкеритового ряда, кое-где сохраняясь в последних в виде полузамещенных реликтов. Особенно интенсивно замещается кальцит, часто о былом его присутствии в жилах говорит лишь характерная скаленоэдрическая форма псевдоморфоз доломита по кальциту.

В кварц-кальцит-настурановых жилах видимое селеновое оруденение обычно отсутствует и наблюдается лишь в сравнительно немногих жилах в виде заметных вкрапленников и гнезд. Наиболее часто встречаются берцелианит и клаусталит, реже - эвкайрит, умангит, клокманит, иногда науманит. Неправильные гнезда либо мелкие кристаллики селенидов выделяются по зонам роста, индукционным поверхностям и трещинкам в настуране и кальците. В ряде случаев наблюдались ветвистые пленочные дендриты берцелианита на поверхности почек настурана и в кальците, метасоматические оторочки вокруг настурана (рис. 1, а). Нами химически проанализированы 19 мономинеральных проб настурана без видимого (макро- и микроскопически) селенового

^I Обершлема, Нидершлема, Ауэ-Шлема, Шлема-Альберода - все это географические названия населенных пунктов, отражающие этапы расширения одного и того же месторождения по мере его обработки.

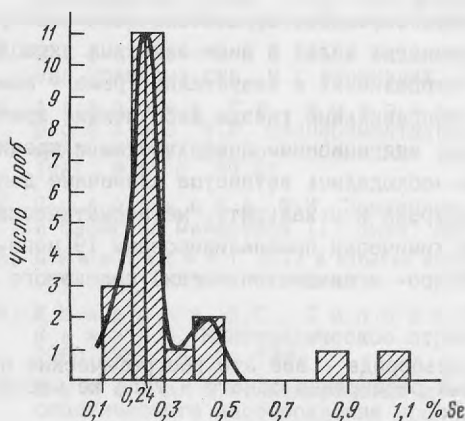


Р и с. 1. Клаусталит в кальцитовых (а, б) и доломитизированных жилах (в, г), месторождение Шлема-Альберода

Зарисовки штуфов: 1 - сланец; 2 - бурый гребенчатый кварц с халькопиритом; 3 - коффинит (псевдоморфоза) с вкрапленностью блеклой руды и халькопирита; 4 - настуран; 5 - клаусталит; 6 - кальцит; 7 - доломит по кальциту; 8 - анкерит; 9 - анкерит с тонкой вкрапленностью настурана П и мелкими гнездами клаусталита

оруденения. На рис. 2 приведены результаты анализов. Селен установлен во всех пробах в количестве 0,19-1,08%. Модальное содержание равно 0,24%. Кальцит в ассоциации с селенидами обычно перекристаллизован.

В доломит-анкеритовых жилах селеновое оруденение также представлено селенидами. Локализовано оно лишь на тех интервалах жил, где наблюдается реликтовая настурановая минерализация. Для таких интервалов характерно интенсивное замещение минералами доломит-анкеритового ряда кварц-кальцит-настурановой ранней минерализации (рис. 1, б). Нами изучено 180 пунктов с селеновым оруденением. В отличие от чешских и моравских месторождений [7] в саксонских жилах везде резко преобладает клаусталит. Другие селениды встречаются значительно реже и в подчиненном количестве. Науманнит встречен в 42 пунктах, берцелианит - в 32, эвкайрит - в 30, умангит с клокманитом, мгритом и буювитом - в 18.



Р и с. 2. Гистограмма распределения селена в настуране из кварц-кальцитонастурановых жил (по данным 19 химических анализов)

Наиболее распространенные ассоциации селеновых руд следующие (всегда с настураном и доломитом или паранкеритом): 1) клаусталитовая; 2) науманнит-клаусталитовая; 3) эвкайрит-науманнит-клаусталитовая; 4) науманнит-берцелианит-клаусталитовая; 5) буковит-умангит-кломманит-эвкайрит-берцелианит-клаусталитовая с мгриитом или с селенидами Bi, Tl, Hg.

Ассоциации минералов, богатые медными селенидами, встречаются относительно редко. В них отмечаются графические сростания типа эвкайрит+кломманит, умангит+кломманит, реже умангит+эвкайрит, умангит+берцелианит, клаусталит+петровицит, эвкайрит+клаусталит, берцелианит+клаусталит, кломманит+науманнит и тройные умангит+берцелианит+кломманит и кломманит+эвкайрит+умангит.

Отложение селенидов иногда сопровождается синхронным кальцитом, замещающим поздние карбонаты Fe, Mg, Ca (рис. 3), претерпевающим перекристаллизацию в момент образования селенидов и отчасти замещающим селениды. На рис. 3 показано последовательное замещение ромбоэдра анкерита поздним сидеритом, а затем кальцитом, предшествующим селенидам меди. Аналогичная картина наблюдалась и с мгриитом (рис. 4).

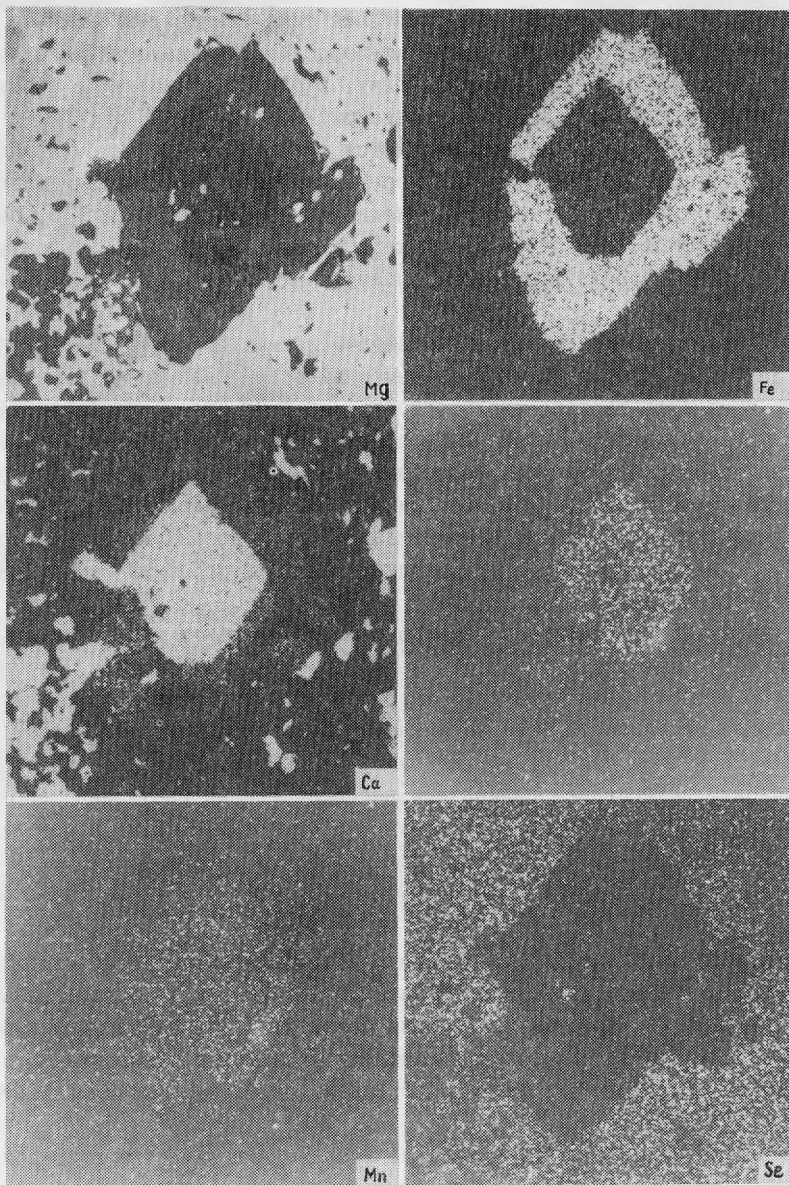
Ни в литературе, ни по наблюдениям многочисленных образцов нет никаких доказанных данных, указывающих на одновременный рост селенидов и настурана. Более того, нет и признаков последовательного без перерыва отложения настуран → селениды. Во всех случаях селениды цементируют обломки, корродируют или замещают настуран, а в случае "пассивного обрастания" замещают "пассивный" минерал, контактировавший ранее с настураном. Практически нет ни одной более или менее детальной минералогической работы о селенидах из ураноносных жил, где бы не отмечалось либо не иллюстрировалось в приводимых микрофотографиях "сростков" замещение настурана селенидами.

В тех случаях, когда селениды образуют обособленные от настурана выделения, замещают кальцит, выполнявший пустоты между кристаллами доломита, или сами выполняют пустоты, сферолиты настурана не затрагиваются процессами замещения.

Структуры замещения настурана селенидами образуются двумя способами: метасоматическим вытеснением селенидами минерала, ранее заместившего настуран, и метасоматическим вытеснением селенидами непосредственно настурана. Первый случай адекватен пассивному обрастанию настурана селенидами. Есть признаки консервации селенидами первично-реликтовых форм и структур инфрасферолитовой регенерации настурана в последовательности настуран ← коффинит ← настуран П ← селениды.

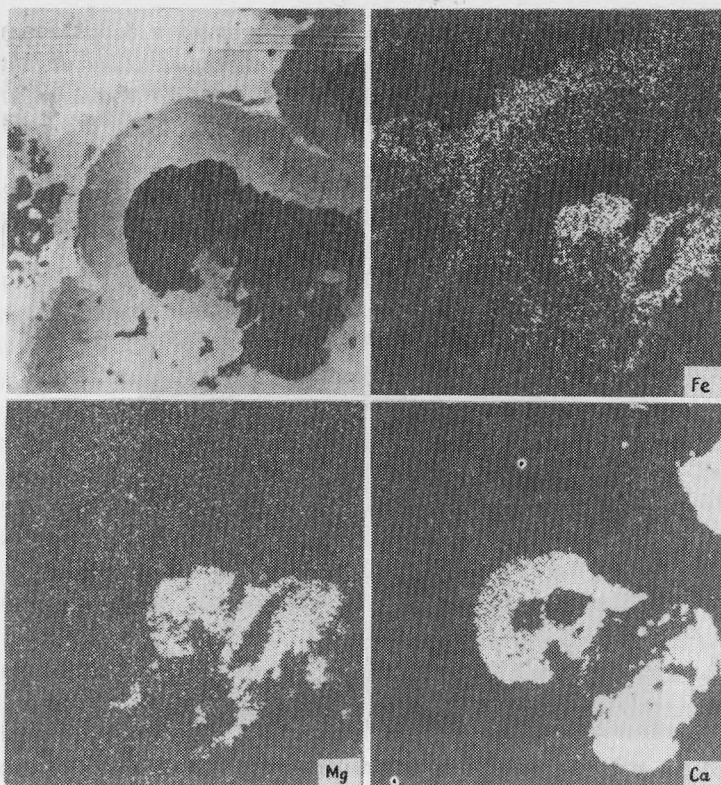
Замещение коффинита селенидами - явление нередкое. В структурах одновременно совместного роста настурана и коффинита последний как наиболее радиационно - распавшийся минерал замещается селенидами селективно, не затрагивая существенно настуран, что приводит к ошибочной расшифровке "структур одновременного роста". Не менее сложна расшифровка псевдоморфоз селенидов по сульфидам, заместившим раннее настуран.

Селениды интенсивно замещают настуран, используя в качестве затравок дисперсный галенит, поскольку почти во всех случаях замещение следует с большим (сотни миллионов лет) разрывом во времени после отложения настурана и, следовательно, после определенного накопления радиогенного свинца. О том, что такой разрыв существует, свидетельствует содержание селена в настуране - 0,24% (см. рис. 2), которому соответствует в пересчете на клаусталит примерно содержание 0,62% Рь. Возможно, это показатель более "молодой" (постварисской) минерализации.



Р и с. 3. Последовательность замещения доломита (Ca, Mg) сидеритом (Fe), затем кальцитом (Ca) в гнездах селенидов меди (Se)

Изображение в отраженных электронах и распределение основных элементов. Увёл. 400



Р и с. 4. Кристаллы Fe-Mg карбоната и хлорит, замещаются кальцитом (Ca), окруженным магнетитом (серое)
Изображение в отраженных электронах и распределение основных элементов. Увел. 200

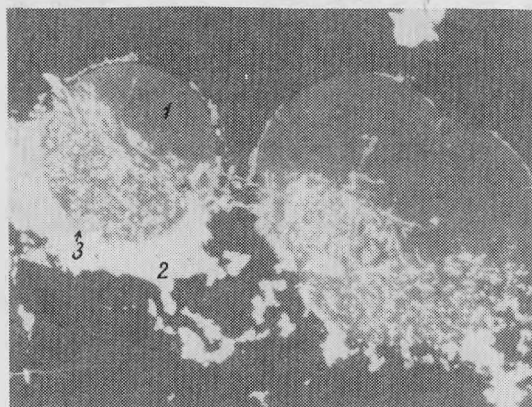
Любой метаморфизм, в том числе и гидротермальный, приводит к освобождению свинца из кристаллической решетки настурана и к появлению в нем зародышевых центров (в зависимости от обстановки в первые моменты метаморфизма в виде $Pb-Pb_3O_4$, PbS и др.). Зародышевые центры претерпевают соответствующую эволюцию $Pb \rightarrow (Pb_3O_4) \rightarrow PbS(PbSe) \rightarrow PbSe$ и являются важнейшим фактором метасоматического вытеснения настурана селенидами и прежде всего клаусталитом.

В рудах с глубоких горизонтов месторождения можно наблюдать более сложную картину - последовательное замещение сульфидов, идущее от периферии метакристаллов к центру: $PbS \leftarrow CuFeS_2 \leftarrow Cu_3AsS_{3+x} + FeAs_2$. В участках с айкинитом образуется вкрапленность метакристаллов и метадендритов виттихенита и михарита.

Как отмечалось в работе [4], состав первичного сульфида играет при замещении его селенидами большую роль и во многом определяет состав минералов, замещающих настуран. Так или иначе в настуране перед замещением селенидами всегда есть готовые зародыши, формы и распределение которых во многом определяют рисунок метасоматических структур.

Среди наиболее распространенных метасоматических структур и микротекстур можно выделить вкрапленные, метавкрапленные, сетчатые, реликтовые. Для вкрапленных структур руд (текстур изменения индивида) характерны границы, разделяющие индивиды на замещенные и сохранившиеся от замещения участки сферолитов.

Встречается "эмульсионная" вкрапленность клаусталита и берцелианита, образующая диффузионные волны в сферолитах настурана с периодическими сгущениями вкрапленников. Вкрапленники селенидов в настуране представляют собой округлые мельчайшие выделения или хорошо образованные метакристаллы, реже метаскелеты. Разрастаясь, вкрапленники образуют густую сеть, в которой сохраняются лишь реликты настурана ("раскрошенные" структуры) (рис. 5). Для тонкопрожилковых структур характерно метасоматическое замещение настурана селенидами по трещинкам с сохранением угловатых реликтов настурана между трещинами.



Р и с. 5. Замещение настурана клаусталитом.
Аншлиф. Увел. 200

1 - настуран; 2 - клаусталит; 3 - перминжатит (?)

Наиболее эффектны картины замещения настурана селенидами (или чаще псевдоморфоз различных минералов по настурану) по концентрическим и радиальным элементам сферокристаллов и сферолитов.

Наконец, следует отметить явления метасоматического растворения настурана, предшествующего отложению селенидов. В образцах из месторождения наблюдались сферолиты настурана, у которых сохранились лишь ядра и внешние зоны. В результате растворения промежуточных зон и появления пустот ядра под действием силы тяжести опустились на дно пустотелых сфер. Затем все было сцементировано селенидами.

Как уже отмечалось, гнезда с селенидами меди встречаются сравнительно редко и многие из них, особенно гнезда, богатые умангитом, содержат индивидуальный набор редких селенидов. Так, несколько гнезд с мгриитом содержат буковит, перминжатит и ряд других минералов. Гнезда с петровицитом характеризуются наличием Bi-Ng минералов. В связи с этим отмеченные ассоциации характеризуются раздельно.

Новые данные о мгриите и сопровождающих минералах

В связи с публикацией данных о мгриите [4, 5] высказывались определенные сомнения по поводу формулы минерала $(\text{Cu,Fe})_3\text{AsSe}_3$, а также расшифровки рентгенограмм, тем более что ряд слабых линий мог быть отнесен к примесям берцелианита и клаусталита, а сильных - к эскеборниту. Предлагалась, в частности (В.Д.Бегизов), иная формула: $(\text{Cu,Fe})_3(\text{Se,As})_4$ для состава $(\text{Cu}_{2,80}\text{Fe}_{0,19})_2,99(\text{Se}_{3,15}$

$As_{0,86}^{4,01}$. Практически одновременно был открыт шамаанит $(Cu,Fe)_4As(Se,S)_4$, имеющий сходную с мгриитом рентгенограмму и физические свойства [8]. Для решения возникших вопросов встала необходимость получения соответствующих данных о синтетических аналогах мгриита.

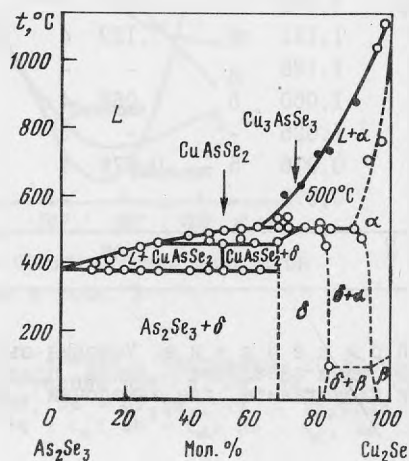
Известно, что в природе мгриит встречается в ассоциации с лёллингитом $FeAs_2$, который, по-видимому, и является источником мышьяка. В связи с этим в свое время совместно с А.Ф.Кунцом был проведен эксперимент^I по гидротермальному синтезу мгриита при 200 и 300°C в сульфатных растворах. В качестве источника селена использовались крупинки берцелианита (Cu_2Se), в качестве источника мышьяка - порошок лёллингита. В другой серии использовались крупинки лёллингита и порошок берцелианита. Опыты проходили в медных вкладышах. Мгриит таким способом синтезировать не удалось. Вместе с тем сведения о его синтетическом аналоге обнаружены в литературе [9].

Первоначально в ряду синтетических соединений системы $Cu-As-Se$ было получено лишь одно твердо установленное соединение Cu_3AsSe_4 [10]. Это соединение имеет кубическую решетку (структура сфалерита) с параметром $a_0 = 0,5496 \pm 0,0002$ нм, микротвердость $H^{50} = (200 \pm 15)$ кгс/мм², температура плавления 450°C. Оптимальная температура кристаллизации 310-270°C. Cu_3AsSe_4 является мышьяковым аналогом перминжатита и в связи с этим представляет интерес для поиска еще не открытого в природе минерала.

Дискутируется возможность существования соединения $CuAsSe_2$, однако стекла такого состава при термическом отжиге при 170-270°C в течение до 440 ч раскристаллизовывались с образованием двух известных фаз: Cu_3AsSe_4 и As_2Se_3 . Предполагается [II], что процесс может быть охарактеризован реакциями $3CuAsSe_2 \rightarrow Cu_3AsSe_4 + 2AsSe$ и одновременно $3AsSe \rightarrow As_2Se_3 + As$. As_2Se_3 - также одно из возможных природных соединений, но пока в качестве минерала не установлено. Моноклинный, температура стеклования As_2Se_3 175°C, оптимальная температура кристаллизации из расплава 330°C [9]. В литературе известно соединение $Cu_6As_4Se_9$, обладающее псевдокубической симметрией с $a_0 = 10,99 \text{ \AA}$.

При исследовании системы $As_2Se_3-Cu_2Se$ (рис. 6) впервые получено и твердо диагностировано соединение Cu_3AsSe_3 [9] - аналог впоследствии открытого минерала мгриита. Порошкограммы их сходны (табл. I), микротвердость Cu_3AsSe_3 $H^{20} =$

Р и с. 6. Диаграмма состояния системы $As_2Se_3-Cu_2Se$ [9]



^I Институт геологии Коми НЦ УО АН СССР.

250 кгс/мм², кубический. Плавится incongruently при 500°C. Соединение Cu_3AsSe_3 образуется по перитектической реакции при 500°C, область гомогенности δ -фазы на его основе, по данным рентгенофазового анализа и микротвердости, простирается от 66,7 до 82 мол.% Cu_2Se .

Сравнение с синтетическим соединением Cu_3AsSe_3 позволило уточнить рентгенограмму мгриита, ввести в нее ранее обнаруженные, но ошибочно отнесенные к примесям дополнительные линии (см. табл. I), подтвердить правильность химической формулы минерала. Наличие δ -фазы на основе Cu_3AsSe_3 и возможность заметных колебаний области ее гомогенности объясняют появление химических разновидностей мгриита, к числу которых можно, по-видимому, отнести и достаточно гетерогенный шамеанит.

Т а б л и ц а I

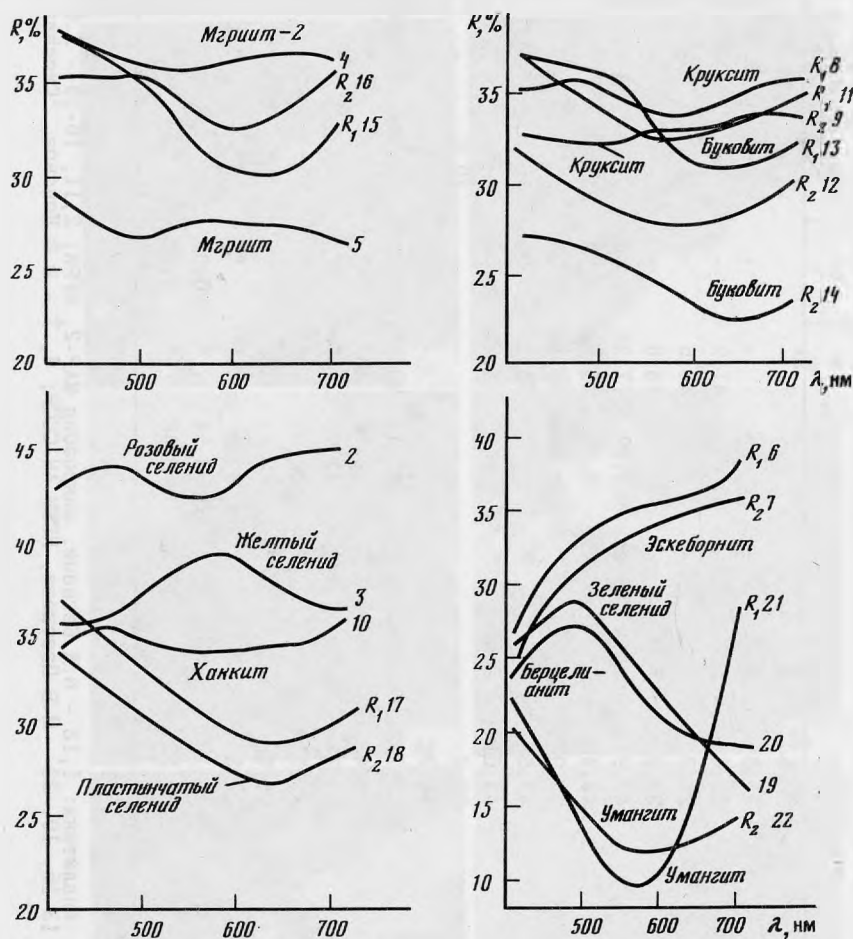
Дебаегранмы синтетического селенида меди и мышьяка (по данным [9]), мгриита (анализы Е.Н.Завьялова [5]) и шамеанита [8]

Cu_3AsSe_3		Мгриит						Шамеанит	
		обр. 8		обр. 7 и 9		Расчетные данные			
I	d/n	I	d/n	I	d/n	hkl	d/n	I	d/n
3	3,5	3	3,50	3*	3,53	310	3,50	-	-
7	3,2	10	3,20	10	3,21	222	3,20	10	3,187
4	2,16	3	2,17	3*	2,16	510; 431	2,17	-	-
9	1,963	10	1,958	7	1,958	440	1,957	9	1,951
4	1,850	2	1,841	2*	1,838	600	1,845	-	-
9	1,680	7	1,670	5	1,673	622	1,669	8	1,665
2	1,531	-	-	1*	1,530	640	1,535	-	-
2	1,399	1/2	1,402	-	-	752; 651	1,406	-	-
6	1,384	4	1,384	3	1,385	800	1,384	-	-
6	1,271	5	1,269	4	1,267	662	1,270	6	1,266
2	1,245	1/2	1,245	1*	1,246	752	1,253	-	-
2p	1,175	-	-	2**	1,173	922; 850	1,173	-	-
7	1,131	6	1,129	4	1,129	844	1,130	7	1,127
8	1,125	-	-	-	-	940; 665	-	-	-
7	1,060	5	1,065	4	1,064	10.2.2;666	1,065	-	-
2	1,025	-	-	1*	1,020	10.3.3;961	1,019	-	-
6	0,976	5	0,978	4	0,978	880	0,979	-	-
4	0,973	-	-	-	-	11.2.2;10.3.2	-	-	-
$a_0, \text{Å}$		11,07		11,07		11,07		11,04	

П р и м е ч а н и е. Условия съемки мгриита: Fe_K - излучение, камера РКД-57,3; одна звездочка - линии, предположительно отнесенные в работе [5] к примеси клаусталита, две звездочки - берцелианита.

Новые данные о мгриите и ассоциирующихся с ним селенидах получены при инструментальном минераграфическом и микрозондовом¹ исследовании шлифов (табл.2.). Несколько отличается от обычного по составу и свойствам круксит, обрастающий в виде корки кристалла буковита ("круксит-Б"). Круксит содержит серебро (тонкая вкрапленность эвайрита) и до 0,20% Au, 0,01% Ni, 0,02% Co и Fe.

Тонкие минераграфические исследования выявили ряд дополнительных данных о минеральном составе уран-селенидной ассоциации, содержащей мгриит. На универсальном микроспектрофотометре² МФ-10 сняты спектры отражения селенидов, в том числе неидентифицированных (табл. 3, рис. 7). Для двуотражающих минералов из данных измерений нескольких (5-7) сечений взято сечение с небольшим отражением. Составление координат цветности x и y , рассчитанных для четырех стандартных ис-



Р и с. 7. Спектры отражения мгриита и сопутствующих минералов
Номера кривых соответствуют номерам в табл. 3

¹ Образцы исследовались на приборах ЖХ-3А и "Самебах". Напряжение 20 кВ (для As и Se 30 кВ), ток через образец 20-30 нА. Эталоны для Fe, Cu, Ag, Sb - чистые металлы, для Pb - PbS, As - арсенопирит, Se - Bi₂Se₃, I1 - круксит. Аналитические линии: Cu, Fe - K_α; Pb - M_α; Ag - L_α; Sb₂ - L_α; As - K_α, Se - K_α и L_α (при 20 кВ); I1 - M_α.

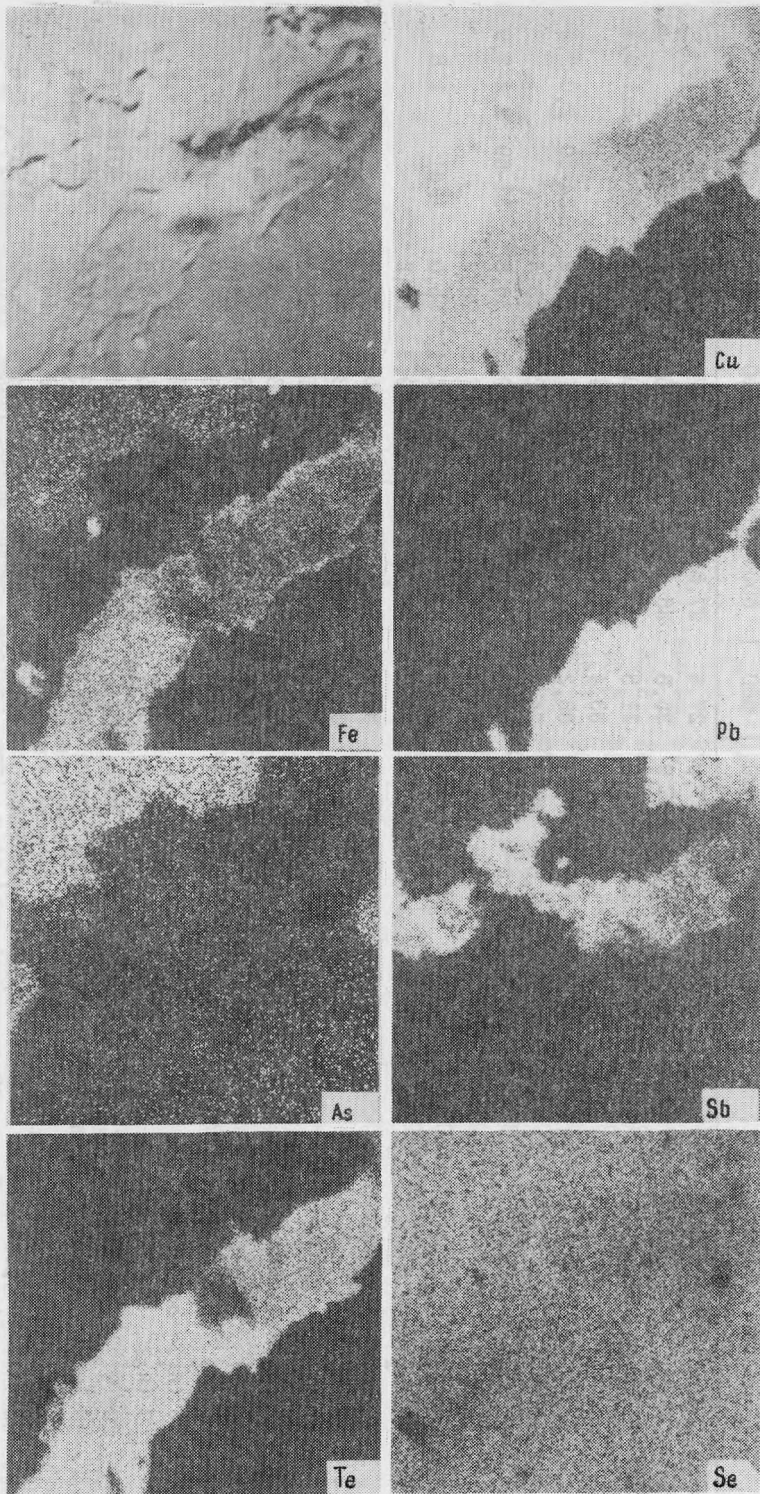
² Зонд диаметром 15 мкм, эталон кремний, точность 1,5%.

Химический состав (в мас.%) мгриита и ассоциирующихся с ним селенидов из Рудных гор

№ п/п	Минерал	Cu	Fe	Pb	Ag	Tl	Bi	Sb	As	Se	Hg	Сумма
1	Мгриит*	35,5	2,3	-	-	-	-	-	13,04	49,8	-	101,0
2	"	35,3	2,2	-	-	-	-	-	13,06	48,0	-	100,7
3	Буковит*	19,4	6,0	-	-	41,9	-	-	-	32,6	-	99,9
4	"	21,3	6,3	-	-	48,5	-	-	-	26,5	-	102,6
5	"	20,6	6,3	-	-	45,8	-	-	-	24,3	-	97,0
6	Круксит - "Б"	47,94	Не обн.	Не обн.	0,27	17,36	Не обн.	0,02	Не обн.	34,15	Не обн.	100,0
7	"	46,42	"	"	0,10	18,56	"	Не обн.	"	34,92	"	100,0
8	Круксит	43,93	0,02	"	Не обн.	23,10	0,04	"	"	31,38	0,09	98,56
9	"	43,56	0,01	"	"	23,39	0,06	"	"	31,72	Не обн.	98,74
10	"	43,61	0,01	"	"	23,56	0,06	"	"	30,97	0,02	98,23
11	Перминжатит*	29,4	-	-	-	-	-	19,8	-	50,0	-	99,2
12	Умангит	54,9	-	-	-	-	-	-	-	44,6	-	99,50
13	Эвкайрит	25,19	Не обн.	Не обн.	42,45	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	30,63	Не обн.	98,27
14	"	25,42	"	"	42,14	"	"	"	"	30,59	"	98,15
15	"	25,53	"	"	42,78	"	"	"	"	30,47	"	98,78
16	"	25,3	"	"	42,9	"	"	"	"	31,8	"	100,1
17	"	25,6	"	"	42,4	"	"	"	"	32,1	"	100,1
18	"	24,8	"	"	42,5	"	"	"	"	30,8	"	99,5
19	Клаусталит	0,19	"	70,25	0,51	"	0,03	"	"	27,36	"	98,34
20	"	0,32	"	70,32	0,48	"	0,14	"	"	27,37	"	98,63

Примечание. Аналитики: 1, 12 - В.Д.Бегизов, микрозонд MAP-2, МГРИ; 2, 11, 16-18 - Л.С.Дубакина, микрозонд MS-46, "Самека", ВИМС; 13-15, 19, 20 - М.В.Цветкова, ИГЕМ АН СССР; 6, 7 - И.В.Кононов, "Самебах", ВНИИХТ. Прочерк - не анализировался.

* Среднее по двум зернам.



Р и с. 8. Мгриит (As-Fe), буковит (Cu-Fe-Tl) в ассоциации с клаусталитом (Pb), хакитом (Cu-Sb) и неизвестным минералом (Sb-Tl)

Изображение в отраженных электронах и картины распределения основных элементов. Увел. 800

Номер образца	Номер спектра	Минерал	Длина волны, λ , нм								Микротвердость	
			440	480	520	560	600	640	680	710	H	H ₀
1	5 (R)	Мгриит	28,1	27,0	27,0	27,6	27,5	27,5	27,2	26,7	182	4,0
2	4 (R)	Мгриит-2	37,3	36,4	35,9	35,8	36,1	36,4	36,4	36,2		
3	15 (R ₁)	Буковит	36,8	35,8	34,2	31,8	30,5	30,1	30,6	32,1	27-70	2,1-2,9
4	16 (R ₂)	"	35,2	35,2	34,9	33,4	32,5	32,9	34,0	35,2		
5	13 (R ₁)	Буковит	36,8	36,3	35,7	33,2	31,3	31,0	31,6	32,2	24-50	2,0-2,6
6	14 (R ₂)	"	27,1	26,6	25,8	24,6	23,5	22,6	22,9	23,6		
7	17 (R ₁)	Буковит (?)	35,7	34,0	32,5	30,9	29,6	29,2	29,5	30,3	33-69	2,2-2,9
8	18 (R ₂)	"	32,8	31,3	29,9	28,6	27,4	26,9	27,5	28,2		
9	11 (R ₂)	Круксит-В	36,3	36,0	33,7	32,8	32,8	33,4	34,4	35,0	61	2,8
10	12 (R ₂)	"	31,2	30,0	29,0	28,2	28,1	28,5	29,3	30,3		
11	8 (R ₁)	Круксит	35,5	35,6	34,7	34,0	34,1	34,9	35,4	35,7		
12	9 (R ₂)	"	32,6	32,4	32,5	32,9	33,0	33,4	33,6	33,6		
13	21 (R ₁)	Умангит	19,4	15,8	12,1	9,9	10,2	14,8	21,5	28,3	55	2,7
14	22 (R ₂)	"	18,4	16,0	13,9	12,3	12,2	12,6	13,6	14,5		
15	3 (R)	Эвкайрит (?)	35,6	36,3	37,7	38,8	38,8	37,6	36,5	36,1		
16	1 (R)	Клаусталит	57,2	54,7	52,2	49,9	48,3	47,4	46,9	46,8	45	2,5
17	6 (R ₁)	Эскеборнит	29,4	32,2	33,8	34,8	35,4	36,0	36,8	38,5	33	2,2
18	7 (R ₂)	"	27,5	30,0	31,8	33,1	33,9	34,7	35,3	35,9		
19	10 (R ₂)	Хаккит (?)	35,1	35,0	34,3	34,0	34,1	34,2	34,6	35,5	90	3,1
20	19 (R)	Зеленый селенид	27,1	28,5	27,6	25,1	22,7	20,5	18,4	16,8	27	2,1
21	20 (R)	Берцелианит	25,6	27,1	26,4	23,7	21,3	19,8	19,3	19,0		
22	2 (R)	Петровицит (?) (поперечный срез (?))	43,8	44,0	43,0	42,6	43,3	44,5	44,9	50,2	50	2,6
23	R ₁	Петровицит	42,8	43,0	44,2	45,9	46,3	47,6	47,7	-	179	
24	R ₂	"	40,5	42,0	44,1	45,6	45,6	45,8	45,3	-		

Примечание. Условия анализа: прибор МФ-10, эталон кремний, участок 15 мкм, точность 1,5 отн.%. Микротвердость измерялась при нагрузке 20 г; Кн., для обр. 13 равен 2,2, для обр. 15 - 2,6, для обр. 17 - 2,1; аналитик Е.Г.Рябева. Обр. 23, 24 - анализ Д.К.Щербачева [6, 7]. Мгриит-2 от мгриита отличается повышенным отражением, характер спектра одинаков. Обр. 3, 4 серо-сиреневого цвета, цвет поляризации - от серо-голубого до блекло-коричневого. Знак меняется при 500, 475, 496, 540 нм в различных сечениях; обр. 5, 6 - цвет голубой, сильно анизотропный, двуотражающий; 7, 8 - розовато-сиреневый, плеохроирует от розового до фиолетового, погасание прямое, удлинение отрицательное, содержит ориентированные включения умангита; 9, 10 - желто-кремовый, анизотропия слабая, двуотражение, цвет поляризации от серо-голубого до палевого. Контакт буковита; 11, 12 - розовато-сиреневый, в сростании с умангитом; 15 - сростается с клокманитом, умангитом и пластинчатым селенидом; 17, 18 - находится в клаусталите в тесной ассоциации с мгриитом; 19 - коричневато-желтый изотропный на контакте мгриита и клаусталита; 20 - очень близок к берцелианиту; 22 - розовый, похож на пирротин, но очень мягкий и изотропный, очень быстро покрывается побежалостью.

Т а б л и ц а 4

Химический состав (в мас.%) селенидов висмута - Ви-петровицита (1-3) и псевдоморфозы состава R_3Se_2 (4-10) по данным электронно-зондового анализа

Номер анализа	Se	Bi	Cu	Pb	Ag	Hg	Сумма
1	34,53	28,15	15,06	15,54	He обн.	7,14	100,42
2	34,04	28,13	15,07	15,88	"	7,33	100,45
3	34,62	28,19	15,00	15,92	"	7,23	101,02
4	35,92	8,86	37,82	14,01	1,46	Сл.	98,15
5	33,58	9,83	36,32	15,94	2,07	"	99,78
6	37,03	10,79	35,08	15,00	1,51	"	99,41
7	38,60	12,09	32,54	14,29	2,09	"	99,61
8	38,65	11,69	32,84	13,92	2,02	"	99,12
9	а) 45,70	2,34	37,09	7,44	He обн.	"	92,57
	б) 46,36	2,78	37,51	6,78	"	"	93,43
	в) 46,27	2,41	37,60	8,07	"	"	94,35
10	а) 36,34	9,82	36,10	14,66	"	"	96,92
	б) 36,72	9,86	36,18	14,62	"	"	97,38
	в) 36,45	10,23	35,22	15,14	"	"	97,04

Примечание. Аналитик М.В.Цветкова ИГЕМ АН СССР, микрозонд "Самка"MS-46, в ан. 4 - 0,08, в ан. 5 - 0,04 мас.%.
 93

точников, с данными Т.Н.Чвилевой и др. [I2] показало на очень хорошую сходимость для всех минералов, кроме умангита. Микротвердость измерена при нагрузке 20 г, экспозиция 15 с, нагружение автоматизировано (см. табл. 3).

Не удается установить, является ли новым минералом или разновидностью буковита образовавшаяся по буковиту фаза, неравномерно обогащенная сурьмой (рис. 8). Не расшифрованы также зафиксированные на этом рисунке угловатые границы между минералами, принадлежали ли они первоначально селенидам или карбонатам.

Обогащенный висмутом петровицит

В ассоциации с берцелианитом и клаусталитом обнаружен минерал, по своим свойствам напоминающий петровицит, установленный [I3] в Моравии (Чехо-Словакия), но существенно отличающийся отношением Hg:Bi и определенный [6] как Bi-разновидность петровицита. В отличие от петровицита (минерала с формулой $Cu_3HgPbBiSe_5$) в изученном селениде содержится на 10% больше висмута и на 10 мас.% меньше ртути (табл. 4).

По набору элементов минерал близок к петровициту, однако по количественному соотношению и эмпирической формуле ($Cu_{0,54}Bi_{0,31}Pb_{0,17}Hg_{0,08}^{1,1}Se$ или $Cu_{2,7}Bi_{1,55}Pb_{0,85}Hg_{0,40}Se_5$) заметно отличается от петровицита. Вопрос о том, является ли минерал новым видом или разновидностью петровицита, мог быть решен лишь рентгенографическим анализом. Расчет дебаеграммы минерала (табл. 5) показал сходство кристаллической решетки его с решеткой петровицита.

Т а б л и ц а 5

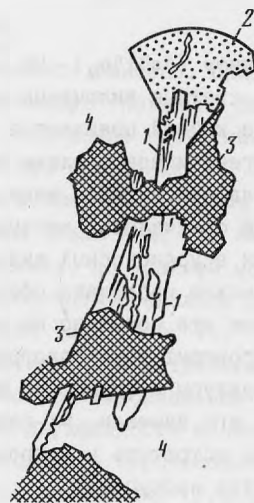
Данные дебаеграмм петровицита и его новой разновидности

№ п/п	Bi-разновидность		Петровицит [I3]			№ п/п	Bi-разновидность		Петровицит [I3]		
	I	d/n	I	d/n	hkl		I	d/n	I	d/n	hkl
1	I	4,22	4	4,34	320	19	4	2,25	5	2,262	611
2	I	3,88	-	-	-	20	2	2,17	4	2,164	002
3	I	3,79	-	-	-	21	3	2,10	5	2,109	161
4	4	3,63	7	3,62	330	22	I	2,06	5	2,061	122;261
5	4	3,54	8	3,546	420	23	2	2,03	4	2,022	800;711
6	-	-	2	3,326	240	24	-	-	3	1,945	551;641
7	2	3,16	8	3,186	131	25	-	-	3	1,920	232
8	10	3,075	10	3,120	430	26	I	1,885	-	-	-
9	4	3,01	I	3,066	321	27	I	1,863	-	-	-
10	8	2,92	10	2,961	520;401	28	-	-	4	1,832	080
11	-	-	I	2,867	150	29	I	1,806	I	1,813	660
12	I	2,62	5	2,720	440	30	I	1,775	4	1,777	561;821;432
13	I	2,55	I	2,562	511	31	I	1,763	-	-	-
14	I	2,52	I	2,520	620	32	I	1,726	3	1,717	831
15	I	2,44	I	2,422	540;160	33	-	-	2	1,665	850
16	-	-	I	2,373	450	34	I	1,5445	-	-	-
17	I	2,34	3	2,326	251	35	I	1,509	-	-	-
18	I	2,30	-	-	-	36	I	1,459	-	-	-

Примечание. Условия съемки: K_{α} - излучение, камера РКД-57,3, диаметр препарата (порошок, сцементированный резиновым клеем) 0,2 мм. При расчете дебаеграмм вводились поправки на поглощение.

Параметры кристаллической решетки петровицита: $a = 16,176$, $b = 14,684$, $c = 4,33 \text{ \AA}$ [13]. При расчете параметров Vi -петровицита оказалось, что, включая в расчет 10 основных линий 4-10 и 19-23 (см. табл. 5), мы получим значения $a = 15,97$, $b = 14,72$, $c = 4,32 \text{ \AA}$. При расчете по 15 линиям с 4-23 (за исключением 18) значения параметра кристаллической решетки иные: $a = 16,032$, $b = 14,635$, $c = 4,430 \text{ \AA}$.

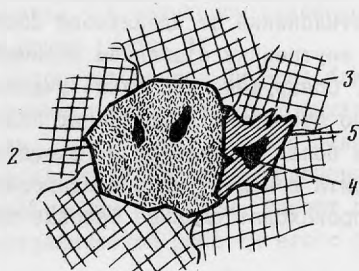
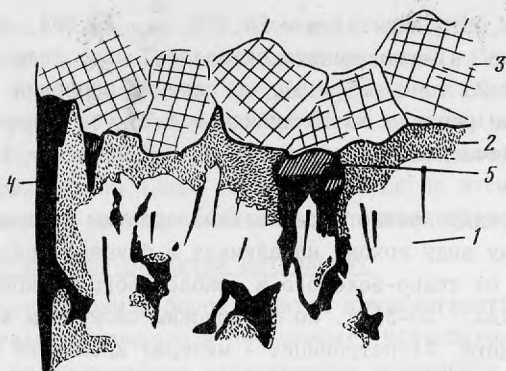
Крупные (до 1 см) интенсивно корродированные параллельные сростки игольчатых кристаллов Vi -петровицита по внешнему виду похожи на айкинит и буковит (рис. 9). Сильно анизотропен, цветные эффекты от темно-зеленого и фиолетового до кремового; угасание косое (в изученных срезах - $26-30^\circ$). По физическим свойствам минерал несколько отличается от петровицита. Vi -петровицит - минерал кремового цвета со слабым розовым оттенком. Дисперсия коэффициента отражения и микротвердость его (см. табл. 3) замерены Д.К.Щербачевым (ИМГРЭ); заметно и повышение коэффициента отражения и микротвердости, так же как отклонение от идеального состава петровицита, что, возможно, связано со сложным внутренним строением оптически и в отраженных электронах гомогенного минерала. Обнаружено несколько участков, где изменение выявило следы равномерной косой по отношению к удлинению полосчатости, связанной с появлением тончайших пластин более твердой фазы. В отдельных интенсивно корродированных реликтах Vi -петровицита в момент микронзондирования, судя по изменению внутреннего строения зерен, происходят сложные фазовые превращения.



Р и с. 9. Кристаллы Vi -петровицита (1) с настурраном (2). Зарисовка с аншлифа. Увел. 300

3 - клаусталит; 4 - (белое поле) берцелианит

По периферии отдельных микровыделений Vi -петровицита, а также вокруг включений в нем локально появляется кайма более низкоотражающего двухфазового агрегата со слабым фиолетовым оттенком (рис. 10). Судя по растровым картинам распределения, содержание основных компонентов Se , Pb , а также обнаруженных в таких участках примесей As и Tl меняется мало; заметно, хотя и слабо повышается в кайме содержание Cu и Vi . Вместе с тем в кайме появляется Ag и практически полностью отсутствует ртуть ($\text{Hg} \leftarrow \text{Ag}$). Состав каймы не определялся, так как в иммерсии отчетливо заметна ее двухфазность: равномерно концентрированные мирмекиты второй фазы не превышают 1 мкм. Судя по химическому составу, ориентировочно предполагается, что мирмекиты принадлежат минералу, по составу близкому к



Р и с. 10. Замещение Ви-петровицита (1) мирмекитами Ag-селенида (2) с вытеснением ртути

Зарисовка участка аншлифа при наблюдении в иммерсии при увел. 2500; 3 - клаусталит; 4 - берцелианит; 5 - тиманнит

богдановичиту (AgBiSe_2). На экране микрозонда при увел. 8000 отчетливо заметно, что более светлые включения под электронным пучком растворяются в матрице. На контакте с каймой появляется тиманнит, замещающий селениды Cu и Pb (см. рис.10).

В парагенетическом плане представляет интерес близость составов Ви-петровицита и сульфовисмутидов меди из ураноносных рудногорских жил [4].

Как уже отмечалось, настуран не обрастает селениды и не растет совместно с селенидами в ураноносных жилах. Однако в образце с Ви-петровицитом в отдельных участках можно наблюдать сферокристаллы настурана на вершинах игольчатых кристаллов, как это показано на рис. 9. Казалось бы, в пользу непосредственного обрастания говорит кристаллографическая ориентировка кристалла петровицита: совпадение структуры и формы. Но вопрос здесь сложнее, так как сферолит настурана у основания его замещен Ви-петровицитом. В Ви-петровиците, как и в других селенидах, можно встретить и корродированные сегменты сферолитов и скопления изъеденных реликтов настурана².

Противоречивые признаки отмеченного "обрастания" (см. рис. 9) объясняются следующим образом: сферокристаллы настурана обрастали игольчатые кристаллы иного минерала, который затем был эндотаксически замещен Ви-петровицитом. Естественно, это должен быть сульфид, и такой сульфид известен - айкинит. Обрастание айкинита настураном в жилах месторождения детально описано О.Эльснером [14], В.Л.Барсуковым [15], Е.М.Стрелкиной [16]. Возникает предположение, не послужил ли айкинит - минерал варисской кварц-кальцит-настурановой минерализации, а

² Следует отметить также, что какие-то изменения в реликтах настурана происходили: вдоль извилистой границы реликтов на глубину 1-2 мкм наблюдалась заметная перекристаллизация UO_{2+x} и появление на ее внутренней границе прерывистых каемок берцелианита и клаусталита.

затем виттихенит и михарит (железо пошло на образование ферроселита), связанные с киммерийской доломитизацией, источником висмута, свинца и меди непосредственно на месте замещения: $CuPbBiS_3 + 3Se + Cu_2Se + HgSe \rightarrow Cu_3HgPbBiSe_5 + 3S$. Известно [16], что с айкинитом ассоциируется гринокит. Проведенный в связи с этим поиск на микрозонде выявил заметное повышение кадмия и селена в сферолитах настурана, сростшихся с Ви-петровицитом. Качественное площадное сканирование показало небольшую равномерно распределенную примесь в Ви-петровиците Ni и Co, а также S.

Генетические взаимоотношения селенидов с Ви-петровицитом в значительной мере удалось расшифровать. Ви-петровицит содержит включения (в том числе линзовидные, по спайности) берцелианита, берцелианита с умангитом, редко - клаусталита. Метакристаллы клаусталита замещают петровицит (см. рис. 9). Клаусталит имеет "структуры взаимных границ" с берцелианитом, но вместе с тем встречается в берцелианите в виде мирмекитов. Умангит в небольших зернах берцелианита образует тонкие линзовидные (пертитоподобные) вросстки, но встречается и в виде самостоятельных зерен, образовавшихся отчетливо до берцелианита (умангит \rightleftharpoons берцелианит). Круксит образовался отчетливо позже берцелианита, замещает его в том числе вдоль трещин. Охарактеризованные ниже биминеральные автопсевдоморфозы распада х-минерала R_3Se_2 , по-видимому, занимают во временном ряду селенидов место вслед за петровицитом или крукситом; время распада его определить не удастся, но известно, что матрицей псевдоморфоз служит берцелианит.

Гетерогенные псевдоморфозы по минералу типа R_3Se_2

В ураноносных жилах Рудных гор нередко можно встретить минерал, приобретающий в полировках после длительного хранения оливково-серую (похож на берцелианит) или кремово-серую окраску (похож на эвкайрит). Отражение этого минерала ниже, чем клаусталита и эвкайрита, но немного выше, чем берцелианита. В скрещенных николях наблюдаются цветные эффекты анизотропии в зеленовато-серых и красноватых тонах. Минерал первоначально рассматривался как новый вид, так как ни при оптических, ни при микрозондовых (рис. II) исследованиях, по крайней мере при увел. до 500, не выявлялась его гетерогенность. Микрозондовые анализы дали относительно стабильные результаты для конкретных участков (см. табл. 4), однако рентгенография (табл. 6) показала противоречивую картину, что потребовало более детального микроскопического изучения. По наблюдениям при максимальном оптическом увеличении в иммерсии (увел. до 2500), выявилась двухфазность минерала: матрица, сложенная голубовато-зеленоватым минералом, сходным с берцелианитом, включает исключительно равномерно и плотно распределенные мельчайшие (0,5-1 мкм) удлиненные (в срезе - изометрические) мирмекиты розоватого неизвестного минерала, судя по рельефу, с относительно высокой твердостью, и более редкие включения минерала, сходного с эвкайритом.

В зависимости от ориентировки мирмекитов (продольный или поперечный разрез) минерал несколько изменяет свою окраску.

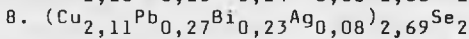
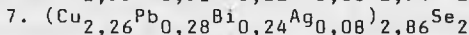
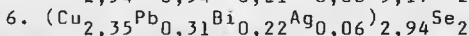
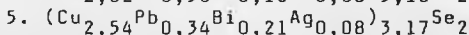
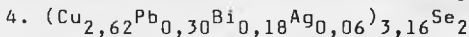
Таким образом, речь идет о псевдоморфозе и, судя по характеру крайне однородного распределения мирмекитов, о псевдоморфозе распада. В результате распада неизвестного минерала образовался изотропный берцелианит (см. табл. 6) и какой-то анизотропный минерал (может быть, несколько минералов), эндотаксически выросший в берцелианите и подчеркивающий размеры и ориентировку его зерен.

Межплоскостные расстояния гетерогенной (двухфазной ?) псевдоморфозы распада по неизвестному селениду R_3Se_2

№ п/п	I	d/n, Å	№ п/п	I	d/n, Å	№ п/п	I	d/n, Å
1	I	3,843	9	2	2,839	19	I	1,836
2	I	(3,657)	10	I	2,484	20	2	1,732
3	2	3,591	11-13	I	-	21	I	1,438
4	2	3,482	14	2	2,250	22	2	1,364
5	10	3,323	15	5	2,159	23	2	1,315
6	10	3,135	16	I	2,123	24	I	1,242
7	10	3,053	17	10	2,033	25	3	1,170
8	I	2,923	18	I	1,923			

П р и м е ч а н и е. Аналитик Т.П.Басова. Рентгенограмма № 6350. Лаборатория минераграфии ИГЕМ. Fe-излучение, 35 кВ, 16 А, d = 0,3 мм.

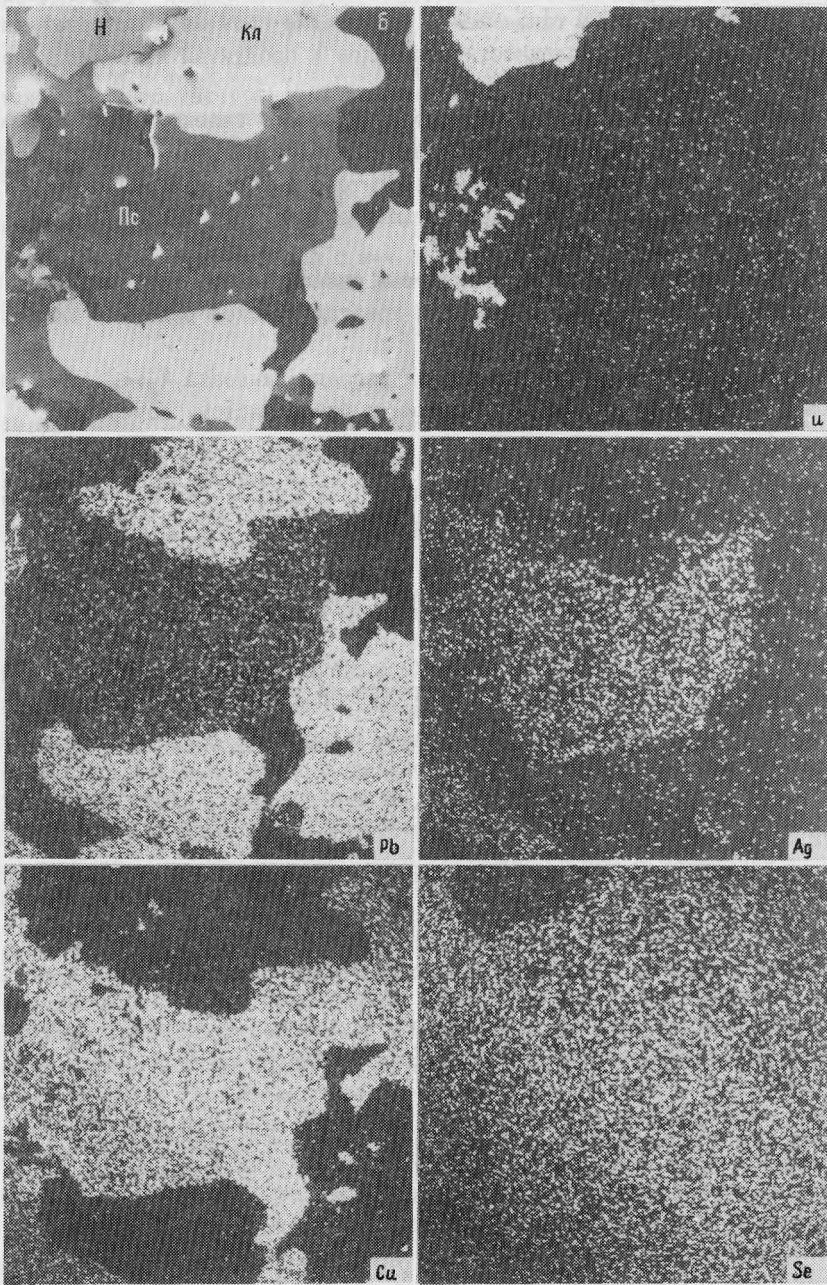
Микрорентгеноспектральный анализ отражает суммарный состав псевдоморфоз, в общих чертах соответствующий формуле R_3Se_2 (см. табл. 4, ан. 4-8):



Как известно [4], процесс эволюции селенидов идет с постоянной последовательностью: умангит $Cu_3Se_2 \rightarrow$ берцелианит Cu_2Se . Фактически здесь наблюдается аналогичный переход, но в более сложном варианте. Распад метастабильного X-минерала R_3Se_2 произошел аналогичным путем: $R_3Se_2 \rightarrow Cu_2Se + RSe$.

Сравнение межплоскостных расстояний (см. табл. 6) и прежде всего четырех наиболее сильных линий рентгенограммы с эталонными [17-19] показывает на возможную принадлежность их берцелианиту Cu_2Se . d/n , Å(1): 3,33 (9); 2,03(10); 1,731(8). У последней линии другая интенсивность, но зато ряд других - 2,48(1); 2,25(1); 2,435(3); 1,318(2); 1173(4) - хорошо совпадает с полученными значениями. Часть линий, возможно, принадлежит α -эвнайриту $CuAgSe$ или клаусталиту $PbSe$. Это прежде всего 3,06(10); 2,17(7); 1,370(5). Сильные линии 3,14 и 2,910 характеризуют хакит R_3SbSe_3 , линии 3,59(4); 3,06(10); 2,24(4); 2,10(4); 1,734(3) характерны для невскита $Bi_2(Se,S)_2$, и можно ожидать здесь присутствие структурно близкого к ним минерала эпитакаических сростков.

Если взять за основу ан. 6 (см. табл. 4) с наиболее близким к стехиометрии соотношением катионов и анионов, то состав псевдоморфозы распада может быть выражен следующим уравнением: $(Cu_{2,35}Pb_{0,31}Bi_{0,22}Ag_{0,06})_{2,94}Se_2 = Cu_2Se + (Cu_{0,35}Pb_{0,31}Bi_{0,22}Ag_{0,06})_{0,94}Se$. Последнее выражение (примесь в берцелианите) можно представить так: $CuPb(Bi,Ag)Se_3$, в целом по составу это отвечает новому минералу, близкому к безсернистому соуечкиту $CuPbBi(Se,S)$. Ртуть в нем очень мало или она отсутствует, есть небольшая примесь As и Tl, но микронзонд не обнаружил в нем Sb, S, Zn, Fe, Co, Ni, U и TR.



Р и с. II. Псевдоморфоза по R_3Se_2 (с отпечатками от алмазной пирамиды). Изображение в отраженных электронах (увел. 300) и распределение основных элементов в настуране - Н (U), клаусталите - Кл (Pb, Se), псевдоморфозе - Пс (Pb, Ag, Cu, Se) и берцелианите - Б (Cu, Se)

Выводы

1. Парагенезис мгриита и других селенидов и прежде всего возрастные взаимоотношения их с карбонатами, а также малое содержание $PbSe$ в настуранах являются косвенными признаками принадлежности селенидов к продуктам наиболее молодой минерализации Рудных гор.

2. Сравнение мгриита и синтетического кубического селенида состава Cu_3AsSe_3 показало их полную идентичность, в то время как близкий к мгрииту по составу и свойствам минерал шамеанит с формулой для гетерогенного материала $(Cu,Fe)_4As(Se,S)_4$, возможно, является разновидностью мгриита, а не самостоятельным минеральным видом.

3. Обнаружена и изучена богатая висмутом разновидность петровицита по физическим свойствам, структуре и параметрам кристаллической решетки, близкая к эталонному петровициту.

4. Выявлена гетерогенная псевдоморфоза распада минерала R_3Se_2 , сложенная берцелианитом и минералом, по составу близким к безсернистому соуцекиту.

Литература

1. Harl ass E., Sch ü t z e l H. Zur Stellung der Barytgänge in der Walframitlagerstätte Aue (Sachsen) // Z.f. angew. Geol. 1965. Bd. 11, N. 10. S. 521-524.
2. B a r s u k o w W.L., B e l j a j e w I.F., S j e r g e e w a, S o k o l o w a K.T. Über die Herkunft einiger Komponenten, die Uran in den Lagerstätten der sog. Bi-Co-Ni-Ag-U-formation begleiten // Ibid. 1968. Bd. 14, N. 10. S. 512-519.
3. Ры ж о в Б.И. "Буорошпатовые" жилы Саксонских Рудных гор (ГДР) и место в них селеновой минерализации // Месторождения урана: зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат, 1970. С. 156-184.
4. Ды м к о в Ю.М. Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: Недра, 1985. 207 с.
5. Ды м к о в Ю.М., Л о с е в а Т.И., З а в ь я л о в Е.Н. и др. Мгриит $(Cu,Fe)_3AsSe_3$ - новый минерал // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1982. Ч. 3, вып. 2. С. 215-219.
6. Ды м к о в Ю.М., Ры ж о в Б.И., З а в ь я л о в Е.Н., Ц в е т к о в а М.В., Щ е р б а ч е в Д.К. Bi - разновидность петровицита из доломитовых жил Рудных гор // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306, № 6. С. 1451-1455.
7. Б о й ц о в В.Е., Ды м к о в Ю.М. Уран-селен-ванадиевое оруденение карбонатно-настурановых жил // Месторождения урана: Зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат, 1970. С. 119-155.
8. I o h a n n Z.L., P i c o t P., R u h l m a n n F. Evolution paragénetique de la minéralisation uranifère de Chaméane (Puy-de-Dôme), France: chaméanita, geffroyite et giraudite, trois selenures nouveaux de Cu, Fe, Ag et As // TMRM. 1982. Vol. 29. P. 151-167.
9. Х в о р о с т е н к о А.С., К и р и л е н к о В.В., П о п о в Б.И. и др. Диаграмма состояния системы $As_2Se_3-Cu_2Se$ // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1972. Т. 8, № 1. С. 73-79.
10. С а в а н Я., К о ж и н а И.И., О р л о в а Г.М., Б и н д е р Х. Исследование кристаллизации стекол в системе As-Se-Cu // Там же. 1969. Т. 5, № 3. С. 492-497.
11. О р л о в а Г.М., А м и н б о р ш в и л и Н.А., К о ж и н а И.И., Д о р о г о п у н ц е в а А.П. О характере структурно-химического взаимодействия компонентов в стеклообразной системе As-Se-Cu // ЖПХ. 1972. Т. 45, № 2. С. 2385-2389.
12. Ч в и л е в а Т.Н., К л е й н б о к В.Е., Б е з с м е р т н а я М.С. Цвет рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1977, 189 с.
13. I o h a n n Z., K v a b e k M., P i c o t P. - La petrovicite, $Cu_3HgPbBiSe_5$, un nouveau mineral // Bull. Soc. fr. miner. cristallogr., 1976. Vol. 99, N 5. P. 310-313.

14. U e - l s n e r O. Über ein vorkommen von coffinit im sächsischen Erzgebirge und methoden zu seiner erkennung // Geologie. 1961. Bd.10. N. 7. S. 818-823.
15. Барсуков В.Л. Кварцево-кальцит-настурановые жилы Рудных гор и место в них коффинита (опыт онтогенетического анализа) // Вопросы прикладной радиогеологии. М.: Атомиздат, 1967. С. 150-194.
16. Д у б а к и н а Л.С., С т р е л к и н а Е.М. К минералогии кварцево-карбонатно-айкинито-настурановой ассоциации Рудных гор//Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений. Л.: Наука, 1973. С. 55-61.
17. М и х е е в В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 867 с.
18. B e r g r y L.G., T h o m p s o n R.M. X-ray data for ore mineral; the Peacock atlas // Geol. Soc. Amer. Mem. 1962. Vol. 85. 281 p.
19. Ч в и л е в а Т.Н., Б е з с м е р т н а я М.С., С п и р и д о н о в Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.

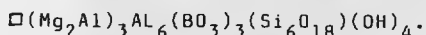
УДК 549.612

П.В.Осипов, В.Н.Столповская

ЩЕЛОЧНОДЕФЕКТНЫЙ ХРОМ-АЛЮМИНИЕВЫЙ ДРАВИТ - НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТУРМАЛИНА ИЗ МАССИВА САРЫКУЛБОЛДЫ

В турмалинах из ультраосновных массивов распространенной изоморфной примесь является хром [4,10,13 и др.], но лишь в отдельных случаях он входит в структуру минерала в значительном количестве [II]. Описана разновидность с аномально высоким содержанием оксида хрома (31,6 мас.%), найденная в слюдистых метасоматитах [8]. Показано, что хром может замещать любой из катионов в Y - и Z - позициях, следовательно, хромсодержащие разности возможны практически среди всех типов в группе турмалинов [I,3,8,II].

Найденный и изученный нами турмалин является неизвестной хромсодержащей разновидностью. Минерал щелочнодефектный, богатый хромом и алюминием, по кристаллохимическим свойствам близкий к синтезированным бесщелочным алюминиевым дравитам [14, 15], состав которых может быть в общем представлен формулой



Появление турмалина в ордовикском дунит-гарцбургитовом массиве Сарыкулболды (Центральный Казахстан) связано с длительной историей преобразования его пород. На ранних этапах автometасоматического замещения ультрамафиты были локально серпентинизированы. Наиболее глубокие их изменения вызвало внедрение гранитной интрузии карбонового возраста, полукольцом опоясывающей массив. Преимущественно углекислый состав эволюционирующих гидротермальных растворов, отделившихся от гранитоидов, обусловил площадную серпентинизацию гипербазитов, по которым впоследствии при воздействии вторичных процессов формировались породы качественно нового и отличающегося от первичного состава. В основании колонки метасоматитов распространены магнезиально-карбонатные породы, выше - тальк-лимонитовые и венчают разрез кремнисто-лимонитовые разности. Наиболее значительные изменения ультрабазиты претерпели в зонах долгоживущих нарушений северо-западного простирания, где на различных стадиях гидротермального метаморфизма образовались метасоматиты существенно хлоритового состава с шерлом-дравитом, кварцевые жилы с зеленым турмалином, жилы преимущественно магнетитового состава, происходило дробление пород, их оталькование и образование талькитов. Минералого-петрографи-