

Химический состав слюдястого апофиллита\*

Компонент	Вес. %	Атомные количества	Пересчет на $\Sigma_{\text{кат}}=13$
SiO <sub>2</sub>	48,00	0,79880	7,52
TiO <sub>2</sub>	0,67	0,00838	0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,85	0,03630	0,34
MgO	0,23	0,00570	0,05
CaO	23,18	0,41334	3,89
Na <sub>2</sub> O	0,93	0,03001	0,28
K <sub>2</sub> O	4,20	0,08917	0,84
H <sub>2</sub> O	15,71	1,74400	16,41
F	1,62	0,08526	0,80
-O=F <sub>2</sub>	0,80		
С у м м а	95,59		
Аналитик		О.Г. Унанова	

\* Дополнительно к данным таблицы спектральным анализом в минерале установлены примеси Mn, Ce, La, Y, Nb, Sr, Cu, Be.

фии и электронной микроскопии. По электронограммам от текстур и микродифракциям, четко выявившим ортогональный характер решетки, рассчитаны параметры тетрагональной ячейки  $a_0=9,18\text{Å}$ ,  $c_0=15,88\text{Å}$ , которые весьма близки к соответствующим параметрам ячейки эталонного апофиллита. Дебаеграммы изученного апофиллита, снятые на Cu- и Fe-излучениях, визуальнo тождественны эталонным рентгенограммам этого минерала, полученным при тех же условиях съемки.

Для полного химического анализа под бинокляром было отобрано 130 мг чистого вещества. Анализ выполнен О.Г. Унановой из микронавесок фотометрическим и атомно-абсорбционным методами, фтор определялся с помощью фтороселективного электрода. Неполная сумма анализа (табл.) объясняется тем, что ограниченное количество вещества не позволило провести определение содержаний второстепенных и редких элементов. Тем не менее полученные результаты пересчитываются при сумме катионов 13 на эмпирическую формулу  $(K_{0,84}Na_{0,16})_{1,00}(Ca_{3,89}Na_{0,12})_{4,01}(Si_{7,52}Al_{0,34}Ti_{0,08}Mg_{0,05})_{7,99}O_{19,71} \cdot [F_{0,80}(OH)_{0,20}] \cdot 8,1OH_2O$ , весьма близкую к теоретической  $KCa_4Si_8O_{20}F \cdot 8H_2O$ . Характерной особенностью состава изученного апофиллита г. Пьялкимпорр Ловозерского массива является повышенное содержание натрия, что отмечалось ранее [3] и для апофиллита района горы Вавнбед этого же массива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов В.Ф. Минералогия апофиллитовых жил горы Юкспор (Хибинские тундры). — В кн.: Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. Л.: Изд-во АН СССР. вып. 3, 1960.
2. Семенов Е.И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. Наука, 1972.
3. Тихоненкова Р.П., Тихоненков И.П. К минералогии контактной зоны Ловозерского массива. Труды ИМГРЭ, 1962, вып. 9.

УДК 548.334 + 553.068.42 (57)

Э.М. СПИРИДОНОВ

### МИНЕРАЛОГИЯ СКАРНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ ИЧКЕУЛЬМЕС (Северный Казахстан)

Мелкое по масштабам, обработанное скарновое месторождение меди Ичкеульмес сложено целой гаммой минеральных ассоциаций, содержащих разнообразные минералы меди, железа, цинка, кобальта, никеля, висмута, свинца, молибдена, вольфрама, теллура; особенно широко развиты относительно редкие минералы группы айкинита — гладит и кропкаиит, а также висмутин различного состава.

Минеральный состав месторождения изучался Н.Я. Яценко [1, 2], О.С. Анкинович [3, 4], Г.Г. Лабзенко и В.С. Луговых. По данным Н.Я. Яценко, главные минералы руд — халькопирит, магнетит, мушкетовит, пирит, гематит, в подчиненном количестве развиты

кобальтин, молибденит, сфалерит, висмутин, шеелит, золото, тетрадимит, самородный висмут, галенит, пирротин, ильменит, маггемит, графит, линнеит (?), гипергенные халькозин, ковеллин, борнит, самородная медь. О.С. Анкинович указала кроме того арсениопирит, марказит, айкинит, виттехенит (?); Г.Г. Лабзенко — кубанит, буланжерит. Диагностика минералов была проведена главным образом путем качественной оценки их оптических свойств.

При изучении месторождения в 1971–1974 гг. нами было установлено широкое развитие различных сульфосолей и сульфотеллуридов висмута, сульфидов и сульфоарсенидов кобальта, замечено отличие ассоциаций и состава минералов висмута, наблюдаемых среди разнообразных более ранних минеральных агрегатов. Диагностика рудных минералов проведена по их оптическим свойствам, спектрам отражения, рентгенометрическим данным и проверена на микроанализаторе.

Химический состав граната, ильваита, волластонита, хлорита, мушкетовита и сфалерита определен классическим методом. Химический состав большинства сульфидов определен с помощью электронного микроанализатора JXA-5 при ускоряющем напряжении 25 кВ, эталонами служили чистые металлы — Co, Ni, Fe, Au, Ag, Cu, Bi, Te, Se, Zn, Cd, Sb и химически анализированные халькопирит, халькостибит, арсениопирит, тетрадимит, теллуrowисмутит, гладит, алтаит, клаусталит, колорадоит. Для каждого элемента в одном образце проводилось 6–10 измерений. Состав минералов рассчитан методом последовательных приближений по программе "Карат" ВЦ СО АН СССР с учетом поправок на поглощение, на атомный номер, на флюоресценцию. Проверка с помощью микрозонда показала, что самородные висмут и серебро, галенит, арсениопирит, теллуриды золота, аргентит, энаргит, буланжерит в рудах Ичкеульмеса были диагностированы ошибочно.

Спектры отражения минералов сняты Т.Н. Чвилевой на приборе "Блеск". Микротвердость измерена Н.Ф. Соколовой на приборе ПМТ-3, который тарировался по каменной соли,  $H_{NaCl} = 21 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $P = 5 \text{ гс}$ .

При описании граната скарнов, имеющего гроссуляр-андрадитовый состав, использована номенклатура А.П. Грудева [5]: 0–35% андрадитового компонента — гроссуляр, 35–65% — аплом, 65–100% — андрадит. Такое использование термина аплом находится в соответствии с часто применяемой трактовкой аплома как глиноземистой разновидности андрадита, например, А.Г. Бетехтиным [6].

\* \* \*

Месторождение Ичкеульмес расположено в юго-западном экзоконтакте Селетинского интрузива адамеллитов и гранодиаритов позднеордовикского крыккудукского комплекса. К-Аг возраст адамеллитов по биотиту 444–456 млн. лет [7]. Контактному метаморфизму и послемагматическому метасоматозу подверглись осадочные породы верхов ичкеульмесской свиты раннего кембрия, представленные линзовидно переслаивающимися кварцевыми и граувакковыми песчаниками, алевролитами, фанитами, кремнисто-карбонатными породами, туффитами базальтового состава, с прослоями и линзами известняков, углеродистых и доломитовых известняков, пиритоносных углеродисто-кремнистых пород. Осадочные породы местами обогащены серой до 1 вес. %.

Скарновые тела обладают сложной морфологией, чаще это линзообразные или ветвящиеся залежи длиной от долей метра до первых сотен метров, мощностью от сантиметров до 80 м, обычно 2–10 м. Нередко наблюдаются раздувы и пережимы скарновых тел, включения в них роговиков. Еще более сложна морфология оруденелых скарновых зон, мощность их редко превышает 3 м. Рудные зоны склоняются примерно параллельно поверхности контакта интрузива адамеллитов. К-Аг возраст скарнов по клинопироксену 445 млн. лет [2].

На месторождении нами выделяются следующие минеральные ассоциации: роговиков, ранних и поздних скарнов, гидросиликатных скарнов, пропицитов, средне-низкотемпературные гидротермальные ассоциации; последним уделено наибольшее внимание, так как они богаты редкими сульфосолями и сульфотеллуридами висмута. Кратко охарактеризована минералогия зоны окисления.

*Минеральные ассоциации роговиков.* Песчаники и алевролиты в контактовом ореоле превращены в биотит-плагиоклаз-кварцевые роговики. Разновидности их, содержащие в цементе карбонат, превращены в роговики с железистым гроссуляром (табл. 1, гр. 1), сернистым пирротином и магнетитом. Кремнисто-карбонатные породы с линзами известняков и доломитовых известняков превращены в известково-силикатные роговики и силикатные мраморы, состоящие из кальцита, волластонита, гроссуляра (табл. 1, гр. 2),

Таблица 1

Химический состав граната (1–6), волластонита (7), ильваита (8), хлорита (9), мушкетовита (10–11) месторождения Ичеульмес, вес. %

Компонент	№ п.п., число опытов										
	1 (2)	2 (3)	3 (7)	4 (6)	5 (2)	6 (2)	7 (1)	8 (1)	9 (1)	10 (1)	11 (1)
SiO <sub>2</sub>	36,55	36,79	35,90	34,66	35,28	35,72	51,46	29,42	28,18	0,28	0,55
TiO <sub>2</sub>	0,67	0,43	0,31	0,09	0,34	0,03	Сл.	0,02	0,03	0,30	0,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,05	0,04	0,07	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,65	20,80	10,43	1,88	12,70	9,06	Сл.	0,12	14,78	0,54	0,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,50	4,96	17,35	30,46	15,80	20,95	"	20,42	1,60	68,01	67,45
FeO	0,37	0,79	1,92	0,33	1,62	0,35	0,18	29,02	31,30	30,37	30,54
MnO	0,08	0,12	0,77	0,28	0,75	0,83	0,18	5,09	0,81	0,10	0,08
MgO	1,50	1,12	0,32	0,11	0,45	Сл.	Сл.	0,14	10,52	0,30	0,35
CaO	31,96	34,13	31,21	32,18	31,87	33,43	47,67	13,02	0,75	0,00	0,21
Na <sub>2</sub> O	–	0,09	0,34	0,32	0,21	0,30	0,13	0,41	0,27	–	–
K <sub>2</sub> O	–	0,01	0,06	0,04	Сл.	0,05	0,06	0,10	0,18	–	–
H <sub>2</sub> O*	3,88	0,37	1,21	0,57	0,21	–	0,16	2,21	11,05	–	–
Сумма	100,16	99,66	99,86	100,88	99,70	100,80	99,84	99,97	99,67	99,95	100,15

Примечание. Кроме того, мушкетовит (10 и 11) содержит соответственно: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,005 и 0,03%, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,01 и 0,005%, NiO – 0,02 и 0,01%, CoO – 0,01 и 0,00%.

Образцы: 5 – Сел-1-67, 7 – Сел-11-75, 8 – Сел-1-67, 9 – Сел-3К-73, 10 – Сел-1-71, 11 – Сел-2-71. Коллекция Э.М. Спиридонова, аналитики Л.Н. Костылева (МГУ) (1–6) и А.К. Армарчук (МГУ) (7–11). Средние составы граната: 1 – Fe-гроссуляр силикатных роговиков, 2 – гроссуляр известково-силикатных роговиков, 3 – аплом ранних пироксен-гранатовых скарнов, 4 – андрадит поздних гранатовых скарнов, 5 – аплом магнетит-геденберитовых скарнов, 6 – Fe-аплом эпидот-гранатовых скарнов.

диопсида, пирротина, графита, везувiana. На контакте линз карбонатных и силикатных пород наблюдаются сплошные оторочки волластонитовых, гранат-волластонитовых, диопсид-волластонитовых, реже кварц-волластонитовых роговиков, местами со значительной (до 10%) примесью относительно малосернистого пирротина [9]. Нередко можно видеть зональные образования: роговики – существенно гранатовые породы – гранат-волластонитовые породы с пирротинном – волластонитовые породы с пирротинном – волластонитовый мрамор – мрамор. Размер выделений волластонита достигает 4 см. Пирротин выполняет промежутки между зернами волластонита и граната. Особенностью граната роговиков является очень низкое содержание марганца и повышенное магния.

Изредка в волластонитовых роговиках наблюдаются маломощные прожилки белого лучистого минерала из группы ксенолита, состав которого по данным химического анализа, приведенного О.С. Анкинович [3], отвечает CaSiO<sub>3</sub> · 1,5H<sub>2</sub>O.

Туффиты базальтового состава превращены в салит-плагноклазовые роговики с тонкой рассеянной вкрапленностью, реже небольшими гнездами гексагонального железистого пирротина с примесью троилита, халькопирита (местами превалирует над пирротинном), небольшого количества пентландита.

Там, где скарновые минеральные агрегаты наложены на роговики, в последних исчез пирротин, а нередко и графит.

*Минеральные ассоциации ранних скарнов.* Во многих участках на роговики наложены скарны салит-гранатового или существенно гранатового состава. Эти ранние скарны, повидимому, имеют биметасоматическое происхождение, так как характеризуются сильно изменчивым составом граната – от железистого гроссуляра с 30% андрадитового компонента до андрадита. Преобладает в составе ранних скарнов крупнозернистый аплом (табл. 1, № 3) зонального строения: ядра крупных кристаллов сложены алюминиевым апломом, преобладающая часть кристаллов – апломом, внешние зоны – железистым апломом, иногда алюминиевым андрадитом. Изредка встречается альмандин-андрадитовый гранат, обогащенный двухвалентным железом и относительно бедный кальцием. Клинопироксен представлен салитом и железистым салитом, которые почти полностью замещены хлоритом, карбонатом, актинолитом.

*Минеральные ассоциации поздних скарнов.* Весьма широко распространены агрегаты позднескарновых минералов, слагающие обособленные тела, прожилки и гнезда в ранних скарнах и роговиках. Границы агрегатов минералов ранних и поздних скарнов рез-

кие даже в пределах небольшого штуфа. Позднескарновые ассоциации сложены преобладающим средне-, крупно- и грубозернистым гранатом, халькопиритом, гематитом, значительно менее кальцитом и кварцем. Халькопирит с включениями гематита выполняет промежутки между зернами андрадита, вдоль контактов граната и халькопирита отсутствуют признаки реакционных соотношений. Вероятно, заметная часть халькопирита месторождения относится к минеральным ассоциациям поздних скарнов.

Гранат представлен андрадитом, содержание андрадитового компонента в большинстве случаев выше 90%, обычно более 95%, характерно очень небольшое, менее 1%, количество спессартинового компонента, очень низкое содержание титана — в среднем 0,08%  $TiO_2$  и относительно высокое фосфора 0,06%  $P_2O_5$  (табл. 1, гр. 4), в среднем 8 г/т. Меди столь же мало 10–30 г/т, как и в гранате ранних скарнов. Параметр элементарной ячейки этих гранатов выше 12,0Å, т.е. близок чистому андрадиту. Выдержанность состава позднескарнового граната по всему объему месторождения свидетельствует об инфильтрационном происхождении позднескарновой минеральной ассоциации, которая образовалась при повышенном окислительном потенциале, поскольку возник гематит, а гранат богат  $Fe^{3+}$ .

Халькопирит, по рентгенометрическим данным, представлен обычной тетрагональной модификацией. Для него характерны пластинчатые двойники длиной до 4–6 см. Халькопирит содержит редкие крупные скелетные структуры распада железистого сфалерита. Гематит наблюдается в виде пакетов, розеток и т.п. агрегатов пластинок с поперечником от долей до 25, чаще около 5 мм, заключенных в массе халькопирита. Большая часть гематита почти полностью замещена магнетитом — мушкетовитом.

Возможно, к позднескарновым ассоциациям относятся тонкие прожилки и рассеянная вкрашенность карбоната и менее кварца, наблюдаемые местами среди агрегатов ранне- и позднескарновых минералов. В участках наложения карбонатных прожилков на ранние гранатовые скарны иногда отмечается обильная вкрапленность молибденита; в участках наложения карбонатных прожилков на поздние скарны салит-андрадитового состава наблюдается вкрапленность шеллита, изредка в парагенезе с молибденитом и халькопиритом.

*Минеральные ассоциации гидросиликатных скарнов.* Еще более молодыми образованиями являются гидросиликатные скарны, слагающие систему гнезд, прожилков и оторочек. Они развиты среди более ранних скарнов, вдоль их контактов с роговиками, а нередко и среди роговиков. Размер гнезд гидросиликатных скарнов обычно до 0,5x0,5 м, иногда достигает 3x2 м. В одних местах эти образования сложены агрегатами аплома и алюминиевого андрадита, относительно обогащенного марганцем (табл. 1, № 6), эпидота, с небольшими (до 5 см) гнездами халькопирита, цементирующего силикаты. В других местах, как правило, вдоль контактов силикатных роговиков и мраморов, гидросиликатные скарны имеют состав магнетит-геденбергитовый, гранат-магнетит-геденбергитовый или карбонат-геденбергитовый с тем или иным количеством ильваита, халькопирита, графита.

Геденбергит обычно наблюдается в агрегатах призматических или игольчатых кристаллов длиной от долей до 7 мм. Мелкозернистый магнетит содержит заметное количество марганца 0,7–0,9% MnO. Гранат по составу отвечает аплому, относительно богат марганцем (табл. 1, № 5). Ильваит развит чаще среди карбонат-геденбергитовых скарнов, где приурочен к контакту участков существенно пироксенового и существенно карбонатного состава.

В гидросиликатных скарнах, в отличие от более ранних массивных скарнов, наблюдаются пустоты, выстланные кристаллами граната и щетками эпидота, на которые местами выросли кальцит и/или кварц. Гидросиликатные скарны формировались в условиях пониженного окислительного потенциала, о чем свидетельствует широкое развитие минералов с двухвалентными железом и марганцем.

*Пропилитовые минеральные ассоциации.* На скарны и роговики Ичкеульмеса вдоль зон дробления и по системам трещин наложены относительно широко проявленные пропилитовые ассоциации, включающие эпидот, актинолит, карбонат, кварц, реже пренит и альбит. Наиболее распространены линзы и прожилки эпидозитов, кварцевых и карбонатных эпидозитов с гнездами крупнозернистого кальцита, включающего игольчатые кристаллы эпидота и актинолита. Местами встречаются почти мономинеральные агрегаты актинолита, заместившие пироксеновые скарны или роговики основного состава. Прожилки пренита, как правило, отмечаются среди известково-силикатных роговиков.

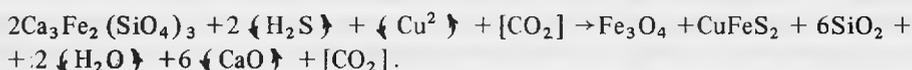
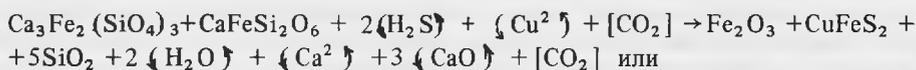
*Средне-низкотемпературные гидротермальные минеральные ассоциации* проявлены очень широко. Они возникли в основном метасоматическим путем преимущественно среди поздних скарнов и гидросиликатных скарнов. Гидротермальные минеральные ассоциации включают кварц, кальцит, хлорит, халькопирит, мушкетовит, магнетит, гематит, пирит, кобальтин, сульфосоли висмута и ряд других менее распространенных минералов.

Более ранними являются агрегаты халькопирита как мономинеральные, так и в ассоциации с гематитом или с мушкетовитом, а также мушкетовита или мушкетовита с хлоритом; в этих агрегатах почти повсеместно развита масса участков, гнезд и прожилков кварца смушкетовитом. В массивных халькопиритовых или мушкетовит-халькопиритовых рудах часто наблюдаются реликты отдельных кристаллов или зернистых сростков андрадита с каймой замещения, состоящей из мушкетовита или из мушкетовита и кварца. В халькопиритовых, хлорит-мушкетовит-халькопиритовых и халькопирит-магнетит-мушкетовитовых рудах с пятнистой, полосчатой или линзовидно-полосчатой текстурой пятна, полосы и линзы сложены частично замещенными гранатовыми или пироксен-гранатовыми скарнами или псевдоморфозами по ним — агрегатами мушкетовита, хлорита с мушкетовитом и кварцем, мушкетовита и халькопирита с кварцем; мушкетовит обычно замещает гранат, хлорит — пироксен.

В других участках халькопирит с мушкетовитом или мушкетовит с хлоритом и кварцем образуют гнезда среди интенсивно разложенных и выщелоченных скарнов, здесь множество пустоток с кристаллами магнетита и кварца. Кое-где жилы и прожилки халькопирита пересекают границы гранатовых скарнов и эпидозитов.

Халькопирит этой минеральной ассоциации слагает основную массу руд месторождения. Он представлен агрегатами зерен размером до 15 мм с тонкими полисинтетическими двойниками, с редкими звездчатыми структурами распада железистого сфалерита. Мушкетовит образует пластинчатые, звездчатые, веерообразные и розетковидные выделения с поперечником до 30 мм в агрегатах халькопирита. Кварц из кварц-мушкетовидных гнезд и прожилков содержит массу мельчайших газовой-жидких включений, богатых углекислотой.

Исходя из описанных соотношений очевидно, что агрегаты халькопирита, окислов железа и кварца возникли за счет андрадита и пироксена под действием гидротермальных слабо кислых сернистых медьсодержащих растворов с углекислотой:



По существу эти процессы близки к процессам березитизации-лиственитизации, но происходили они в среде весьма специфического состава.

Более поздними образованиями являются кварц-карбонатные, кварцевые или карбонатные гнезда и прожилки с хлоритом безрудные или с магнетитом, кобальтином, халькопиритом, железистым сфалеритом; метакристаллы кобальтина в массивных халькопиритовых рудах, в мушкетовите и хлорите; псевдоморфозы магнетита по гематиту и каймы обрастания магнетита вокруг него. Кобальтин и магнетит обрастают мушкетовит-халькопиритовые агрегаты, вместе с кварцем и карбонатом слагают гнезда среди разложенных и выщелоченных скарнов. Жилы и прожилки длинношестоватого кварца с карбонатом и хлоритом широко распространены среди гидротермально-измененных безрудных скарнов. Прожилки крупнозернистого кварца с халькопиритом, халькопиритом и сфалеритом, кобальтином и халькопиритом отмечены среди сплошных халькопиритовых руд и гидротермально-измененных гранатовых скарнов. Изредка встречаются брекчи, в которых обломки мушкетовит-халькопиритовых руд сцементированы железистым сфалеритом с небольшим количеством кварца и хлорита.

Среди халькопиритовых руд местами встречаются метакристаллы пирита, которые распределены неравномерно, часто расположены цепочками или образуют скопления. Пирита обычно много там, где мало мушкетовита. Наблюдалось замещение магнетита пиритом. На основании этого полагаем, что метакристаллы пирита образовались позже кобальтин-магнетитовой ассоциации.

В отдельных участках встречены брекчированные гидротермально измененные скарны, магнетит-халькопиритовые и кобальтин-пирит-халькопиритовые руды, сцементирован-

ванные хлоритом с кальцитом и обильными крупнозернистыми сфалеритом и халькопиритом. Этот поздний маложелезистый сфалерит, содержащий незначительное количество мельчайших телец распада халькопирита, оброс и частично заместил магнетит пирит, кобальтин. В парагенезе с маложелезистым сфалеритом находится халькопирит, который содержит очень небольшое количество мелких телец распада сфалерита. У этого халькопирита отсутствуют пластинчатые двойники. Особенности структур распада свидетельствуют о том, что парагенез маложелезистого сфалерита и халькопирита возник при довольно низких температурах.

Среди всех описанных выше минеральных агрегатов широко распространены метасоматические вроски сульфосоей и сульфотеллуридов висмута (и свинца), которые сопровождаются самородным золотом, зигенитом, а иногда и джайпуритом. Эти поздние гидротермальные образования концентрируются в карбонат-кварцевых гнездах, прожилках и жилах; в халькопиритовых рудах, где множество подобных гнезд и прожилков; в участках гидротермально-измененных скарнов, пропитанных кварцем и карбонатом. Количество тонких вросков висмутовых минералов местами столь велико, что они окрашивают жильный кварц или карбонат в темно-серый цвет. Весьма значительная часть висмутовых минералов возникла путем замещения кальцита, обычно вдоль контактов его зерен с кварцем, халькопиритом, кобальтином, магнетитом или хлоритом; значительная часть — при замещении халькопирита, меньшая — при замещении хлорита и т.д. Часто скопления висмутовых минералов тяготеют к гнездам кобальтина и магнетита.

Более ранними образованиями являются минералы группы айкинита — гладит, крупкаит (ранее минерал такого состава именовался линдстремитом), наффильдит и сульфиды висмута и свинца — виттит и устарасит; несколько более поздними — висмутиин и сульфотеллуриды висмута; золото находится в парагенезе с теми и другими.

В небольших количествах гладит наблюдается весьма часто. Около гнезд кобальтина гладит иногда образует мономинеральные скопления с поперечником до 2 см, рядом в участках размером до 6х6 см густо пропитывает разложенные скарны, здесь же наблюдаются графические сростки гладита и халькопирита. Весьма часто встречаются метасоматические вроски гладита в халькопирите или в кальците рядом с халькопиритом; характерны структуры, где гладит почти полностью заместил включения халькопирита в кобальтине; нередко наблюдаются розетки пластинчатых кристаллов гладита до 5х5х0,5 мм в гнездах кальцита и хлорита среди халькопиритовых руд. Гладит подчас образует сростки с крупкаитом, реже с висмутином. Гладит, развитый в кальците, отличается заметно большим содержанием свинца, которое близко к стехиометрическому, ничтожным содержанием железа и некоторым дефицитом серы. Гладит, развитый преимущественно среди халькопирита или заместивший халькопирит, характеризуется, как правило, дефицитом свинца и избытком висмута, небольшим избытком серы, заметным количеством железа.

Крупкаит встречается примерно в пять раз реже, чем гладит, с которым довольно тесно ассоциирует, а иногда образует сростки. Форма зерен крупкаита чаще всего неправильная, местами наблюдаются таблички или пластинки минерала до 3 мм в поперечнике. Крупкаит, развитый в кальците, отличается небольшим дефицитом серы и ничтожным количеством железа в среднем 0,07%; тогда как для крупкаита, слагающего метасоматические вроски в халькопирите, характерен небольшой избыток серы и повышенное содержание железа до 0,6, в среднем 0,20%.

Единичные небольшие зерна наффильдита находятся в агрегате магнетита и кобальтина неподалеку от выделений виттита. Заметим, что и в наффильдите и в виттите содержания висмута и свинца примерно равны. Виттит наблюдался довольно редко в небольших (до 1 мм) ксеноморфных выделениях среди агрегатов магнетита, кобальтина, кварца и кальцита. В тех случаях, где рядом с виттитом развит наффильдит, виттит обогащен серебром и содержит примесь меди; там, где рядом развит крупкаит, виттит обогащен медью. Устарасит обнаружен среди кальцита в агрегате магнетита и хлорита.

Очевидно, описанные выше наблюдения отвечают картине минеральной микроразнональности отложения (замещения), когда при воздействии поздних несущих висмут и свинец гидротермальных растворов на халькопирит образовались Cu-Pb-Bi-сульфиды — гладит и крупкаит, а в карбонатной среде, изолированной от халькопирита, возникли Pb-Bi-сульфиды — виттит и устарасит. Наблюдаются и более тонкие явления микроразнональности отложения, проявленные в особенностях химического состава гладита и крупкаита, возникших среди различных минеральных агрегатов.

Висмутин почти столь же широко распространен в рудах Ичкеульмеса, как и гладит; количественно существенно уступает гладиту, так как размер зерен висмутина не превышает 0,1 мм. Висмутин встречается преимущественно в агрегатах халькопирита, где он слагает обособленные выделения, сростки с сульфотеллуридами висмута, золотом, гладитом, изредка с крупкаитом. Наблюдалось обрастание и замещение гладита висмутином. В большинстве случаев в агрегатах халькопирита висмутин содержит не более 1% свинца и 0,5% меди. Довольно широко распространены разновидности висмутина с содержанием до 3% свинца и/или 1–2% меди – свинцово-медистый свинцовистый и медистый висмутин. Висмутин, наиболее обогащенный и свинцом и медью, представляет псевдоморфозу по гладиту. Свинцовистый и свинцово-медистый висмутин обычно находятся в сростаниях с гладитом. Как видно, состав висмутина выявляет ту же картину микрозональности отложения, которая отмечена выше для Cu–Pb–Bi и Pb–Bi-сульфидов.

Сульфотеллуриды висмута относительно широко распространены в мельчайших зернах менее 50 мк главным образом в агрегатах висмутина, подчас образуя с ним графические и субграфические сростки. Большая часть сульфотеллуридов принадлежит ряду теллуrowисмутин-висмутин: тетрадимит, минералы  $Bi_4Te_3S_3$  и  $Bi_8Te_7S_5$ : реже встречаются минерал  $Bi_2TeS$ , жозеит В и минерал  $Bi_2Te_3S$ . Иногда в одном образце в изолированных гнездах висмутина отмечаются разные сульфотеллуриды висмута. Сульфотеллуриды висмута, "недосыщенные" серой, – минералы  $Bi_2Te_3S$ ,  $Bi_2TeS$  и теллуржозеит находятся в парагенезе с сульфидами, относительно бедными серой – джайпуритом  $(Co, Ni)S$  и зигенитом  $(Co, Ni)_3S_4$ . Часть сульфотеллуридов висмута слагает метасоматические вроски в гладите.

Зигенит образует очень мелкие (до 15 мк) зерна, октаэдрические или кубооктаэдрические кристаллы и сростки в халькопирите, тесно ассоциирующие с висмутином, золотом, малосернистыми сульфотеллуридами висмута, реже с тетрадимитом, крупкаитом. Джайпурит наблюдался в виде мельчайших менее 10 мк округлых зерен в халькопирите в тесном парагенезе с золотом, бедным свинцом и медью висмутином, сульфотеллуридами висмута – чаще с минералом  $Bi_2TeS$ , с крупкаитом.

Судя по наблюдаемым соотношениям, парагенез зигенита или джайпурита с сульфотеллуридами висмута возник из остаточных гидротермальных растворов со значительной концентрацией теллура при относительном дефиците серы. Причем величина S: Te, вероятно, сильно варьировала в местах минералообразования даже в пределах микроучастков, чем обусловлено формирование в соседних гнездах висмутина различных сульфотеллуридов висмута.

*Минеральные ассоциации зоны цементации.* На месторождении широко развита зона окисления и зона цементации. Наши наблюдения касались лишь зоны цементации, в которой отмечены новообразования ковеллина и других "синих" сульфидов меди, халькозина, самородной меди, виттихенита. Гипергенный виттихенит особенно часто встречается на глубинах 40–60 м от поверхности, где зона цементации сменяется зоной первичных сульфидных руд. Виттихенит слагает каймы замещения и полные псевдоморфозы по гладиту, крупкаиту, наффильдиту, висмутину, а также прожилки и метасоматические бахромчатые вроски в этих минералах. Местами наблюдалось развитие одной трещинки, пересекающей полиминеральные руды, в пределах зерна халькопирита – ковеллина, в пределах зерна гладита (или другого висмутового минерала) – виттихенита, далее в пределах халькопирита – вновь ковеллина. Обилие виттихенита в зоне цементации месторождения Ичкеульмес обусловлено обилием медно-висмутовых сульфидов и халькопирита в первичных рудах.

\* \* \*

Закончив описание минеральных ассоциаций месторождения, перейдем к характеристике отдельных минералов.

*Волластонит* развит исключительно в известково-силикатных роговиках. Химический состав минерала (табл. 1, ан. 7) близок к теоретическому, формула минерала:  $(Ca_{2,992}Fe_{0,011}Mn_{0,009}Na_{0,015}K_{0,004})_{3,008}Si_{2,992}O_9$ . Оптические свойства и рентгенограмма волластонита Ичкеульмеса аналогичны эталонным.

*Ильваит* слагает призматические кристаллы, метакристаллы и неправильной формы выделения размером от долей мм до 6x1,5x1 см. Он выполняет промежутки между зернами геденберита, карбоната и граната, отчасти заместил их и содержит небольшое количество их включений и включений халькопирита и магнетита. Цвет ильваита черный. Кристаллы имеют форму ромбической призмы с продольной штриховкой на гранях приз-

Таблица 2

Рентгенограмма ромбического ильваита (обр. Сел-1-67) магнетит-геденбергитовых скарнов месторождения Ичкеульмес

<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å <sub>изм.</sub>	<i>d</i> , Å <sub>расч.</sub>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å <sub>изм.</sub>	<i>d</i> , Å <sub>расч.</sub>
002	0,5	6,54	6,51	224	1	1,960	1,956
111	0,5	4,59	4,58	131	3	1,891	1,888
112	2	3,88	3,91	117	0,5	1,738	1,740
211	10	3,41	3,416	422	1,5	1,707	1,708
113	2	3,25	3,248	512	0,5	1,645	1,645
020	3	2,92	2,931	008	1	1,631	1,629
021	0,5	2,85	2,859	331	2	1,616	1,618
121	3	2,72	2,722	234	0,5	1,571	1,568
022	3	2,67	2,673	317	0,5	1,521	1,522
204	4	2,62	2,627	430	0,5	1,469	1,467
015	2	2,384	2,381	431	1	1,456	1,458
123	1	2,337	2,343	613	1	1,365	1,363
006	1,5	2,172	2,172	244	1	1,280	1,280
402	2	2,109	2,103	229	0,5	1,246	1,246

Условия съемки: Fe-антикатод, Мп-фильтр,  $D = 56$  мм,  $d = 0,15$  мм.  
Аналитик Ф.М. Спиридонов.

мы. Оптические свойства ильваита Ичкеульмеса описаны в статье [10]. По составу (табл. 1, ан. 8) это марганцовистый ильваит, формула минерала  $(\text{Fe}_{1,64}^2\text{Mn}_{0,29}\text{Mg}_{0,02})_{1,95} \times \text{X} (\text{Ca}_{0,94}\text{Na}_{0,06}\text{K}_{0,01})_{1,01} | (\text{Si}_{1,99}\text{Al}_{0,01})_2\text{O}_7\text{O}(\text{OH})_{1,00}$ . Полуколичественным спектральным анализом в ильваите установлены (в г/т) — цинк 1000, мышьяк 300, медь 100, кобальт и германий 30, олово не обнаружено. Судя по рентгенограмме, ильваит представлен ромбической модификацией (табл. 2); параметры элементарной ячейки, рассчитанные методом наименьших квадратов,  $a_0 = 8,885 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 5,874 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 13,056 \text{ \AA}$ .

**Хлорит** характерный минерал гидротермально-измененных пироксенсодержащих скарнов. По химическому составу (табл. 1, ан. 9) отвечает низкоглиноземистому и высокожелезистому пикнохлориту, формула минерала  $(\text{Fe}_{2,879}^2\text{Mn}_{0,075}\text{Mg}_{1,724}\text{Al}_{1,019} \times \text{X} \text{Fe}_{0,132}^3\text{Ca}_{0,089}\text{Na}_{0,057}\text{K}_{0,025}) (\text{Si}_{3,100}\text{Ti}_{0,003}\text{Al}_{0,897})_4\text{O}_{10,172}(\text{OH})_{7,828}$ ;  $f = 64,2$ . Рентгенограмма минерала обычная для железистых  $14 \text{ \AA}$  хлоритов.

**Мушкетовит**. Химический состав минерала приведен в таблице 1, ан. 10 и 11. Мушкетовит содержит 96–97% магнетитового компонента, 1–2% компонентов шпинели, около 1% компонентов ильменита. Содержания титана и магнезия относительно высокие, а марганца, хрома, ванадия очень низкие, германия в среднем 15 г/т, индия 0,5 г/т. Отражение  $R\%$  мушкетовита в интервале видимого спектра: 21,9 (420 нм), 21,6 (440), 21,3 (460), 21,3 (480), 21,3 (500), 21,3 (520), 21,3 (540), 21,4 (560), 21,6 (580), 21,7 (600), 21,7 (620), 21,7 (640), 21,8 (660), 21,7 (680), 21,6 (700 нм). Микротвердость мушкетовита Ичкеульмеса 479–523, в среднем 497 кгс/мм<sup>2</sup> ( $n=14$ ,  $P=100$  гс), что близко к твердости чистого магнетита [8].

**Шеелит** наблюдается в изометричных зернах, реже в тетрагонально-бипирамидальных кристаллах размером от долей до 12 мм. Цвет шеелита белый или желтовато-белый. В центральной части зерен минерала кое-где обнаруживаются реликты замещенных граната и салита. По данным спектрального анализа шеелит содержит 0,2% молибдена.

**Молибденит** слагает чешуйки с поперечником от сотых долей до 7 мм. По рентгенометрическим данным, представлен гексагональной модификацией. Содержание рения составляет 16–31 г/т.

**Халькопирит** по рентгенометрическим данным представлен тетрагональной модификацией. Содержит заметное количество селена в среднем 63 г/т (из 18), теллура 7 (18), галлия 11, индия 4, германия 2–3, таллия около 2 г/т.

**Пирит** образует кристаллы кубической, реже кубооктаэдрической формы или неправильные выделения размером до 3 мм. Пирит содержит заметное количество (около 0,2%) никеля и кобальта (табл. 3, ан. 1). Величины отражения пирита приведены в табл. 4. В одном случае из нескольких сот на кристаллах пирита развита кайма бравоита.

**Бравойт** наблюдается достаточно редко на метакристаллах пирита в виде тонких (менее 0,3 мм), резко отграниченных кайм с четким зональным строением: пирит непосредственно оброс узкой зоной кобальтового (более 2% Со) или кобальтсодержащего

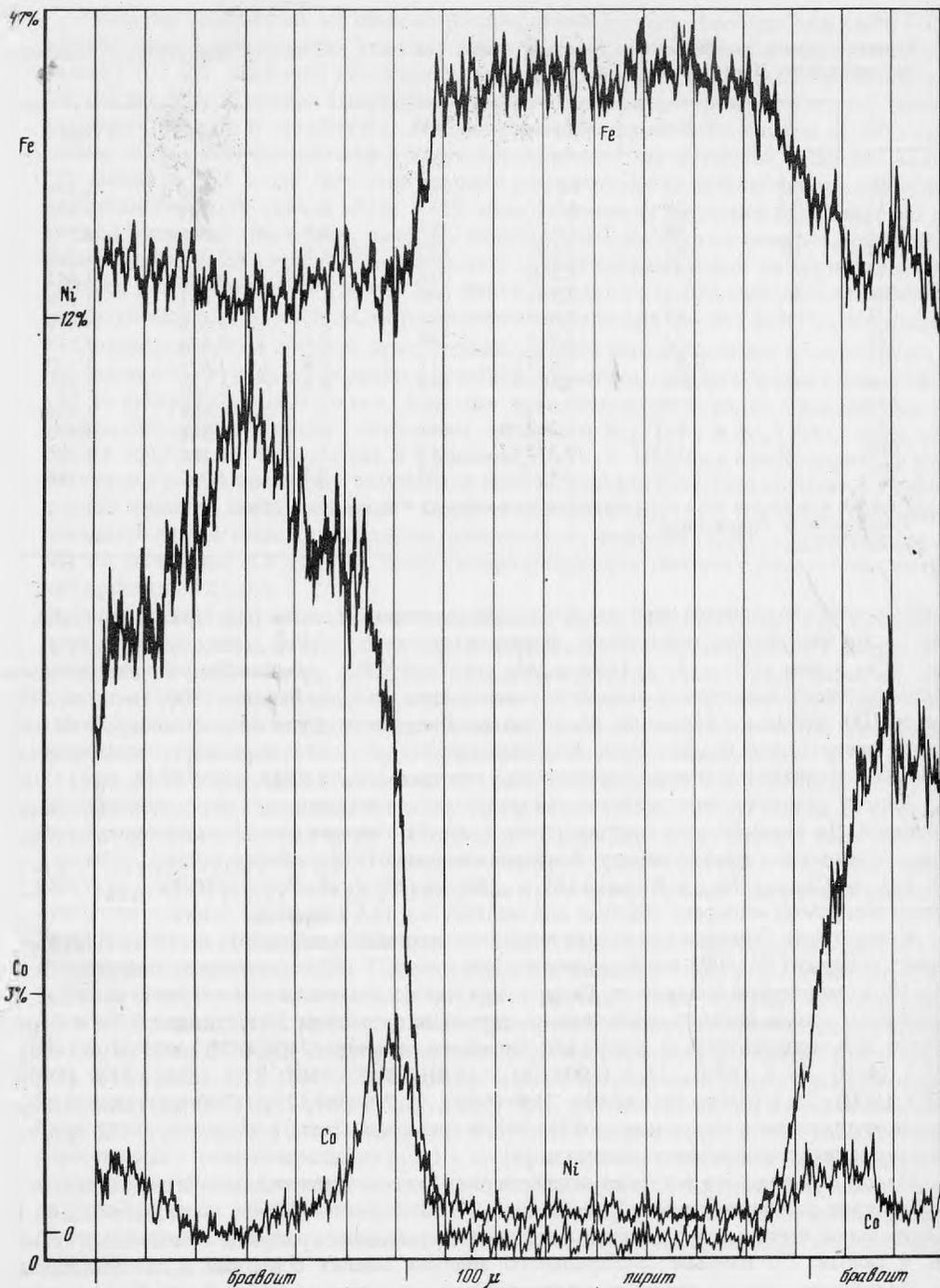
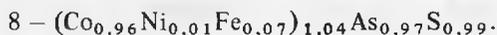
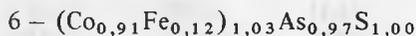
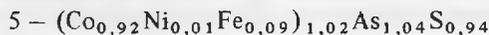


Рис. 1. Концентрационные профили Fe, Ni и Co вкост зонного кристалла пирита-бравойта из халькопиритовых руд месторождения Ичкеульмес. Обр. Сел-10-71

Снято на электронном микроанализаторе JXA-5

(около 1% Co) бравойта, далее — относительно широкая зона бравойта (до 11% никеля и менее 0,5% кобальта), кое-где за ней вновь зона кобальтсодержащего бравойта (рис. 1; табл. 3, ан. 1—4). Формулы бравойта, кобальтсодержащего и кобальтового бравойта в расчете на три атома следующие:  $(\text{Fe}_{0,75}\text{Ni}_{0,19}\text{Co}_{0,01})_{0,99}\text{S}_{2,01}$ ,  $(\text{Fe}_{0,84}\text{Ni}_{0,13} \circ \circ \text{Co}_{0,02})_{0,99}\text{S}_{2,01}$ ,  $(\text{Fe}_{0,78}\text{Ni}_{0,16}\text{Co}_{0,05})_{0,99}\text{S}_{2,01}$ . Бравойт и кобальтовый бравойт в отраженном свете отличаются от пирита значительно более темным, коричневым цветом. Профили спектров отражения бравойта и кобальтового бравойта подобны профилю пирита, но отличаются более низкими на 15–20% значениями  $R$ , чем у пирита (табл. 4).

*Кобальтин* наблюдается в идиоморфных или субидиоморфных кристаллах кубооктаэдрической, а чаще сложной формы размером от долей до 9 мм. В метакристаллах кобальтина местами множество включений халькопирита и мушкетовита. Распределен кобальтин в рудах крайне неравномерно — иногда встречаются его почти мономинеральные гнезда с поперечником до 15 см, в большинстве других мест присутствует редкая рассеянная вкрапленность кобальтина или он отсутствует. Состав минерала относительно устойчив (табл. 3, ан. 5–8), он содержит 2–4 железа и 0,1–0,4% никеля; характерен небольшой дефицит серы и мышьяка. Формулы кобальтина в расчете на три атома (по данным табл. 3):



Рентгенограммы кобальтина аналогичны эталонным, параметр элементарной ячейки  $a_0 = 5.633 \pm 0.002 \text{ \AA}$ , что несколько выше, чем у кобальтина идеального состава —  $5.61 \text{ \AA}$ .

Отражение железистого кобальтина Ичкеульмеса слегка выше, чем у кобальтина чистого [8], соответственно у обр. Сел-6-73 и Сел-7к-73  $R(\%)$  — 48,1 и 49,7 (420 нм), 47,4 и 49,1 (440), 47,1 и 48,8 (460), 47,4 и 48,9 (480), 48,4 и 49,3 (500), 49,5 и 49,9 (520), 50,3 и 50,6 (540), 51,2 и 51,4 (560), 52,4 и 52,3 (580), 53,0 и 52,7 (600), 53,6 и 53,1 (620), 54,3 и 53,7 (640), 54,7 и 54,0 (660), 55,2 и 54,4 (680), 55,8 и 55,0 (700 нм). Микротвердость кобальтина при нагрузке 100 гс составляет у обр. Сел-6-73 (Co:Fe = 7.6) — 1106 кгс/мм<sup>2</sup> (985–1223 кгс/мм<sup>2</sup>,  $n=20$ ), у обр. Сел-7-73 (Co:Fe = 12) — 1035 кгс/мм<sup>2</sup> (968–1143 кгс/мм<sup>2</sup>,  $n=18$ ); как видно, у более железистого кобальтина твердость несколько выше.

*Сфалерит*. Ранний сфалерит относительно высокожелезистый — содержит около 5% Fe (табл. 3, ан. 11, 12), довольно богат никелем и кадмием; меди в нем очень мало, хотя сфалерит содержит массу округлых телец распада халькопирита; формулы минерала: 11 —  $(\text{Zn}_{0,87}\text{Fe}_{0,11})_{0,98}\text{S}_{1,02}$ ; 12 —  $(\text{Zn}_{0,92}\text{Fe}_{0,08})_{1,00}\text{S}_{1,00}$ .

Поздний сфалерит представлен маложелезистой разновидностью (табл. 3, ан. 13), беден кадмием, содержит незначительное количество мельчайших телец распада халькопирита; формула его  $(\text{Zn}_{0,94}\text{Fe}_{0,05})_{0,99}\text{S}_{1,01}$ .

*Зигенит* в отраженном свете отчетливо розоватый или коричнево-розоватый в массе халькопирита; относительный рельеф зигенита значительно выше, чем у халькопирита. Состав зигенита Ичкеульмеса близок  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$  (табл. 3, ан. 9). Зигенит содержит значительную примесь железа, меньшую — меди и селена 0,5%, теллура 0,1%. Формула его в расчете на 7 атомов  $(\text{Co}_{1,62}\text{Ni}_{1,16}\text{Fe}_{0,17}\text{Cu}_{0,02})_{2,97}(\text{S}_{4,01}\text{Se}_{0,02})_{4,03}$ .

И. Минчева-Стефанова и И. Костов [11] минералы промежуточного состава ряда полидимит  $\text{Ni}_3\text{S}_4$  — линнеит  $\text{Co}_3\text{S}_4$ , которые именуются зигенитом, разделили на две группы — собственно зигенит с составом близким к  $\text{CoNi}_2\text{S}_4$  и никельлиннеит с составом близким к  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$ . С этой точки зрения описанный минерал можно именовать никелевым линнеитом. Спектр отражения минерала близок к зигениту и линнеиту по данным М.С. Безмертной и Т.Н. Чвилевой [8], но отличается слегка повышенными значениями  $R$  — 42,8% (420 нм), 43,2 (440), 43,9 (460), 45,0 (480), 46,0 (500), 47,0 (520), 48,0 (540), 49,9 (560), 50,2 (580), 50,7 (600), 51,6 (620), 52,5 (640), 53,1 (660), 54,1 (680), 55,2 (700 нм).

*Джайпурит*. Этот весьма редкий сульфид кобальта в месторождениях СССР, вероятно, раньше не отмечался. Относительный рельеф джайпурита несколько выше, чем у халькопирита. В отраженном свете минерал розовато-коричневый в массе халькопирита. Анализы (табл. 3, ан. 10) выполнены для центральных частей зерен минерала. Джайпурит Ичкеульмеса богат никелем (Ca : Ni = 5 : 4), содержит заметные количества железа, меди, мышьяка. Формула минерала в расчете на два атома  $(\text{Co}_{0,53}\text{Ni}_{0,40}\text{Fe}_{0,07}\text{Cu}_{0,03})_{1,03}(\text{S}_{0,96}\text{As}_{0,01})_{0,97}$ . Очень небольшой размер зерен минерала не позволил измерить его микротвердость и снять рентгенограмму. Величины отражения минерала  $R\%$  — 36,8 (420) 35,7 (440), 36,6 (460), 37,9 (480), 39,0 (500), 40,0 (520), 40,8 (540), 41,6 (560), 42,3 (580), 42,4 (600), 42,8 (620), 43,1 (640), 43,4 (660), 43,9 (680), 44,5 (700 нм).

*Гладит* — это наиболее распространенный минерал висмута месторождения. Макро-

Таблица 3

Химический состав пирита, кобальтового бравойта и бравойта зональных кристаллов, кобальтина, зигенита, никелевого джайурита, сфалерита халькопиритовых руд месторождения Ичкеульмес, вес. %

Элемент	Пирит	Кобальтовый бравойт	Кобальтсодер. бравойт	Бравойт	Кобальтин	
	1 (5)	2 (3)	3 (7)	4 (6)	5 (1)	6 (1)
	Сел-10-71				Сел-1-70	Сел-4-73
Co	0,20	2,43	1,11	0,47	32,28	33,04
Ni	0,21	8,03	6,51	9,24	0,26	0,08
Fe	46,65	36,55	39,19	36,53	2,99	4,12
Cu	—	—	—	—	0,00	—
Zn	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	46,68	44,50
S	53,75	53,95	53,66	52,93	18,05	19,78
Сумма	100,81	100,96	100,47	99,17	100,25	101,52

Примечание. Состав определен с помощью микрозонда JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов. В скобках — число анализов.

\* Кроме того, Sb 0,01%, Bi 0,07%. \* Кроме того, Se 0,49%, Te 0,11%. \* Кроме того, Se 0,30%.

скопически цвет гладиита серебристо- или оловянно-белый, у несколько выветрелых образцов голубовато- или синевато-серый. В одних случаях гладит слагает таблитчатые выделения с довольно совершенной спайностью, в другой представлен агрегатами игольчатых кристаллов (типа джемсонита). В отраженном свете гладит яркий голубовато-белый минерал с отчетливым двуотражением, резко анизотропный, величина двуотражения составляет около 20% отн. (табл. 7). Удельный вес минерала, определенный гидростатическим взвешиванием,  $6,83 \pm 0,05$  гс/см<sup>3</sup>. Рентгенограмма минерала аналогична эталонной [12], параметры ромбической ячейки  $a_0 = 33,53 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 11,49 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 4,00 \text{ \AA}$ . Химический состав гладиита, определенный классическим методом, приведен в табл. 5; он рассчитывается на формулу, близкую к теоретической  $\text{CuPbBi}_5\text{S}_9$ .

Результаты микрозондовых анализов гладиита приведены в табл. 6. Видны относительно широкие вариации состава минерала, особенно содержания висмута и свинца, изоморфно замещающих друг друга, аналогично — меди и железа. Гладит Ичкеульмеса часто содержит до 0,5% селена, небольшие количества сурьмы, серебра, ртути. Формулы гладиита в расчете на 16 атомов (по данным табл. 6):

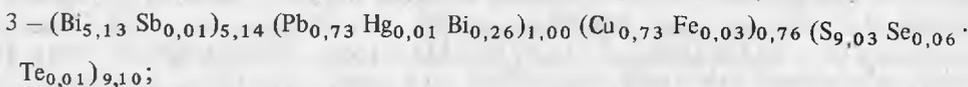
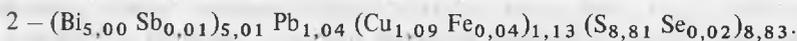
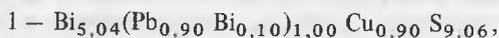


Таблица 4

Спектры отражения пирита (1), кобальтсодержащего бравойта (2), кобальтового бравойта (3) месторождения Ичкеульмес в интервале видимого спектра  $\lambda = 420 - 700$  нм, R%

№ пп	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
1	39,7	42,3	45,4	48,9	51,8	53,3	54,0	55,0	55,6	55,7	55,8	56,2	56,6	57,1	57,4
2	36,6	37,6	38,9	40,7	43,0	44,8	46,3	47,7	49,1	49,8	50,5	51,2	51,6	51,8	51,9
3	34,7	35,8	36,9	38,5	40,3	41,9	43,0	44,5	45,6	46,2	46,7	47,3	47,6	48,0	48,1

Примечание. Состав минералов приведен в табл. 3. Измерения R выполнены Т.Н. Чвиловой на приборе "Блеск", эталон кремний.

Т а б л и ц а 5

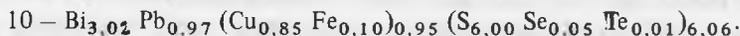
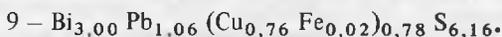
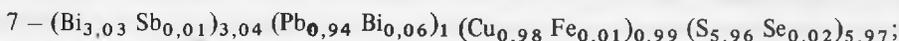
Химический состав и кристаллохимическая формула гладита месторождения Ичкеульмес, обр. Сел-7-73

Элемент	Вес. %	Атомные количества	Формульные единицы $K = 15,85$
Bi	66,05	0,3160	5,009
Pb	10,98	0,0530	0,840
Cu	4,45	0,0700	1,110
Fe	0,10	0,0018	0,029
S	18,35	0,5723	9,071
С у м м а	99,93	1,0131	16,049

Химический анализ выполнен из навески 350 мг Н.Г. Шумковой, ИМГРЭ.

гистограмму значений твердости. На гистограмме выявились три максимума — главный 115–133, в среднем 124 кгс/мм<sup>2</sup> ( $n=25$ ); второй главный — 86–103, в среднем 95 кгс/мм<sup>2</sup> ( $n=22$ ); второстепенный — 60–73, в среднем 67 кгс/мм<sup>2</sup> ( $n=13$ ). Возможно, подобная анизотропия твердости обусловлена ромбической структурой гладита.

Крупкаит чрезвычайно похож на гладит, надежно диагностируется только с помощью микрозонда. Химический состав минерала довольно устойчив и близок к теоретическому  $\text{CuPbBi}_3\text{S}_6$ . Крупкаит Ичкеульмеса часто содержит около 0,5% Se и до 0,1% Te, очень немного сурьмы, серебра и ртути. Формулы крупкаита в расчете на 11 атомов (по данным таблицы 6):



Величины отражения крупкаита приведены в таблице 8. Спектры отражения крупкаита близки к спектрам гладита, отличаясь рядом характерных деталей: более симметричным профилем кривой  $R_g$  ( $R_g 400 \text{ нм} \approx R_g 700 \text{ нм}$ ); сдвигом максимума на кривой  $R_g$  в более длинноволновую область 540–560 нм; меньшими вариациями величины  $R_p$  (рис. 2). Величина относительного двуотражения крупкаита несколько меньше, чем у гладита. Микротвердость минерала составляет 84–100, в среднем 92 кгс/мм<sup>2</sup> ( $n=8$ ,  $P-5$  гс). По твердости крупкаит весьма близок к гладиту.

Наффильдит Ичкеульмеса имеет химический состав близкий к теоретическому

Т а б л и ц а 6

Химический состав минералов группы айкинита — гладита, крупкаита, наффильдита месторождения Ичкеульмес, вес. %

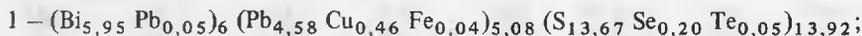
Элемент	Гладит						Крупкаит					Наффильдит
	1 (1)	2 (18)	3 (2)	4 (2)	5 (6)	6 (3)	7 (4)	8 (5)	9 (1)	10 (3)	11 (1)	
Bi	67,24	65,32	69,67	66,46	64,79	68,33	58,74	58,28	56,61	58,74	39,81	
Sb	—	0,07	0,05	0,04	0,09	0,05	0,11	0,07	—	0,00	0,05	
Pb	11,66	13,51	9,32	12,05	11,82	10,17	17,79	18,50	19,76	18,67	37,44	
Hg	—	—	0,06	0,00	—	—	—	0,03	—	—	0,00	
Ag	—	Сл.	0,03	0,08	0,04	0,00	0,00	0,01	—	0,00	0,41	
Cu	3,56	4,33	2,88	3,81	3,88	2,67	5,68	5,61	4,35	4,99	3,61	
Fe	—	0,13	0,10	0,11	0,05	0,69	0,07	0,05	0,08	0,49	0,10	
S	18,15	17,65	17,90	18,33	18,54	17,57	17,36	17,88	17,88	17,90	17,15	
Se	—	0,08	0,30	0,41	—	0,38	0,06	0,51	—	0,39	0,53	
Te	0,00	0,00	0,04	0,00	—	0,00	0,00	0,04	—	0,08	0,00	
С у м м а	100,61	101,09	100,35	101,29	99,21	99,86	99,81	100,93	98,68	101,26	99,10	

Примечание. Состав определен с помощью микрозонда JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов.

1 — Сел-1-70, 2 — Сел-2-72, 3 — Сел-4-73, 4 — Сел-5с-73, 5 — Сел-7г-73, 6 — Сел-15пс-73, 7 — Сел-2-72, 8 — Сел-4-73, 9 — Сел-7г-73, 10 — Сел-15ж-73, 11 — Сел-5с-73.

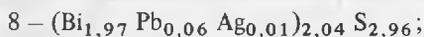
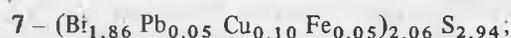
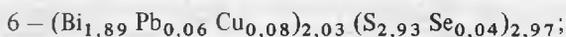
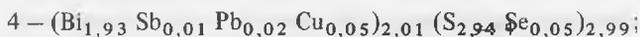
$\text{Cu}_3\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{10}\text{S}_{28}$ , минерал содержит около 0,5% селена (табл. 6). Формула наффильдита в расчете на 51 атом:  $(\text{Bi}_{9,96}\text{Sb}_{0,02})_{9,98}(\text{Pb}_{9,45}\text{Ag}_{0,20})_{9,65}(\text{Cu}_{2,97}\text{Fe}_{0,09})_{3,06}(\text{S}_{27,96}\text{Se}_{0,35})_{28,31}$ . Величины отражения наффильдита Ичкеульмеса  $R_g$  и  $R_p$  (%) — 44,3 и 38,5 (420 нм), 44,0 и 38,5 (440), 43,9 и 38,4 (460), 44,1 и 38,6 (480), 44,6 и 38,8 (500), 44,8 и 39,0 (520), 44,7 и 38,9 (540), 44,4 и 38,9 (560), 43,8 и 38,7 (580), 43,3 и 38,4 (600), 42,8 и 38,1 (620), 42,2 и 37,9 (640), 41,7 и 37,7 (660), 41,3 и 37,8 (680), 41,2 и 38,0 (700 нм). Спектры отражения наффильдита весьма близки к спектрам гладита, отличаясь несколько меньшими значениями  $R_g$  (менее 45%) и крайне малыми вариациями величин  $R_p$  — 38—39%.

**Виттит.** Химический состав виттита приведен в таблице 9, минерал содержит заметное количество меди и серебра, около 0,5% селена и 0,2% теллура. Формулы виттита в расчете на 25 атомов:



**Устарасит** обнаружен среди кальцита в агрегате магнетита и хлорита. Устарасит Ичкеульмеса имеет некоторый дефицит висмута, содержит заметную примесь селена и теллура (табл. 9). Формула устарасита в расчете на 17 атомов:  $(\text{Bi}_{5,71}\text{Sb}_{0,01}\text{Pb}_{0,28})_6 \cdot (\text{Pb}_{0,72}\text{Cu}_{0,22}\text{Fe}_{0,13})_{1,07}(\text{S}_{9,76}\text{Se}_{0,14}\text{Te}_{0,03})_{9,93}$ . Величины отражения минерала  $R_g$  и  $R_p$  (%) — 51,1 и 38,7 (420 нм), 5,4 и 38,1 (440), 49,9 и 37,8 (460), 49,7 и 37,6 (480), 49,9 и 37,4 (500), 49,7 и 37,2 (520), 49,7 и 37,1 (540), 49,6 и 37,0 (560), 49,3 и 36,9 (580), 49,0 и 36,7 (600), 48,7 и 36,5 (620), 48,3 и 36,3 (640), 48,1 и 36,2 (660), 48,0 и 36,4 (680), 47,9 и 36,9 (700 нм). Спектры отражения устарасита близки к спектрам висмутита.

**Висмутин.** Химический состав минерала приведен в табл. 10. Висмутин Ичкеульмеса содержит заметное количество железа до 0,5%, иногда до 0,8% селена, изредка до 0,7% теллура, сурьмы в большинстве анализированных образцов мало — до 0,2%. В большинстве образцов висмутин содержит не более 10% свинца и 0,5% меди. Менее распространены разновидности висмутита — свинцово-медистый, свинцовистый и медистый. Формулы висмутита в расчете на пять атомов:



Рентгенограммы висмутита Ичкеульмеса аналогичны эталонной. Спектры отражения висмутита различного состава практически аналогичны. Величины отражения свинцово-медистого висмутита обр. Сел-4-73  $R_g$ ,  $R_m$  и  $R_p$  (%) — 49,0, 46,2 и 38,0 (420 нм); 48,6, 46,0 и 37,9 (440); 48,1, 45,9 и 37,3 (460); 48,0, 46,2 и 37,0 (480); 48,0, 46,4 и 36,7 (500); 47,9, 46,5 и 36,2 (520); 47,7, 46,5 и 35,7 (540); 47,4, 46,5 и 35,7 (560); 47,1, 46,3 и 35,4 (580); 46,7, 46,0 и 35,0 (600); 46,4, 45,6 и 34,7 (620); 46,0, 45,1 и 34,4 (640); 45,9, 44,7 и 34,2 (660); 45,8, 44,3 и 34,1 (680); 45,7, 44,0 и 32,2 (700 нм). Величины отражения  $R_g$  и  $R_p$  — монотонно убывают с ростом длины волны, кривая отражения  $R_m$  характеризуется широким пологим максимумом (рис. 2). Значения отражения висмутита Ичкеульмеса весьма близки к эталонным данным Е.А. Бюрке [13].

**Виттихенит** в контакте с гладкидом, наффильдитом или крупкаитом в отраженном свете выглядит значительно более темным, отличается коричневатым цветом. По составу виттихенит Ичкеульмеса близок к теоретическому  $\text{Cu}_3\text{BiS}_3$  и содержит обычно небольшое количество примесей свинца, железа, серебра, селена и сурьмы (табл. 11). Изредка вдоль контактов гладита и кобальтина развит гипергенный виттихенит, обогащенный

Т а б л и ц а 7

Спектры отражения гладита месторождения Ичкеульмес в интервале видимого спектра  
 $\lambda = 420-700$  нм

№№ обр.	R	420	440	460	480	500	520
Сел-7-73	Rg	50,3	50,0	49,6	50,0	50,4	50,7
	Rm	42,0	41,8	41,4	41,0	40,8	40,3
	Rp	36,7	36,5	36,3	36,3	36,4	36,3
Сел-2-72	Rg	47,6	47,4	47,6	48,0	48,4	48,7
	Rm	40,4	40,3	40,0	40,2	40,4	40,3
	Rp	38,4	38,5	38,5	38,5	38,6	38,4
Сел-5с-73	Rp	38,8	38,9	38,7	38,7	38,6	38,4
Сел-7г-73	Rg	47,3	47,2	47,1	47,5	47,9	48,1
	Rp	39,0	39,2	39,1	39,0	39,0	38,9

Измерено Т.Н. Чвилевой на приборе "Блеск", эталон - кремний.

Т а б л и ц а 8

Спектры отражения крупкаита месторождения Ичкеульмес в интервале видимого спектра  
 $\lambda = 420-700$  нм

№№ обр.	R	420	440	460	480	500	520
Сел-4-73	Rg	47,1	47,3	47,4	48,0	48,7	49,2
	Rp	36,9	37,0	37,2	37,4	37,6	37,8
Сел-2-72	Rg	46,1	46,0	46,1	46,6	47,2	47,7
	Rp	37,4	37,5	37,5	37,6	37,8	37,7
Сел-6-73	Rg'	45,5	45,6	45,7	45,9	46,3	46,6
	Rp'	39,7	40,0	40,0	39,9	39,9	39,8

Измерено Т.Н. Чвилевой на приборе "Блеск", эталон - кремний.

Т а б л и ц а 9

Химический состав виттита месторождения Ичкеульмес, вес. %

№ пор.	1	2	3	№ пор.	1	2	3
минерал	виттит		устарасит	минерал	виттит		устарасит
№ обр.	Сел-4-73	Сел-5с-73	Сел-15ж-73	№ обр.	Сел-4-73	Сел-5с-73	Сел-15ж-73
Bi	46,66	44,77	68,80	Fe	0,09	0,14	0,43
Sb	0,00	0,00	0,07	S	16,44	17,10	18,03
Pb	35,95	34,89	11,92	Se	0,58	0,39	0,64
Hg	0,00	0,00	0,00	Te	0,25	0,15	0,22
Ag	0,00	1,43	0,00				
Cu	1,10	0,50	0,78				
С у м м а	101,07	99,37	100,89				

Состав определен с помощью микрозонда JXA -5.

Аналитик Э.М. Спиридонов.

мышьяком, который замещает серу (ан. 4, табл. 11). Формулы виттихенита в расчете на семь атомов:



Рентгенограмма виттихенита Ичкеульмеса тождественна эталонной. Величины отражения виттихенита обр. Сел-7г-73, слагающего каймы замещения вокруг крупкаита,

	540	560	580	600	620	640	660	680	700
	50,7	50,3	49,6	48,9	48,3	47,6	47,1	46,8	46,7
	40,1	39,9	39,5	39,3	39,0	38,8	38,6	38,5	38,4
	36,3	36,2	35,8	35,7	35,4	35,2	35,1	35,0	35,1
	48,8	48,6	48,3	48,0	47,4	46,9	46,4	46,0	45,9
	40,1	40,0	39,8	39,5	39,3	38,9	38,7	38,5	38,4
	38,2	38,1	37,8	37,5	37,3	36,9	36,6	36,5	36,4
	38,0	37,8	37,6	37,3	37,0	36,8	36,7	36,8	37,0
	48,1	48,0	47,7	47,1	46,7	45,8	45,7	45,4	45,4
	38,8	38,7	38,5	38,3	38,0	37,7	37,6	37,5	37,5

	540	560	580	600	620	640	660	680	700
	49,4	49,4	49,4	48,7	48,2	47,7	47,3	46,9	46,7
	37,7	37,8	37,9	37,7	37,5	37,4	37,3	37,3	37,5
	47,9	48,0	47,8	47,6	47,2	46,7	46,4	46,2	46,2
	37,6	37,5	37,3	37,0	36,8	36,5	36,4	36,4	36,5
	46,7	46,7	46,4	46,1	45,7	45,1	44,9	44,7	44,6
	39,8	39,7	39,6	39,3	39,1	38,8	38,7	38,6	38,6

Таблица 10

Химический состав висмутитина (1-5), свинцово-медистого (6-7), свинцовистого (8-9) и медистого (10) висмутитина месторождения Ичкеульмес, вес. %

№ поряд.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ обр.	Сел-1-70	Сел-2-72	Сел-6-73	Сел-12к-73	Сел-15ж-73	Сел-4-73	Сел-6-73	Сел-1-70	Сел-15ж-73	Сел-15ж-73
Число анализов	1	1	1	7	1	4	1	1	1	2
Bi	81,29	80,48	79,73	79,72	79,37	78,83	77,61	81,12	76,65	78,14
Sb	-	0,04	0,03	0,22	0,18	0,06	0,09	-	0,00	0,72
Pb	-	0,44	0,87	0,89	0,93	2,41	2,03	2,44	2,89	0,26
Hg	-	-	0,00	-	-	0,09	0,00	-	-	-
Ag	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	0,15	0,10	0,12
Cu	-	0,55	0,55	0,51	0,40	0,92	1,33	0,00	0,65	2,21
Fe	-	0,06	0,20	0,04	0,30	0,02	0,53	-	0,32	0,55
S	18,71	18,70	18,81	18,64	18,73	18,64	18,87	18,69	18,93	18,73
Se	-	0,00	-	0,81	-	0,57	-	-	-	-
Te	0,06	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
Сумма	100,06	100,27	100,20	100,92	99,90	100,55	100,47	100,40	100,24	100,43

Состав определен с помощью микрозонда JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов

составляют соответственно  $R_g$ ,  $R_m$  и  $R_p$  (%) - 30,8, 30,3 и 29,2 (420 нм); 30,6, 29,7, 29,6 (440); 30,6, 29,4, 29,4 (460); 31,0, 29,6, 29,9 (480); 31,8, 30,2, 30,4 (500); 32,5, 30,8, 31,0 (520); 32,9; 31,1, 31,1 (540); 33,3, 31,4, 31,3 (560); 33,7, 31,9, 31,5 (580); 33,8, 31,9, 31,4 (600); 33,9, 32,0, 31,3 (620); 34,0, 32,0, 31,1 (640); 33,9, 32,0, 31,0 (660); 33,8, 32,0, 30,8 (680); 33,8, 32,2, 30,9 (700 нм). С ростом длины волны отчетливо увеличивается двуотражение минерала.

Т а б л и ц а 11

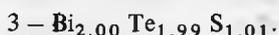
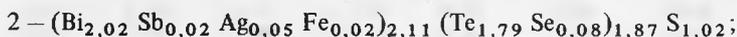
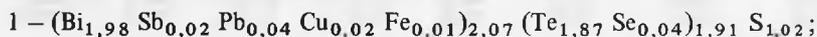
Химический состав гипергенных виттихенита, слагающего каемки замещения на гладите (1,2) и наффилдите (3), и мышьяковистого виттихенита месторождения Ичкеульмес, вес. %

№№ пор.	1	2	3	4
№ обр.	Сел-7г-73		Сел-5с-73	Сел-7г-73
Участок	6	6а	7	14
Bi	38,39	38,51	32,12	41,00
Pb	1,57	0,32	0,07	2,29
Cu	39,22	39,65	41,57	33,87
Fe	—	—	0,65	0,17
S	19,59	19,59	20,19	15,68
As	—	—	—	8,66
С у м м а	98,77	98,07	100,52*	101,67

Состав определен с помощью микрозонда JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов.

\*Кроме того, Ag 0,34% вес., Se 0,14%, Sb 0,03%, Hg и Te 0,00%.

Тетрадимит Ичкеульмеса содержит относительно небольшое количество примесей свинца, сурьмы, селена, серебра, железа и меди (табл. 12); как и тетрадимит жильных месторождений Северного Казахстана [14], чаще имеет небольшой дефицит теллура; содержание серы в минерале отвечает теоретическому. Формулы тетрадимита в расчете на пять атомов (по данным табл. 12):



Рентгенограмма тетрадимита Ичкеульмеса близка к эталонной. Величины отражения тетрадимита обр. Сел-4-73  $R_g$  (%) — 52,5 (420 нм), 53,4 (440), 54,0 (460), 55,0 (480), 55,9 (500), 56,6 (520), 56,8 (540), 57,0 (560), 57,1 (580), 56,9 (600), 56,7 (620), 56,6 (640), 56,4 (660), 56,4 (680), 56,6 (700 нм). Спектры отражения тетрадимита скарнового месторождения Ичкеульмес близки к спектрам тетрадимита кварцево-жильных месторождений Северного Казахстана [14].

Минерал  $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_3$ . В одном из образцов обнаружен сульфотеллурид, по химическому составу аналогичный искусственному  $\gamma$ -тетрадимиту  $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_3$  [15]. В природных

Т а б л и ц а 12

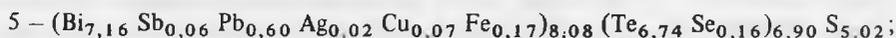
Химический состав сульфотеллуридов висмута — тетрадимита, минерала  $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_3$ , минерала  $\text{Bi}_8\text{Te}_5\text{S}_5$ , минерала  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{S}$ , минерала  $\text{Bi}_2\text{TeS}$ , теллуридожозеита (жозеита В) месторождения Ичкеульмес, вес %

Минерал	Тетрадимит			Минерал $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_3$	
	1	2	3	4	
№ пор.					
№ образца	Сел-2-72	Сел-4-73	Сел-12к-73	Сел-12к-73	
число анализов	3	1	2	2	
Bi	59,41	60,38	59,07	62,52	
Sb	0,26	0,28	—	0,00	
Pb	1,28	0,00	—	0,47	
Hg	—	0,00	—	—	
Ag	0,01	0,79	—	0,16	
Cu	0,22	0,00	—	0,14	
Fe	0,06	0,12	—	0,00	
Te	34,23	32,71	36,00	26,65	
Se	0,45	0,91	—	1,40	
S	4,71	4,69	4,55	7,23	
С у м м а	100,63	99,88	99,62	98,57	

Состав определен с помощью микрозонда JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов.

образованиях  $\gamma$ -тетрадимит установлен, вероятно, впервые. Он образует субграфические сростки с висмутином, почти не содержащим меди. По оптическим свойствам минерал аналогичен тетрадимиту. Содержит значительное количество селена 1,4% (табл. 12, ан. 4). Формула его в расчете на 10 атомов:  $(\text{Bi}_{3,94} \text{Pb}_{0,04} \text{Ag}_{0,02} \text{Cu}_{0,02})_{4,02} (\text{Te}_{2,76} \cdot \text{Se}_{0,24})_{3,00} \text{S}_{2,98}$ . Величины отражения минерала  $R_g^*$  (%) — 45,3 (420 нм), 45,6 (440), 45,7 (460), 46,3 (480), 47,1 (500), 47,9 (520), 48,4 (540), 48,6 (560), 48,9 (580), 49,0 (600), 48,9 (620), 49,0 (640), 49,1 (660), 49,1 (680), 49,4 (700 нм). Спектр отражения минерала подобен спектру тетрадимита, но значения отражения  $\gamma$ -тетрадимита значительно — на 20% ниже.

**Минерал**  $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$ . Относительно широко в рудах Ичкеульмеса распространен сульфотеллурид висмута, по химическому составу (табл. 12, ан. 5–7) аналогичный искусственному соединению  $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$  [16]. В природных образцах, это соединение, по-видимому, установлено впервые; представляется, что его целесообразно именовать минералом Соонпа по имени ученого, обнаружившего это соединение и доказавшего его устойчивость. Минерал состава  $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$  наблюдался в сростках с висмутином, реже с висмутином и глэдитом, с тетрадимитом. Этот минерал очень похож на тетрадимит, в мелких выделениях диагностируется только с помощью микроскопа. Содержит примесь селена до 1,4%, свинца до 4,7%, небольшие количества меди, железа, серебра. Это единственный минерал месторождения, иногда содержащий до 0,68% ртути. Формулы минерала в расчете на 20 атомов (по данным табл. 12):



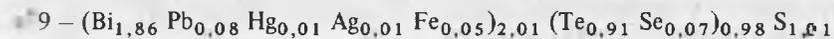
Величины отражения минерала обр. Сел-12к-73 следующие  $R_g^*$  (%) — 46,3 (420 нм), 46,7 (440), 47,0 (460), 47,7 (480), 48,7 (500), 49,4 (520), 49,9 (540), 50,2 (560), 50,3 (580), 50,2 (600), 50,0 (620), 49,8 (640), 49,8 (660), 49,9 (680), 50,3 (700). Профиль кривой отражения очень близок к кривой отражения  $\gamma$ -тетрадимита, располагаясь несколько выше последней.

**Минерал**  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{S}$  (табл. 12, ан. 8) установлен в единственном образце в кобальтинхалькопиритовых рудах в парагенезе с висмутином, золотом, джайпуритом. Оптически близок тетрадимиту. Формула его в расчете на шесть атомов:  $\text{Bi}_{1,95} \text{Te}_{3,01} \text{S}_{1,04}$ .

**Минерал**  $\text{Bi}_2\text{TeS}$  (табл. 12, ан. 9, 10) — минерал М [17], принадлежащий ряду верлита [14], установлен в сростках с висмутином, зигенитом, золотом, джайпуритом в халькопирите, размер его выделений до 30 микрон. Минерал содержит значительные приме-

Минерал $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$			Минерал $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{S}$	Минерал $\text{Bi}_2\text{TeS}$		Жозент В
5	6	7	8	9	10	11
Сел-2-72	Сел-5с-73	Сел-12к-73	Сел-1-70	Сел-5с-73	Сел-15ж-73	Сел-6-73
2	2	2	1	1	1	1
56,45	57,78	61,00	49,34	67,77	63,77	69,53
0,29	0,00	0,53	—	—	0,16	0,18
4,70	3,45	0,24	—	2,71	4,57	1,68
—	0,68	—	—	0,27	—	0,00
0,07	0,20	0,11	—	0,24	—	0,00
0,17	0,35	0,15	—	сл.	0,20	0,50
0,36	0,34	0,04	—	0,44	0,20	0,80
32,43	32,32	32,09	46,65	20,18	24,96	23,46
0,48	0,82	1,37	—	0,95	0,80	—
6,07	5,90	6,43	4,06	5,69	5,35	2,97
101,02	101,84	101,96	100,05	98,25	100,01	99,13

си свинца до 4,6%, селена 0,9%, в меньшем количестве железо, серебро, медь, ртуть, сурьму. Формулы его в расчете на четыре атома:



Жозеит В (теллуржозеит)  $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}$  встречен в единственном образце в сростке с висмутином, который он замещает, золотом и джайпуритом. Теллуржозеит Ичкеульмеса содержит заметные примеси свинца, железа, меди, сурьмы (табл. 12). Формула его в расчете на 7 атомов ( $\text{Bi}_{3,64} \text{Sb}_{0,01} \text{Pb}_{0,09} \text{Cu}_{0,09} \text{Fe}_{0,15}$ ) $_3$  $\text{Te}_{2,01} \text{S}_{1,01}$ .

\* \* \*

Таким образом, скарновое месторождение меди Ичкеульмес, связанное с калийной фацией гранитоидов сининверсионного гранодиоритового комплекса, является полистадийным и характеризуется ассоциациями разнообразных окисных и сульфидных минералов железа и меди, сульфидов и сульфоарсенидов кобальта и никеля, шеелита, молибденита, обилием сульфосолей и сульфотеллуридов висмута (со свинцом). Интересно, что несмотря на обилие в рудах свинца, он полностью маскирован в минералах висмута.

В рудах Ичкеульмеса впервые для месторождений СССР детально охарактеризован гладит, описан джайпурит, установлены новые сульфотеллуриды висмута —  $\gamma$ -тетрадимит  $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_3$ , минералы  $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{S}$ . В рудах месторождения выявлена тонкая минеральная зональность — зональность отложения (зональность вмещающей среды).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яценко Н.Я. Связь железного и медного оруденения с крыккудукским интрузивным комплексом на примере месторождений Атансор и Ичкеульмес (Северный Казахстан). Канд. дисс. геол.-минер. наук. Караганда, 1968.
2. Яценко Н.Я. Закономерности распределения меди в горных породах и минералах в связи с вопросом об источнике меди на месторождении Ичкеульмес. — Геол. рудн. месторожд., 1976, № 2.
3. Абдулкабирова М.А., Кудайбергенова Н.К., Анкинович О.С. и др. Золоторудные поля Северного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1971.
4. Анкинович О.С. Зональность и распределение оруденения в скарнах месторождения Ичкеульмес. — В кн.: Критерии рудоносности метасоматитов. Алма-Ата: Наука, 1969.
5. Грудев А.И. Состав и номенклатура гранатов андрадит-гроссулярового изоморфного ряда. — Тр. Минер. музея АН СССР, вып. 15, 1964.
6. Бетехтин А.Г. Минералогия. М.: Госгеолиздат, 1950.
7. Иванов А.И. Абсолютный возраст гранитоидов Центрального и Южного Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1967, № 5.
8. Безсмертная М.С., Чвилева Т.Н. и др. Определение минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. М.: Недра, 1973.
9. Спиридонов Э.М., Шанур Хамид. Пирротин позднеордовикских месторождений Северного Казахстана. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978, вып. 27.
10. Спиридонов Э.М. Ильваит из скарнового месторождения Ичкеульмес в Северном Казахстане. — Вест. МГУ. Сер. геол., 1970, № 5.
11. Minceva-Stefanova I., Kostov I. On siegenite and the "miscibility" between linnaite and polydymite. — Геохим., минер. и петрол., 1976, № 4 (болгар.).
12. Kohatsu J., Wuensch B.J. The crystal structure of gladite,  $\text{PbCuBi}_2\text{S}_9$ , a superstructure intermediate in the series  $\text{Bi}_2\text{S}_4 - \text{PbCuBiS}_3$  (bismuthinite-aikinite). — Acta crystal., 1976, Bd. 32, N 8.
13. Uytendogaardt W., Burke E.A.I. Tables for microscopic identification of ore minerals. Amsterdam — London — N.Y. 1971.
14. Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Чвилева Т.Н., Шумкова Н.Г. Теллурувисмутиты и тетрадимиты Северного Казахстана. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978.
15. Glatz A.C. The  $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{Te}_3$  system and the synthesis of the mineral tetradymite. — Amer. Miner., 1957, vol. 52, N 1.
16. Соопраа Н.Н. Some infrared properties of  $\text{Bi}_8\text{Te}_7\text{S}_5$ . — J. Phys. Chem. Solids, 1962, N 23.
17. Годовиков А.А., Кочеткова К.В., Лаврентьев Ю.Г. Изучение сульфотеллуридов месторождения Сохондо. — Геол. и геоф., 1970, № 11.