



## Тунгстенит и молибденит – продукты деструкции овамбоита $\text{Cu}_{20}(\text{Cu,Fe})_6\text{W}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$ , богатого вольфрамом германита и майкаиита $\text{Cu}_{20}(\text{Cu,Fe})_6\text{Mo}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$ месторождения Цумеб в Намибии

Спиридонов Э.М.<sup>1</sup>, Девнина Н.Н.<sup>2</sup>, Мурашко М.Н.<sup>3</sup>, Коротаева Н.Н.<sup>1</sup>,  
Куликова И.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, [ernstspiridon@gmail.com](mailto:ernstspiridon@gmail.com)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный институт, Горный музей

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>4</sup>Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва

Вендское вулканогенное колчеданно-полиметаллическое месторождение Цумеб (Намибия, ЮЗ Африка) уникально богато минералами германия. Гипотермальная минерализация Цумеба включает топаз, фторопатит, кварц, калишпат, флогопит, высокий халькозин, пирит, сложные сульфиды германия, богатые вольфрамом и молибденом: овамбоит  $\text{Cu}_{20}(\text{Cu,Fe})_6\text{W}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$  и майкаиит  $\text{Cu}_{20}(\text{Cu,Fe})_6\text{Mo}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$ ; твердые растворы галлит – сфалерит – халькопирит; сложные сульфиды олова – станноидит и иные. Мезотермальная минерализация Цумеба включает халькопирит, твердый раствор халькопирит – борнит, высокий халькозин, галенит, пирит, богатый галлием сфалерит, богатый вольфрамом германит, богатый цинком галлит, кварц, мусковит, доломит, моусонит и иные. Эпитермальная минерализация Цумеба развита среди брекчированных ранних минеральных агрегатов. Параметры образования эпитермальной минерализации:  $T\ 240 - < 80\ ^\circ\text{C}$ , соленость растворов 6–12 мас.% экв. NaCl. Обильны галенит, маложелезистый Cd-сфалерит, теннантит, пирит, низкий халькозин, доломит, марказит. Широко развиты незональный бедный W германит, галлит, реньерит. Присутствуют продукты деструкции высокотемпературных сульфидов германия, богатых W и Mo. Продукты деструкции овамбоита и богатого W германита – обильные микропрожилки и мелкие, до 15 мкм, гнезда тунгстенита, низкий халькозин, бетехтинит, сидерит, калвертит. Продукты деструкции майкаиита – сростания мельчайших пластин молибденита с низким халькозином и бетехтинитом. Тунгстенит содержит менее 0.3 мас.% Mo, молибденит – 0.3 мас.% W, что свидетельствует о низкой температуре их образования. Вероятная реакция разложения овамбоита (состав минералов близок к реальному):  $\text{Cu}_{24}\text{Fe}_2\text{W}_2\text{Ge}_4\text{As}_2\text{S}_{32} + 2\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Pb}\ \text{p-p} \rightarrow \text{WS}_2\ (\text{тунгстенит}) + \text{Cu}_8\text{WS}_6\ (\text{калвертит}) + \text{Cu}_{20}\text{FePb}_2\text{S}_{15}\ (\text{бетехтинит}) + \text{FeS}_2\ (\text{пирит}) + 4\text{Ge}\ \text{p-p} + \text{As}_2\text{S}_3\ \text{p-p} + 6\text{S}\ \text{p-p}$ . Вероятная реакция разложения майкаиита:  $\text{Cu}_{24}\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{Ge}_4\text{As}_2\text{S}_{32} + 2\text{Pb}\ \text{p-p} \rightarrow 2\text{MoS}_2\ (\text{молибденит}) + \text{Cu}_{20}\text{FePb}_2\text{S}_{15}\ (\text{бетехтинит}) + 2\text{Cu}_2\text{S}\ (\text{низкий халькозин}) + \text{FeS}_2\ (\text{пирит}) + 4\text{Ge}\ \text{p-p} + 2\text{As}_2\text{S}_3\ \text{p-p} + 3\text{S}\ \text{p-p}$ .

**Ключевые слова:** тунгстенит, молибденит, калвертит, бетехтинит, овамбоит, майкаиит, богатый вольфрамом германит, вулканогенное колчеданно-полиметаллическое месторождение Цумеб.

## Введение

Знаменитое вулканогенное колчеданно-полиметаллическое Ag-Zn-Cu-Pb-месторождение Цумеб – крупнейшее в мире скопление минералов германия. Это месторождение со своеобразным геологическим строением, сложной историей формирования и необычайным разнообразием минералов изучают целое столетие (Schneiderhöhn, 1929, 1958; Moritz, 1933; Болдырев и др., 1936; Söhngе, 1952; Sclar, Geier, 1957; Шнейдерхён, 1958; Волынский, Логинова, 1961; Рамдор, 1962; Springer, 1969; Geier, Ottemann, 1970, 1973; Pinch, Wilson, 1977; Keller, 1984; Haynes, 1984/1985; Lombaard et al., 1986; Спиридонов и др., 1992; Спиридонов, 1994, 1997, 2003; Gebhard, 1999; von Bezing et al., 2007; Спиридонов, Мурашко, 2010, и др.). Тем не менее его руды исследованы недостаточно. Статья содержит некоторые из результатов изучения эндогенных руд Цумеба, богатых минералами германия.

## Материалы и методы исследования

Изучены богатые германитом руды месторождения Цумеб из собрания Горного музея (Санкт-Петербург) и из коллекции М.Н. Мурашко, отобранные из выработок глубоких горизонтов. Методы изучения руд стандартные. Химический состав минералов определен с помощью электронного микросонда Camebax SX-50, ИМГРЭ, аналитик-исследователь И.М. Куликова, эталоны – анализированные борнит (для Cu, Fe, S), пирит (Fe), гессит (Ag), чистые металлы Cu, Ge, V, синтетические ZnSe (Zn), GaAs (Ga), WS<sub>2</sub> (W), MoS<sub>2</sub> (Mo), SnS<sub>2</sub> (Sn), и с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-6480 LV в лаборатории локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ, аналитик-исследователь Н.Н. Коротаева; ею же получены электронные фотографии.

## Месторождение Цумеб

Месторождение Цумеб расположено у границы пустыни Намиб и гор Отави на северо-востоке Намибии (Юго-Западная Африка). Оно залегает в круто дислоцированных морских отложениях венда – криогения: доломитах, углеродистых доломитах, известняках, тиллоидах, углеродистых аргиллитах, аркозовых и иных алевропесчаниках, разбитых многочисленными разломами (Passchier et al., 2002). Крутопадающее трубообразное (лен-тообразное) рудное тело с массой апофиз, которые секут слоистость вмещающих доломитов (Schneiderhöhn, 1929, 1958), сопряжено с дорудными вулканическими образованиями (Söhngе, 1952). Из них более древнее – трубообразное тело

взрывных брекчий, более молодые – рукавообразные и дайкообразные тела трахириодацитов. Вулканы интенсивно гидротермально изменены, превращены в полевошпатовые (калишпатовые) кварциты (Schneiderhöhn, 1958), «псевдоаплиты» (Рамдор, 1962, и др.), кварц-серицитовые метасоматиты. Окружающие доломиты дополнительно дислоцированы, гидротермально изменены, окремнены и перекристаллизованы. Послерудные магматические образования – дайки, силлы и трубообразные тела долеритов и керсантитов (Söhngе, 1952, и др.).

По Гансу Шнейдерхёну, Цумеб – это магматогенное мезотермальное месторождение замещения (Шнейдерхён, 1958). Массивные сульфидные руды Цумеба на две трети состоят из галенита, сфалерита, халькозина, борнита, пирита, энаргита, халькопирита, теннантита. Жильные минералы – доломит, кварц, мусковит, апатит, кальцит, флогопит и иные. Особенностью руд Цумеба является грандиозное количество минералов Ge. Размер скоплений германита достигал многих метров в поперечнике, вес – сотен тонн (Schneiderhöhn, 1958). Иные минералы Ge: ренберит, бриартит, германоколусит, бруногейерит, германийсодержащие сульванит, станноидит, моусонит, станнин (Moritz, 1933; Sclar, Geier, 1957; Рамдор, 1962; Springer, 1969; Geier, Ottemann, 1970; Pinch, Wilson, 1977; Keller, 1984; Спиридонов и др., 1992; Спиридонов, 1994, 1997, 2003; Gebhard, 1999; von Bezing et al., 2007; Спиридонов, Мурашко, 2010, и др.).

По нашим данным (Спиридонов, Мурашко, 2010), руды Цумеба включают гипотермальную, мезотермальную и эпитеермальную минерализацию. Гипотермальную минерализацию представляют топаз, фтороапатит, калишпат, кварц, флогопит, высокий халькозин, пирит, сложные сульфиды Ge, по составу близкие к германиту, но богатые W или Mo: овамбоит  $Cu_{20}(Cu,Fe)_6W_2(Ge,As)_6S_{32}$  и майкаинит  $Cu_{20}(Cu,Fe)_6Mo_2(Ge,As)_6S_{32}$  (Спиридонов, 2003), а также высокотемпературный сульфидный твердый раствор галлит – сфалерит – халькопирит, сложные сульфиды олова – станноидит и иные. Распространены существенно медистый овамбоит  $Cu_{20}(Cu_{4.8-5.2}Fe_{1.2-0.8})_6W_{1.9-2.1}(Ge_{4.0-4.8}As_{2-1.2})_6S_{32}$  и W-содержащий майкаинит  $Cu_{20}(Cu_{4-4.7}Fe_{1.9-1}Zn_{0.1-0.3})_6(Mo_{1.2-1.7}W_{0.8-0.3})_2(Ge_{3.8-4.1}As_{2.1-1.8}Ga_{0.1})_6S_{32}$ .

Для мезотермальной минерализации характерно обилие халькопирита, который последовательно замещают борнит, высокий халькозин, теннантит (Haynes, 1984/1985); пирит, продукты распада твердых растворов халькопирит – борнит, галлит – сфалерит, галенит, обогащенный Ga сфалерит, обогащенный Zn

галлит, моусонит, фтормусковит, кварц, доломит, станнит, ферберит и иные. Высокий халькозин в ассоциации с зональным богатым W германитом замещают ранний овамбоит; нередко это обломки кристаллов овамбоита, т.е. мезотермальная минерализация замещала тектонизированные агрегаты гипотермальной минерализации. Типичный состав W-содержащего германита –  $\text{Cu}_{20}(\text{Fe}_{3,5}\text{Cu}_{1,9}\text{Zn}_{0,7})_{6,1}(\text{Fe}_{1,6}\text{W}_{0,4})_2(\text{Ge}_{4,9}\text{As}_{0,9}\text{Ga}_{0,1})_{5,9}\text{S}_{32}$ . Богатый W германит и высокий халькозин в заметной степени замещены реньеритом, теннантитом, сидеритом.

Эпитермальная минерализация Цумеба развита среди брекчированных ранних минеральных агрегатов, возникла при участии растворов с соленостью 6–12 мас.% экв. NaCl при 240 – < 80 °C (Lombaard et al., 1986). Обильны галенит, маложелезистый сфалерит, обогащенный Cd, теннантит, пирит, низкий халькозин, доломит, марказит. Широко развиты незональный бедный W германит, галлит, реньерит. Там, где рудные агрегаты заместили деформированные углеродистые доломиты и углеродистые аргиллиты, обогащенные ванадием, в пирит-сфалерит-теннантит-галенитовых рудах немало мелких кристаллов колусита и германоколусита в ассоциации с анатазом (Спиридонов и др., 1992). Для эпитермальной минерализации Цумеба характерно чередование парагенезов, возникших при высокой  $f\text{S}_2$  (они преобладают): низкий халькозин – пирит (марказит) – борнит – дигенит – германит – германоколусит – колусит; возникших при низкой  $f\text{S}_2$  (редкие): пирротин – кубанит – магнетит – умангит  $\text{Cu}_3\text{Se}_2$  – клаусталит  $\text{PbSe}$  – реальгар; возникших при высокой  $f\text{O}_2$  (редкие): гематит – маггемит – барит. Помимо указанных, в составе эпитермальной минерализации Цумеба – халькопирит, вюртцит, кварц, анкерит, кальцит, калишпат, мусковит, фаматинит, кубанит, сульванит, идаит, киноварь, гринокит, хоулит, штрмейерит. В ее состав входят и продукты деструкции высокотемператур-

ных сульфидов германия, богатых W и Mo.

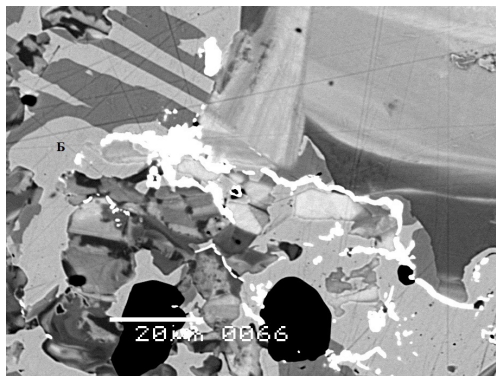
### Продукты деструкции овамбоита $\text{Cu}_{20}(\text{Cu,Fe})_6\text{W}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$

Продукты деструкции овамбоита представлены обильными микропрожилками тунгстенита, неправильной формы небольшими выделениями низкого халькозина, бетехтинита, калвертита (рис. 1). Тунгстенит – дисульфид вольфрама, структурный аналог молибденита, даже политипы у них одинаковы (Gait, Mandarino, 1970). К сожалению, получить качественную рентгенограмму цумебского тунгстенита не удалось – не удалось выяснить, каким политипом этот тунгстенит представлен.

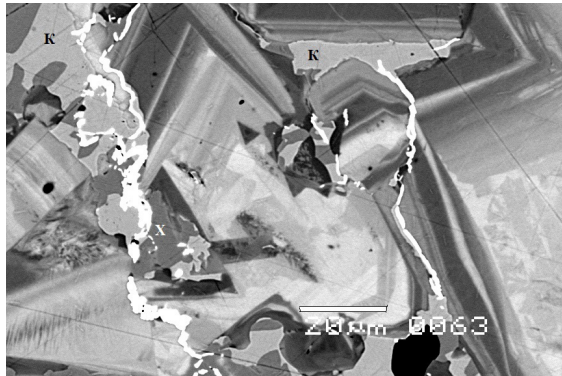
Типичный состав тунгстенита прожилков, мас. %: W 73.61, Mo 0.15, V 0.04, S 25.70, As 0.06, сумма 99.56%; формула тунгстенита  $(\text{W}_{0,996}\text{Mo}_{0,004}\text{V}_{0,002})_{1,002}(\text{S}_{1,996}\text{As}_{0,002})_{1,998}$ . Состав низкого халькозина (в ассоциации с тунгстенитом), мас. %: Cu 78.87, Fe 0.17, Ag 0.20, Ga 0.09, S 19.86, Se 0.10, As 0.09, сумма 99.38 %; формула халькозина  $(\text{Cu}_{1,992}\text{Fe}_{0,005}\text{Ag}_{0,003}\text{Ga}_{0,002})_{2,002}(\text{S}_{0,994}\text{Se}_{0,002}\text{As}_{0,002})_{0,998}$ . Состав бетехтинита, мас. %: Cu 57.66, Fe 2.44, Pb 18.21, S 21.53, сумма 99.84%; формула бетехтинита  $\text{Cu}_{20,16}\text{Fe}_{0,97}\text{Pb}_{1,95}\text{S}_{14,92}$ . Состав калвертита, мас. %: Cu 57.26, Fe 0.25, Zn 0.14, W 20.13, Mo 0.43, S 21.57, сумма 99.78%; формула калвертита  $(\text{Cu}_{7,97}\text{Fe}_{0,04}\text{Zn}_{0,02})_{8,03}(\text{W}_{0,97}\text{Mo}_{0,04})_{1,01}\text{S}_{5,96}$ .

### Продукты деструкции богатого вольфрамом германита

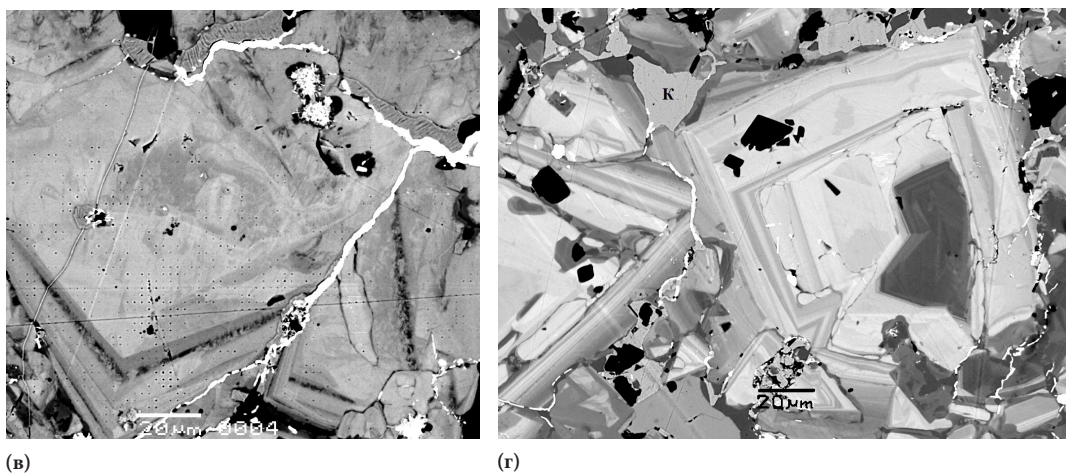
В отдельных участках агрегаты кристаллов зонального обогащенного вольфрамом германита брекчированы и содержат множество прожилков и мелких гнезд сидерита с оторочками тунгстенита – продукта замещения вольфрамистого германита (рис. 2). Тунгстенит слагает и мономинеральные просечки и небольшие, до 15 мкм, гнезда среди вольфрамистого германита (рис. 2). Типичный состав тунгстенита, мас. %: W 73.24, Mo 0.23, S 25.78, сумма 99.25%; формула тунгстенита



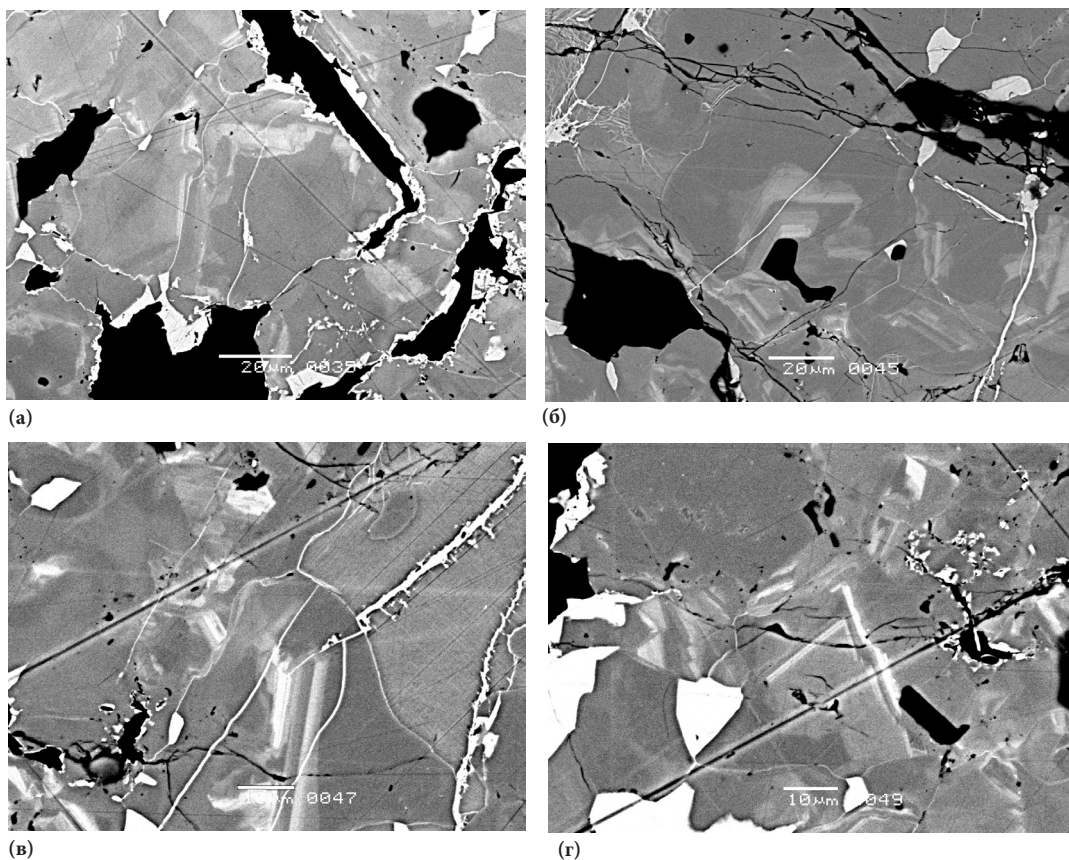
(a)



(b)



**Рис. 1.** Скопление резко зональных кристаллов овамбоита, несколько брекчированных. Продукты деструкции овамбоита – микропрожилки тунгстенита (белые), выделения бетехтинита (Б в левой части 1а), халькозина (Х на 1б) и калвертита (К на продолжении микропрожилков тунгстенита на б и г – неправильной формы гладкие одно-родные светло-серые выделения). Масштабная линейка 20 мкм. Вид в отраженных электронах.



**Рис. 2.** Скопление зональных кристаллов обогащенного вольфрамом германита, несколько брекчированных. Микропрожилки и мелкие гнезда тунгстенита (ярко-белые), обособленные и вокруг просечек и гнезд сидерита (черный). Масштабная линейка 20 мкм (а, б) и 10 мкм (в, г). В отраженных электронах.

$(W_{0.992}Mo_{0.006})_{0.998}S_{2.002}$ . Состав сидерита, мас. %: FeO 51.50, MgO 3.92, MnO 4.89, CaO 2.81; формула сидерита  $(Fe_{0.81}Mg_{0.11}Mn_{0.04}Ca_{0.04})CO_3$ .

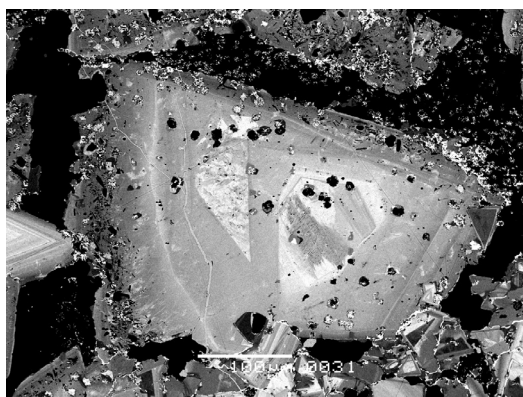
### Продукты деструкции майкаинита $Cu_{20}(Cu,Fe)_6Mo_2(Ge,As)_6S_{32}$

Продукты деструкции майкаинита – сростания мельчайших пластин молибденита с низким халькозином и бетехтинитом (рис. 3). Судя по треугольной морфологии отдельных пластинок молибденита, возможно, это политип молибденит-3R. Состав минерала отвечает теоретическому, мас. %: Mo 59.16, W 0.34, S 39.27, Se 0.69, сумма 99.46 %; формула молибденита  $(Mo_{0.999}W_{0.003})_{1.002}(S_{1.984}Se_{0.014})_{1.998}$ . Re не обнаружен.

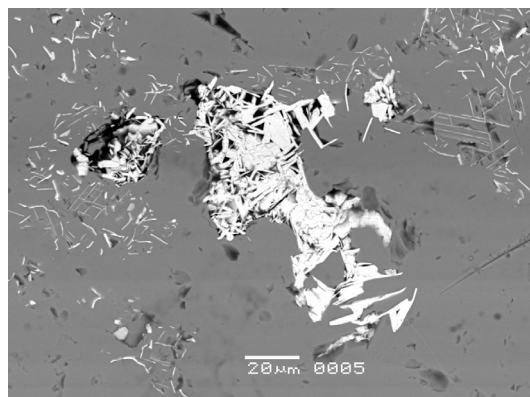
### Итоги исследования

В составе поздней эпитермальной минерализации вулканогенного колчеданно-полиметаллического месторождения Цумеб присутствуют продукты деструкции высокотемпературных

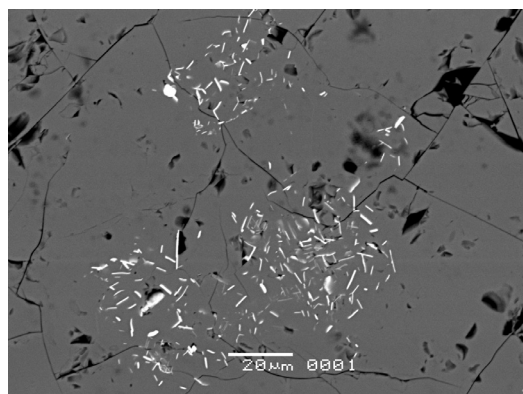
сульфидов германия, богатых W и Mo. Продукты деструкции овамбоита и богатого W германита – обильные микропрожилки и мелкие, до 15 мкм, гнезда тунгстенита, низкий халькозин, сидерит, калвертит, бетехтинит. Вероятная реакция разложения овамбоита (состав минералов близок к реальному):  $Cu_{24}Fe_2W_2Ge_4As_2S_{32} + 2 Cu_2S + 2 Pb \text{ p-p} \rightarrow WS_2$  (тунгстенит) +  $Cu_8WS_6$  (калвертит) +  $Cu_{20}FePb_2S_{15}$  (бетехтинит) +  $FeS_2$  (пирит) + 4 Ge p-p +  $As_2S_3$  p-p + 6 S p-p. Продукты деструкции майкаинита – сростания мелких пластинок молибденита в матрице низкого халькозина с включениями бетехтинита. Вероятная реакция разложения майкаинита:  $Cu_{24}Fe_2Mo_2Ge_4As_2S_{32} + 2 Pb \text{ p-p} \rightarrow 2 MoS_2$  (молибденит) +  $Cu_{20}FePb_2S_{15}$  (бетехтинит) + 2  $Cu_2S$  (низкий халькозин) +  $FeS_2$  (пирит) + 4 Ge p-p + 2  $As_2S_3$  p-p + 3 S p-p. Тунгстенит содержит менее 0.3 мас. % Mo, молибденит – 0.3 мас. % W, что свидетельствует о низкой температуре их образования, судя по экспериментальным данным (Moh, Udubasa, 1976).



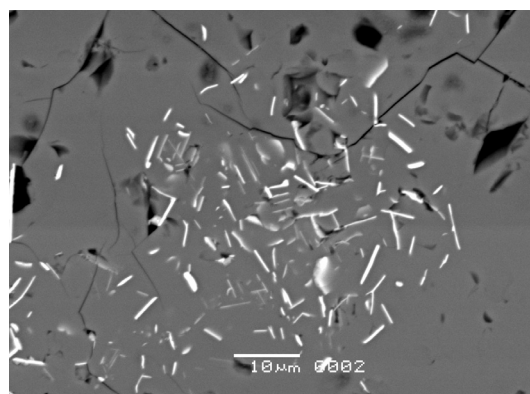
(a)



(б)



(в)



(г)

**Рис. 3.** Майкаинит, окружающий зональный овамбоит, частично замещен пластинами молибденита (белый) – а. Псевдоморфозы по майкаиниту (б–г) – скопления пластинок молибденита в матрице халькозина с редкими включениями иголок бетехтинита. Масштабная линейка 100 мкм (а), 20 мкм (б, в), 10 мкм (г). В отраженных электронах.

## Финансирование

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедры минералогии МГУ с использованием оборудования, полученного по программе развития Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

## Список литературы:

- Болдырев А.К., Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н., Григорьев Д.П., Киселев А.И., Левицкий О.Д., Разумовский Н.К., Смирнов А.А., Соболев В.С., Успенский Н.М., Черных В.В., Шафрановский И.И. Курс минералогии. 1936. М.-Л.: ОНТИ, 1056 с.
- Вольнский И.С., Логинова Л.А. Сравнительная количественная характеристика оптических постоянных некоторых «розовых» сульфидов // Тр. ИМГРЭ. 1961. Вып. 6. С. 72–85.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. 1962. М.: Изд. иностр. лит., 1132 с.
- Спиридонов Э.М. Новые сульфидные минеральные фазы Ge-Mo-W колчеданно-полиметаллического месторождения Цумеб (Намибия) // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 4. С. 370–376.
- Спиридонов Э.М. Особенности состава блеклых руд в ассоциации с сульфосолями германия // Доклады АН СССР. 1997. Т. 294. № 5. С. 1197–1199.
- Спиридонов Э.М. Майкаинит  $\text{Cu}_{20}(\text{Fe,Cu})_6\text{Mo}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$  и овамбоит  $\text{Cu}_{20}(\text{Fe,Cu,Zn})_6\text{W}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$  – новые минералы колчеданно-полиметаллических руд // Доклады РАН. 2003. Т. 393. № 6. С. 1–4.
- Спиридонов Э.М., Качаловская В.М., Ковачев В.В. Германоклусит  $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Ge, As})_6\text{S}_{32}$  – новый минерал // Вестн. МГУ. Геология. 1992. № 6. С. 50–54.
- Спиридонов Э.М., Мурашко М.Н. Генетическая минералогия Ge, Ga, W, Mo, V, Sn эндогенных руд колчеданно-полиметаллического месторождения Цумеб, Намибия. В кн.: Современная минералогия: от теории к практике. 2010. СПб. С. 277–279.
- Шнейдерхён Г. Месторождения полезных ископаемых. 1958. М.: Изд. иностр. лит., 501 с.
- Gait R.I., Mandarino J.A. Polytypes of tungstenite // Canadian Mineralogist. 1970. Vol. 10. P. 729–731.
- Gebhard G. Tsumeb, a unique mineral locality. Grossenseifen: GG Publishing. 1999. 328 s.
- Geier B.H., Ottemann I. New primary vanadium-, germanium-, gallium-, and tin-minerals from the Pb-Zn-Cu deposit Tsumeb, South West Africa // Mineralium Deposita. 1970. Vol. 5. P. 29–40.
- Geier B.H., Ottemann I. Über Betechtinit von Tsumeb // Neues Jahrbuch Mineralien Monatsch. 1973. Bd. 9. S. 416–426.
- Haynes A. A geochemical model for sulphide paragenesis and zoning in the Cu-Fe-As-S system Tsumeb, South West Africa, Namibia // Chemical Geology. 1984/1985. Bd. 47. S. 183–190.
- Keller P. Tsumeb // Lapis. 1984. Bd. 9. N 7/8. S. 13–23, 52–63.
- Lombaard A.E., Güttel A., Innes J., Krüger T.L. The Tsumeb lead-copper-zinc-silver deposit, South West Afrika, Namibia. In: Mineral Deposits of Southern Africa. 1986. P. 1761–1787.
- Moh G.H., Uduhisa G. Molybdenite – tungstenite solid solution series and phase relations in the Mo-W-S system // Chemical Geology. 1976. Bd. 35. S. 327–335.
- Moritz H. Die sulfidische erze der Tsumeb-mine vom ausgehenden bis zur XVI Sohle (-460 m) // Neues Jahrbuch Mineralien Abh. 1933. Bd. 67. S. 118–153.
- Passchier C.W., Trouw R., Ribeiro A., Paciullo F. Tectonic evolution of the southern Kaoko belt, Namibia // Journal African Earth Science. 2002. Vol. 35. P. 61–75.
- Pinch W.W., Wilson W.E. TSUMEB! The world's greatest mineral locality // Mineral Record. 1977. Vol. 8. N 3. 128 p.
- Schneiderhöhn H. Das Otavibersland und seine Erzlagerstätten // Zeitschrift für praktische Geology. 1929. Bd. 37. S. 87–116.
- Schneiderhöhn H. Zur erforschungsgeschichte der erze der Tsumeb-Mine und der geologischen verhältnisse des Otaviberslands, Südwest-Afrika // Neues Jahrbuch Mineralien Mittel. 1958. Bd. 6. S. 125–136.
- Sclar C.B., Geier B.H. The paragenetic relationships of germanite and renierite from Tsumeb, South West Africa // Economic Geology. 1957. Vol. 52. P. 612–631.
- Söhnge P.G. The Tsumeb story, pipe-like, massive-sulphide ore body appears to fill volcanic pipe in depth // Mining World. 1952. Vol. 14. № 6. P. 22–24.
- von Bezing L., Bode R., Jahn S. Namibia. Minerals and localities. 2007. Bode Verlag GmbH: Haltern, Germany. 856 p.