

В. В. Зайков, Ю. В. Кулешов, С. Г. Тесалина, В. А. Гильмаев,  
И. Ю. Мелекесцева, К. Беккер, Е. И. Чурин

**МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В ГИДРОТЕРМАЛЬНО-  
МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ РУДАХ СЕВЕРО-УВАРЯЖСКОГО  
КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКАЯ  
ПАЛЕООСТРОВНАЯ ДУГА, УРАЛ)**

V. V. Zaykov, Yu. V. Kuleshov, S. G. Tesalina, V. A. Gilmaev,  
I. Yu. Melekestseva, C. Becker, E. I. Churin

**GOLD AND SILVER MINERALS OF  
HYDROTHERMAL METASOMATIC ORES IN THE NORTHERN PART  
OF THE UVARIAZH DEPOSIT  
(THE WESTERN-MAGNITOGORSK ISLAND ARC OF THE URALS)**

Some minerals of noble metals were found in ore channel of the Northern part of the Uvariazh deposit (Baimak ore area). They are: electrum, native silver, argentite, hessite, and cervelleite. Native metals and argentite form angular or rounded grains in size up to 200  $\mu\text{m}$  and micron veins. The most usual forms of hessite individuals look like drop or lens with size up to 100  $\mu\text{m}$ . Cervelleite ( $\text{Ag}_4\text{TeS}$ ) that was found in sulfide chimneys of Yaman-Kasy deposit (Sakmar zone) as a new mineral for the Urals has the same form. Distribution of silver minerals depends on lead mineralization, so most of them were in galena. Gold has more complex dependence because of the association with barite and quartz. With the help of microprobe method it was possible to study electrum composition in which there are wide variations of Au:Ag (from 3:1 to 1:2) with some portion of mercury (up to 1.56 %). These data can help for technological estimation of such ores and definition of genesis of mineralization of noble metals. And at the end of the paper there is a part for comparison of gold and silver minerals from different ore facies of VMS deposit of the Urals.

**Введение**

Северо-Уваряжское месторождение расположено в Баймакском рудном районе, в 11 км юго-западнее г. Баймак [1]. Первые скважины на участке были пробурены 50 лет назад и ими было вскрыто несколько маломощных интервалов вкрапленных полиметаллических руд. В дальнейшем здесь проходились оди-

ночные скважины, в основном, с целью проверки геофизических аномалий. Постепенно к началу 1990-х годов была накоплена информация для постановки поисково-оценочных работ, которые были начаты в 1996 году. Этими исследованиями получены новые данные о морфологии и составе рудных тел, показана их принадлежность к баймакскому типу колчеданных месторождений с повышенными концентрациями золота [10].

В статье изложены результаты изучения минералов золота и серебра в рудоподводящей зоне колчеданно-полиметаллической залежи. Основные сведения получены по скв. 4324, пробуренной в северной наиболее эродированной части рудного поля (рис. 1). Документация и отбор образцов для минераграфических исследований проводились В. В. Зайковым с использованием первичных материалов Баймакского филиала «Башкиргеологии», выполненных В. А. Гильмаевым и Т. Н. Дерябиной. Изучение руд сделано в лабораториях Института минералогии УрО РАН (Россия, микронзонд JEOL 733), Фрайбергской горной академии (Германия, микронзонд JEOL JXA 8900 RL), Музея Естественной истории (Великобритания, микронзонд Hitachi). Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 01-05-65329), MinUrals (грант NICA2-1999-10022) и Министерства образования РФ. Авторы благодарят за помощь Е. В. Белогуб, К. А. Новоселова, Т. Н. Дерябину и Р. З. Садыкову.

### **Краткие сведения о строении Северо-Уваряжского месторождения**

Палеовулканологическими исследованиями установлено, что Баймакский рудный район представляет собой систему вулканических гряд в пределах Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги [1, 11, 12]. Северо-Уваряжское месторождение приурочено к зоне кулисообразных тел серицит-кварцевых метасоматитов северо-восточного простирания длиной около 7 км с восточным падением (рис. 1). Зона вмещает несколько пунктов минерализации со штокверковыми и сплошными рудами (Южно-и Северо-Уваряжское, Верхне-Мамбетовское, Южно-Асылловское). Она расположена на западном фланге вулканической постройки, эпицентр которой фиксируется выходами плагиигранитов в 1.5 км восточнее месторождения. Формирование рудоносной зоны связано с эффузивно-экструзивными куполами риолито-дацитов, образовавшимися на заключительной стадии среднедевонского вулканизма.

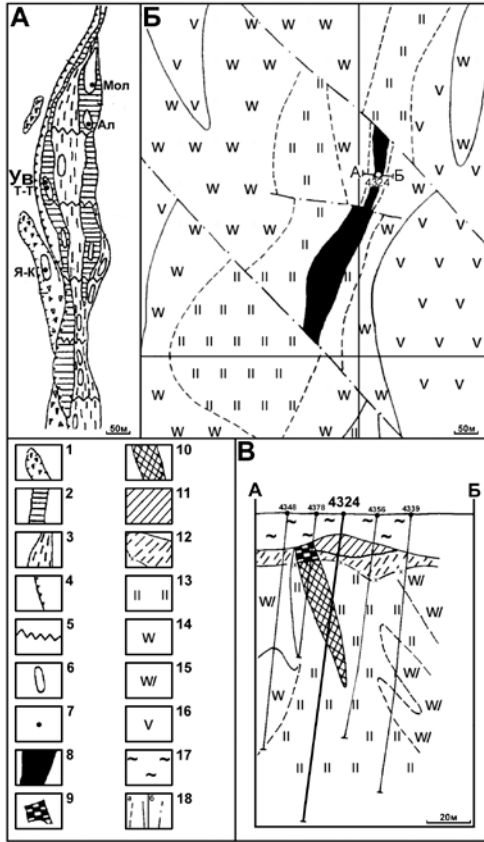


Рис. 1. Геологическая позиция и схема строения Северо-Уваряжско-го рудопроявления.

А — схема размещения колчеданных рудных районов в палеоокеанических структурах Южного Урала; Б — схема геологического строения Северо-Уваряжского рудопроявления; В — геологический разрез по линии 110.

1—3—фрагменты структур: 1 — Сакмарского раннепалеозойского окраинного моря, 2 — девонских островных дуг, 3 — девонских междуговых и задуговых бассейнов; 4 — сутурная зона Главного Уральского разлома; 5 — скрытые поперечные разломы; 6 — колчеданоносные районы; 7 — колчеданные месторождения: Я-К — Яман-Касы, Т-Т — Таш-Тау, Ув — Уваряж, Ал — Александринское, Мол — Молодежное; 8 — проекция самого крупного рудного тела; 9 — окисленные руды; 10 — сплошные медно-цинковые руды; 11 — сплошные медные руды; 12 — вкрапленные медные руды; 13 — серицит-кварцевые метасоматиты; 14 — риолито-дациты ( $D_2$ ); 15 — риолито-дацитовые порфиры; 16 — лавы и вулканомиктовые породы андезито-базальтового состава ( $D_2$ ); 17 — глины; 18 — ясные и неясные геологические границы (а), разломы (б)

Штокверковые руды установлены на северном наиболее эродированном фланге рудопроявления. Для них характерны вкрапленность, прожилки и жилы сульфидов с отдельными полосообразными сплошными метасоматическими сульфидно-баритовыми рудами. Содержания меди, цинка, свинца обычно на уровне первых десятых долей процента и золота до 0.5 г/т. При этом установлены и обогащенные интервалы, особенно сфалеритом; содержания составляют: Zn 3.25 %; Cu 0.27 %; Pb 0.32 %; Au 2.3 г/т. Оруденение приурочено к метасоматитам по плагиоклазовым дацитам и распространено до глубины 200 м. Штокверковые руды приурочены к рудоподводящему каналу, осевая часть которого вероятно фиксируется богатыми барит-сульфидными жилами. Они вскрыты скважиной 4324 в интервале 39.0—55.6 м и имеют средние содержания: Au 25.7 г/т; Ag 333.9 г/т; Cu 3.25 %; Pb 5.23 %; Zn 15.52 %.

Сплошные руды залегают южнее штокверковых на склоне предполагаемого купола, на более высоком стратиграфическом уровне. Для них на некоторых интервалах также характерны высокие содержания полезных компонентов, например в скважине 4270 в интервале 253.0—271.6 м: Au 6.4 г/т; Ag 86.5 г/т; Cu 4.71 %; Zn 26.93 %; Pb 0.53 %. На выклинках и в кровле сплошных руд залегают кластогенные руды, содержащие обломки халькопирита и пирита. Содержания меди колеблются в пределах 0.5—1.5 %, золота до 1 г/т, остальные компоненты присутствуют в незначительных количествах.

Сплошные и сопровождающие их обломковидные руды залегают с довольно пологим южным склонением и крутым (40—50°) восточным падением. Протяженность по простиранию 330 м, длина по падению 50—60 м, мощность 3—5 м.

Сплошные руды залегают на контакте субвулканических кварцевых дацитов и вулканомиктовых отложений, превращенных в метасоматиты, кластогенные, приуроченные к их висячему боку, — в обломочных породах кислого состава, также полностью замещенных вторичными минералами.

Регенерированные руды залегают над сплошными, но значительно оторваны от них по вертикали. Для них характерны выделения сфалерита и содержания цинка, в среднем, 1—1.5 %, максимально до 4 %. Сфалеритовая минерализация развита внутри субвулканических кварцевых риолитов, границы минерализованных зон расплывчатые и устанавливаются по опробованию.

В северной части рудное тело нарушено поперечным разломом, наличие которого подтверждается рельефом поверхности

и дайками дацитов. Южный блок по этому разлому опущен на несколько десятков метров.

### Характеристика керна из рудоподводящей зоны (скважина 4324)

Скважина 4324 пройдена в северной части рудопоявления до глубины 308 м. Руды сосредоточены на глубине 39.0—55.6 м и представлены 5 крупными интервалами, отличающимися по составу и текстурно-структурным особенностям. Ниже приведено их краткое описание с генерализованной геохимической характеристикой; графики содержаний компонентов показаны на рис. 2.

39.0—41.2 м — Руды халькопирит-галенит-сфалеритовые прожилково-вкрапленные и полосчатые с включениями рассланцованных серицит-кварцевых метасоматитов; содержания серы 12—18 %, цинка 5—8 %, свинца 2—3 %, меди 1—1.5 %; серебра 30—200 г/т, золота 25—37 г/т.

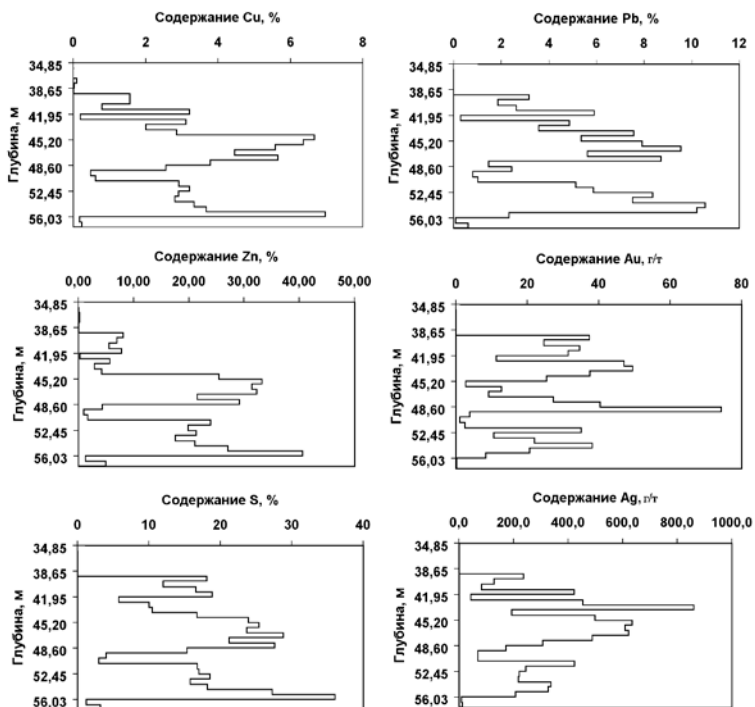


Рис. 2. Графики содержаний полезных компонентов в скв. 4324.

41.2—43.0 м — Руды сфалерит-халькопирит-галенит-баритовые полосчатые и брекчиевые с редкими включениями серицит-кварцевых метасоматитов, сульфидно-баритовыми жилками. Содержания серы 5—12 %, цинка 1—5 %, свинца 3—5 %, меди 1—3 %; серебра 400—900 г/т, золота 11—49 г/т. В аншлифах с глубины 42.3 м установлены самородный электрум, аргентит и самородное серебро как в сульфидной матрице, так и в сульфидно-баритовых жилках.

43.0—48.2 м — Руды галенит-халькопирит-сфалеритовые полосчатые и пятнистые с включениями кристаллов пирита, выделениями барита и хлоритолитов; содержания серы 15—30 %, цинка 20—34 %, свинца 2—9 %, меди 3—6 %; серебра 300—600 г/т, золота 3—40 г/т. В аншлифах с глубины 43.6 м установлены ртутьсодержащий электрум по периферии кристаллов пирита, а с интервала 45.0 и 47.0 м — гессит в галенитовых агрегатах. На глубине 44.2 м в галените установлены зерна минерала, по составу тождественного кервеллеиту.

48.2—50.1 м — Руды галенит-сфалерит-халькопирит-баритовые полосчатые и пятнисто-брекчиевидные с включениями серицитолитов; содержания серы 5—17 %, цинка 1—20 %, свинца 1—5 %, меди 1—3 %; серебра 200—400 г/т, золота 1—74 г/т. На интервале 48.6, 48.7 и 48.9 м выявлены зерна электрума в сфалерит-халькопиритовой ассоциации и гессита в галенитовых агрегатах.

50.1—55.6 м — Руды халькопирит-галенит-сфалеритовые полосчатые и пятнистые с включениями серицитолитов; содержания серы 15—35 %, цинка 20—40 %, свинца 6—10 %, меди 3—7 %; серебра 200—350 г/т, золота 2—38 г/т.

Анализ химизма руд показывает, что имеется прямая корреляция между содержаниями серы, цветных металлов и серебра. Распределение золота не подчиняется отмеченной зависимости. Наиболее высокие концентрации (20—50 и 40—74 г/т) приурочены к сульфидно-баритовым рудам с пониженными концентрациями меди, цинка и свинца.

Общей особенностью вскрытого скважиной рудного тела является субвертикальная ориентировка полосчатости сульфидных агрегатов, баритовых жилок и линзовидных включений метасоматитов, часто параллельная оси керна. На этом основании сделан вывод, что данное тело вероятнее всего представляет собой жильную зону мощностью 3—5 м в рудоподводящем канале.

## Стадии минералообразования

Описанные руды отнесены к гидротермально-метасоматической фации, формирование которой происходило в рудо-подводящем канале в течение всего времени рудообразования. При неоднократной повторяемости процессов минералообразования выделяются три последовательные рудные стадии.

К первой относится пирит, образующий пентагондодекаэдрические кристаллы и мелкокристаллические агрегаты. Эти кристаллы обрастают галенитом, сфалеритом, халькопиритом и пересекаются жилками этих минералов.

Минералы второй полиметаллической стадии образуют две ассоциации:

1) сульфосольно-халькопирит-сфалеритовую, часто выраженную мозаичными агрегатами с признаками совместного роста, и субмикроскопическими прорастаниями халькопирита в сфалерите (так называемая «халькопиритовая болезнь» или эмульсионная вкрапленность халькопирита); отметим, что серебро установлено в теннантите и тетраэдрите, причем его количество с глубиной (от 40 до 49 м) возрастает с 1 до 3,0 %.

2) галенитовую, более позднюю, что устанавливается по некоторой обособленности этого минерала от сульфидов меди и цинка, а также жилкам галенита в остальных сульфидах. Минералы серебра ассоциируют с галенитом, в частности в нем установлены выделения гессита и кервеллеита. При этом аргентит и самородное серебро слагают жилки в галените.

Третья золоторудная стадия выражена электрумом, образующим выделения в мозаичных сульфидных агрегатах и по периферии кристаллов пирита. Эта минерализация наложена как на массивные руды, так и на баритовые жилы.

### Характеристика золото- и серебросодержащих минералов

Для характеристики минералов благородных металлов выполнены микрозондовые анализы и получены снимки с помощью компьютерных технологий (табл. 1—3, рис. 3—10). По составу самородное золото отнесено к электруму, так как в кристаллохимических формулах количество Au менее 75 % (ф. е.).

*Электрум.* В шлифе 4324/42.3 зерна электрума встречаются как в сульфидной матрице, так и в баритовых жилках. Их размеры достигают десяти микрон. Сечения зерен электрума изометричные и часто имеют округлую форму. В «сульфидной»

Таблица 1

## Результаты анализа электрума из руд Северо-Уваряжского рудопроявления (скважина 4324)

№ п/п	Глубина и точки анализов	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	Pb	S	Sb	As	Te	Hg	Cd	Mn	Bi	Сумма	Кристаллографическая формула
1	42.3-1 (E)	62.52	34.81	0.86	0.74	0.00	0.00	-	-	0.01	0.06	0.00	-	0.03	0.00	99.03	$Au_{0.48}Ag_{0.48}Cu_{0.02}Fe_{0.02}$
2	42.3-2 (E)	63.30	35.85	0.98	0.85	0.03	0.00	-	-	0.03	0.08	0.00	-	0.00	0.00	101.11	$Au_{0.48}Ag_{0.48}Cu_{0.03}Fe_{0.03}$
3	42.3-3 (E)	62.66	35.05	0.88	0.72	0.00	0.00	-	-	0.00	0.05	0.00	-	0.01	0.00	99.38	$Au_{0.49}Ag_{0.47}Cu_{0.03}Fe_{0.01}$
4	42.3-5 (D)	76.69	21.96	0.07	0.04	0.00	0.00	-	-	0.04	0.05	0.00	-	0.00	0.00	98.85	$Au_{0.66}Ag_{0.34}$
5	42.3-6 (D)	80.74	19.64	0.05	0.02	0.00	0.00	-	-	0.00	0.02	0.00	-	0.00	0.00	100.46	$(Au_{0.70}Ag_{0.31})_{1.01}$
6	42.3-7 (D)	73.95	24.72	0.11	0.10	0.00	0.03	-	-	0.02	0.03	0.00	-	0.03	0.00	99.00	$Au_{0.62}Ag_{0.38}$
7	42.3-8 (D)	79.13	20.38	0.11	0.03	0.00	0.00	-	-	0.00	0.05	0.00	-	0.01	0.00	99.71	$Au_{0.68}Ag_{0.32}$
8	42.3-10 (C)	66.67	32.81	1.22	0.77	0.26	0.00	-	-	0.00	0.11	0.00	-	0.00	0.00	101.86	$Au_{0.51}Ag_{0.45}Cu_{0.03}Fe_{0.01}$
9	43.6-a1	41.62	51.70	0.00	-	0.00	1.30	1.10	0.00	0.00	0.38	1.56	-	-	0.00	97.66	$Au_{0.49}Ag_{0.47}Hg_{0.01}$
10	48.6	69.46	28.64	0.06	0.03	0.08	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-	98.52	$Au_{0.49}Ag_{0.47}Te_{0.01}$
11	48.7b1-1	73.42	27.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.07	0.00	-	0.00	100.73	$Au_{0.60}Ag_{0.40}$
12	48.7b1-2	69.65	26.41	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.41	0.00	-	0.00	96.67	$(Au_{0.63}Ag_{0.39})_{1.02}$
13	48.7b1-3	73.66	25.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.00	-	0.00	99.42	$Au_{0.61}Ag_{0.39}$
14	48.7b1-4	70.40	26.55	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.16	0.00	-	0.00	97.36	$Au_{0.59}Ag_{0.41}$
15	48.7b1-5	70.77	27.04	0.03	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.08	0.00	-	0.00	98.16	$Au_{0.59}Ag_{0.41}$

Примечания: 1) Анализы 1—8 выполнены Ю. В. Кулешовым во Фрайбергской горной академии (Германия) на приборе JEOL JXA 8900, оператор К. Беккер. Анализы 9—15 выполнены В. В. Зайковым и С. Г. Тесалиной в Институте минералогии УрО РАН, оператор Е. Н. Чурин. 2) «>» элементы не анализировались. 3) Граница между самородным золотом и электрумом принята 75 % Au (ф. е.).



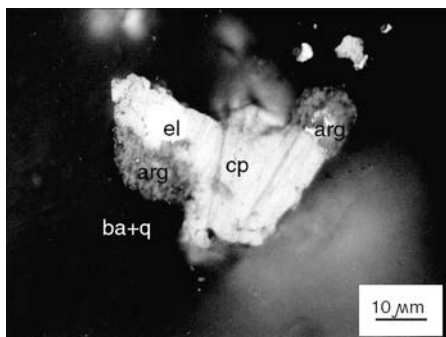


Рис. 3. Зерно халькопирита, содержащее электрум в сульфидной матрице (скв. 4324, глубина 42.3 м).  
el — электрум;  
arg — аргентит; sp — халькопирит; ba — барит; q — кварц

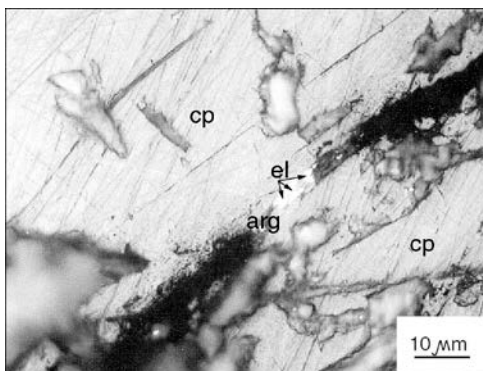
матрице электрум встречен в мелких зернах халькопирита (рис. 3). Несколько зерен размером первые микроны были найдены в аргентитовой жилке, которая пересекает зерно халькопирита (рис. 4). В баритовой жилке зерна электрума встречаются в ассоциации с самородным серебром (рис. 5).

По результатам микрозондового анализа (табл. 1) электрум в баритовой жилке имеет более высокие содержания золота (73—81 %), чем в матрице (44—66 %). Содержания серебра соответственно варьируют от 19 до 24 %, а в матрице от 30 до 39 %. Это свидетельствует о том, что в баритовой жилке разделение золота и серебра было более активным; видимо, поэтому здесь мы встречаем самородное серебро.

Наиболее крупные зерна электрума выявлены в интервале 48.6—48.9 м, где содержание золота 74 г/т. В аншлифе 4324/48.7 (рис. 6) зерна электрума приурочены к границам зерен халькопирита, в сечениях имеют треугольную и вытянутую форму, размеры 50—100 микрон. Содержание золота в минерале 70—73 %, серебра — 26—27 %; характерно присутствие теллура (0.1—0.2 %) и ртути

Рис. 4. Зерна электрума в аргентитовой жилке, которая пересекает зерно халькопирита (скв. 4324, глубина 42.3 м).

el — электрум; arg — аргентит; sp — халькопирит



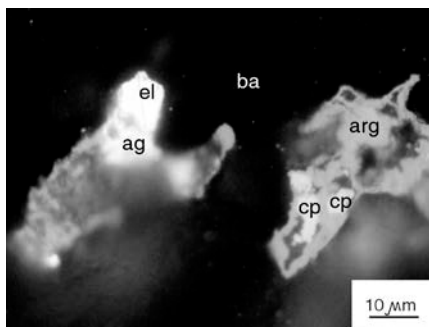


Рис. 5. Зерна электрума и серебра в баритовой жилке (скв. 4324, глубина 42.3 м).

el — электрум; arg — аргентит; cp — халькопирит; ba — барит

(0.1—0.4 %). Сопутствующий халькопирит имеет содержание золота до 1.59 %. В аншлифе 4324/43.6 зерна

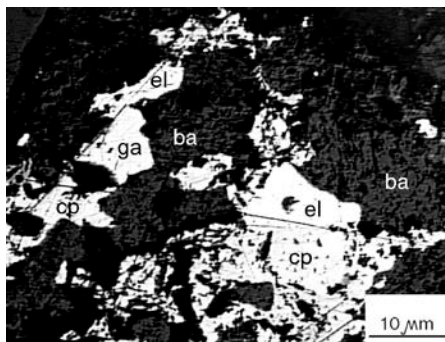
электрума отличаются наиболее высокими концентрациями серебра (51.7 %) и ртути 1.56 % (рис. 7).

*Самородное серебро.* Самородное серебро установлено в аншлифе 4324/42.3. Зерно находится в контакте с электрумом и имеет размер двадцать микрон в поперечнике (рис. 5). По результатам микрозондовых анализов (табл. 2) оно содержит 94—95 % серебра и 0.02—0.40 % золота; значимые примеси (десятые доли %) представлены медью, теллуром и кадмием.

*Аргентит.* Зерна аргентита выявлены в аншлифе 4324/42.3 как в жилке, так и в матрице. В жилке они находятся вблизи зерен электрума в баритовой массе и имеют причудливую мозаичную морфологию (рис. 5). В сульфидной матрице одни зерна аргентита окружают зерна электрума, а другие образуют округлые включения в галените размером до 160 мкм и жилки, рассекающие халькопиритовые зерна (рис. 8). Согласно микрозондовым анализам (табл. 2) и микрогеохимической карте, жилки и включения аргентита отличаются по сурьме: в первых содержания сурьмы ~ 0.07, а во вторых меняется от 1 до 2 %. Примеси в аргентите представлены мышьяком (2—6 %), теллуром (0.1—1.1 %), кадмием (0.1—0.7 %).

Рис. 6. Зерна электрума на границе халькопирита и барита (скв. 4324, глубина 48.7 м).

el — электрум; cp — халькопирит; ga — галенит; ba — барит



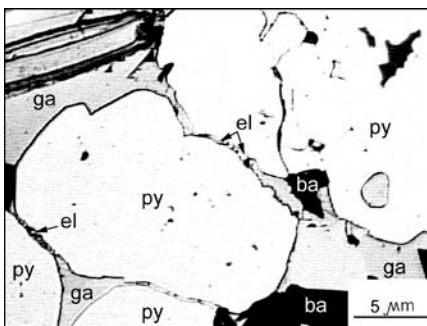


Рис. 7. Кристаллы пирита с галенитовым цементом и ртутьсодержащим электрум по обрамлению (скв. 4324, глубина 43.6 м).

el — электрум; py — пирит; ga — галенит; ba — барит

*Гессит.* Гессит установлен в аншлифах с глубин 45.0; 47.0; 48.9 м. Он образует зерна размером десятки микрон в галените. Форма зерен вытянутая, неправильная, цвет серовато-голубой с шагреновой поверхностью (рис. 9). Из примесей для него характерны висмут, ртуть, цинк, свинец (табл. 3). По составу гессит из разных участков рудоносной зоны имеет некоторые отличия: с глубиной количество серебра уменьшается от 69 до 59 % при соответствующем возрастании теллура от 28 до 37 % и мышьяка от 0.01 до 1.1 %.

*Кервеллеит.* Кервеллеит находится в сходной позиции с гесситом — среди зерен галенита и имеет сходный облик (рис. 10). Он установлен на глубине 44.2—44.3 м в среднекристаллической руде, сложенной полосами сфалерита, галенита, халькопирита и халькопирита со сфалеритом. Примеси в минерале (табл. 3) представлены свинцом (0.2—1.4 %) и цинком (0.24—0.26 %). Необходимо отметить, что кервеллеит открыт лишь в 1989 году на полиметаллическом месторождении Бамбула в Мексике [16], и по этому минералу имеется крайне мало информации. Можно отметить публикацию В. В. Масленникова по сульфидным трубам месторождения Яман-Касы [6] и Г. Хелми с соавторами [17] по вулканогенному Zn-Cu-Pb-Ag месторождению Самиуки в Юго-восточном

Рис. 8. Зерно галенита с жилками и округлыми включениями аргентита (скв. 4324, глубина 42.3 м).

arg — аргентит; cp — халькопирит; ga — галенит; ba — барит

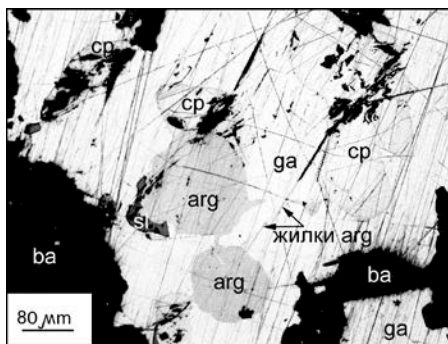


Таблица 2

## Результаты анализа аргентита и самородного серебра из руд Северо-Уваряжского рудопроявления (скважина 4324)

№ п/п	Глубина и точки анализов	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	Pb	S	Sb	As	Te	Hg	Cd	Mn	Bi	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	42.3-16 (Е)	0.73	83.59	2.20	1.52	0.05	0.20	13.45	0.03	0.01	0.22	0.00	0.09	0.00	0.08	102.51	$(\text{Ag}_{1.85}\text{Cu}_{0.07}\text{Fe}_{0.07})_{1.98}\text{S}$ Аргентит
2	42.3-19 (Е)	0.00	64.12	9.52	0.59	0.10	0.00	16.57	0.28	6.20	0.08	0.00	0.24	0.12	0.00	97.96	$(\text{Ag}_{0.98}\text{Cu}_{0.25}\text{Fe}_{0.02})_{1.25}$ $(\text{S}_{0.87}\text{As}_{0.13})$ Аргентит
3	42.3-31(В)	0.29	65.44	7.95	0.00	0.00	0.00	15.77	1.58	5.64	0.87	0.00	0.09	0.00	0.21	98.34	$(\text{Ag}_{1.05}\text{Cu}_{0.22})_{1.27}$ $(\text{S}_{0.84}\text{As}_{0.14}\text{Sb}_{0.02})$ Аргентит
4	42.3-33(В)	0.00	65.49	8.32	0.14	0.00	0.00	15.82	1.86	5.37	1.08	0.00	0.32	0.03	0.00	98.82	$(\text{Ag}_{1.04}\text{Cu}_{0.22})_{1.26}$ $(\text{S}_{0.83}\text{As}_{0.12}\text{Sb}_{0.03}\text{Te}_{0.01})_{0.99}$ Аргентит
5	42.3-39(А)	0.50	66.94	9.64	0.08	0.00	0.50	15.81	1.22	2.48	0.43	0.00	0.68	0.00	0.00	98.40	$(\text{Ag}_{1.17}\text{Cu}_{0.28})_{1.45}$ $(\text{S}_{0.92}\text{As}_{0.06}\text{Sb}_{0.02})$ Аргентит
6	42.3-22(Д)	0.02	94.11	0.15	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08	0.17	0.00	0.30	0.11	0.15	95.25	Ag Самородное серебро
7	42.3-23(Д)	0.42	95.04	0.13	0.01	0.01	0.00	0.13	0.00	0.00	0.20	0.00	0.45	0.00	0.00	96.43	Ag Самородное серебро

Примечания: Анализы 1—7 выполнены Ю. В. Кулешовым во Фрайбергской горной академии (Германия) на приборе JEOL JXA 8900, оператор К. Беккер. Анализы 2—5, по всей видимости, соответствуют аргентиту, но соотношения между катионами и анионами в них не соответствуют стехиометрии минерала.

Таблица 3

## Результаты анализа гессита и кервеллента из руд Северо-Уваряжского рудопоявления (скважина 4324)

№ п/п	Глубина и точки анализов	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	Pb	S	Sb	As	Te	Hg	Cd	Mn	Bi	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	45-а2-1	0.03	65.84	1.60	-	0.23	0.01	0.99	0.00	0.01	28.84	0.16	0.00	-	0.32	98.03	$(Ag_{2.10}Cu_{0.10})_{2.20}Te_{0.79}$ Гессит
2	45-а2-2	0.00	69.04	0.61	-	0.05	0.14	0.86	0.00	0.00	30.27	0.07	0.00	-	0.00	101.04	$(Ag_{2.16}Cu_{0.03})_{2.19}Te_{0.81}$ Гессит
3	45-а2-3	0.00	64.08	1.07	-	0.14	0.00	0.13	0.00	0.02	33.10	0.00	0.00	-	0.00	98.54	$(Ag_{2.03}Cu_{0.07})_{2.10}Te_{0.90}$ Гессит
4	48.9а-1	0.00	63.51	0.00	0.00	0.07	0.22	0.03	0.00	0.64	37.08	0.05	-	-	0.25	101.85	$Ag_{2.01}Te_{0.99}$ Гессит
5	48.9а-2	0.02	60.01	0.00	0.02	0.03	0.11	0.16	0.00	0.69	37.50	0.00	-	-	0.00	98.54	$Ag_{1.98}Te_{1.02}$ Гессит
6	48.9а-3	0.00	61.33	0.18	0.01	0.03	0.26	0.30	0.00	0.76	36.15	0.23	-	-	0.39	99.64	$Ag_{2.01}Te_{0.99}$ Гессит
7	48.9с-1	0.02	59.31	0.08	0.03	1.51	1.51	0.36	0.00	1.08	37.85	0.00	-	-	0.18	101.94	$Ag_{1.92}(Te_{1.04}As_{0.03})_{1.07}$ Гессит
8	44.2а1-1	0.01	67.65	4.40	0.00	0.26	1.42	5.67	0.00	0.00	22.60	0.00	0.00	-	0.00	102.01	$(Ag_{3.50}Cu_{0.40}Pb_{0.06})_{3.96}S\ Te$ Кервеллент
9	44.2а1-2	0.00	69.36	4.74	0.02	0.24	0.16	5.36	0.00	0.00	21.80	0.03	0.00	-	0.00	101.71	$(Ag_{3.66}Cu_{0.40})_{4.06}S_{0.98}Te_{0.98}$ Кервеллент

Примечания: Анализы 1—9 выполнены В. В. Зайковым и С. Г. Тесалиной в Институте минералогии УрО РАН, оператор Е. Н. Чурин. «-» элементы не анализировались. Анализы 1—3, 7, по всей видимости, соответствуют гесситу, но соотношения между катионами и анионами в них не соответствуют стехиометрии минерала.

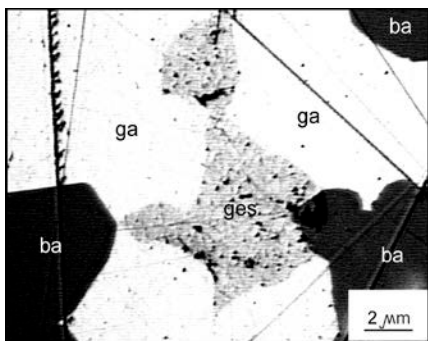


Рис. 9. Выделение гессита в галените во вмещающей баритовой массе (скв. 4324, глубина 45.0 м).

ges — гессит;  
ga — галенит; ba — барит

Египте. Поэтому дальнейшее изучение минерала имеет важное значение

как для понимания условий отложения теллур- и серебросодержащих соединений, так и для региональной минералогии.

### Сравнение минералов золота и серебра из различных рудных фаций колчеданных месторождений Урала

Полученные результаты характеризуют набор и состав минералов золота и серебра в гидротермально-метасоматической фации месторождений баймакского типа. Сравним эти данные со сведениями о соответствующей минерализации в других рудных фациях уральских колчеданных залежей [2, 7]. Наиболее изученными в этом отношении являются месторождения Яман-Касы, Таш-Тау, Александринское, Молодежное (рис. 1). Первое расположено в Сакмарской зоне и представляет собой холмообразную, хорошо сохранившуюся постройку с реликтами сульфидных труб в кровле залежи [4, 6]. Месторождение Таш-Тау находится в Баймакском районе в 10 км южнее Северо-Уваряжского и представлено сдвоенным сульфидным холмом в начальной стадии разрушения и придонного окисления [3]. Александринское и Молодежное месторождения приурочены к Восточно-Магнитогорской палео-

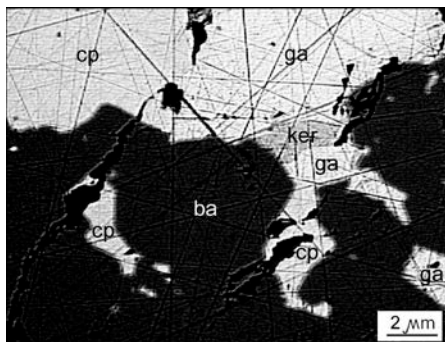


Рис. 10. Выделение кервеллеита в галените во вмещающей баритовой массе (скв. 4324, глубина 44.2 м).

ker — кервеллеита;  
сп — халькопирит; ga — галенит; ba — барит

островной дуге и характеризуются наличием кластогенных руд совместно с продуктами субмаринного окисления рядом с реликтами гидротермальных сульфидных холмов [9, 7, 13].

В *придонной гидротермальной фации* минералы золота и серебра изучены на месторождениях Яман-Касы и Александринском. Самородное золото выявлено в средней халькопиритовой зоне труб, где оно находится в сростаниях с галенитом и образует каемки вокруг кристаллов пирита. Размер наиболее крупных золотинок 30 микрон, но обычно это первые микроны. Состав зерен довольно стабилен: Au 77—82 %, Ag 14—18 %; отмечается некоторая примесь Cu, Fe, S, которая объясняется мельчайшими включениями халькопирита [8]. Ближе к центру трубы среди минералов благородных металлов преобладают теллуриды золота и серебра, среди которых диагностированы силванит, гессит-штютцит, волинскит и кервеллеит [6]. Последний минерал находится в виде зерен размером первые микроны среди халькопирита и содержит примесь меди до 1.46 %.

На Александринском месторождении в придонной гидротермальной фации минералы золота и серебра выявлены также в средней сфалерит-халькопиритовой зоне сульфидных труб [14]. Самородное золото образует зерна размером 2—10 мкм со сглаженно-угловатыми ограничениями в сфалерите. С этими индивидами ассоциирует тонкодисперсный гессит.

Температуры образования сфалерит-халькопиритового парагенезиса сульфидных труб на обоих месторождениях, рассчитанные по кобальтовому геотермометру, находятся в пределах 100—310°. В *подрудной гидротермально-метасоматической фации* Александринского месторождения [14] золото присутствует в сульфидно-баритовых жилках. Золотины располагаются на контактах зерен пирита с галенитом и баритом, содержат от 76.7 до 82.4 % Au.

В *придонной гипергенной фации* минералы золота и серебра описаны для барит-борнит-халькопиритовых руд Александринского, Молодежного и Таш-Тауского месторождений [5, 14]. На первом установлены акантит и штрмейерит. Акантит представлен зернами размером до 5 мкм в баритовых рудах кровли рудного тела в ассоциации с гематитом. Зерна имеют изометричную форму и расположены между кристаллами гематита. Штрмейерит присутствует в борнит-галенит-халькопиритовых рудах подзоны вторичного сульфидного обогащения среди галенитовых прожилков, образуя сростания с халькозином.

На месторождении Таш-Тау самородное золото находится в виде выделений размером от нескольких мкм до 4 мм в попе-

речнике. Морфология золотин чрезвычайно сложная: они имеют сотовую или кружевную структуру и включают многочисленные выделения барита, борнита, халькопирита и галенита. По результатам микрозондового анализа и микрогеохимического картирования установлено, что золотины имеют сетчатую микроструктуру, обусловленную распределением золота и серебра. Основная масса имеет содержание золота 85—90 % при содержаниях серебра 10—15 %. В тонких жилках содержание последнего компонента увеличивается до 25 % с соответствующим уменьшением Au. Минералы серебра представлены гесситом, ялпаитом и штрмейеритом. Гессит образует выделения размером несколько микрон в агрегатах борнита и трещинах, пересекающих зерна пирита. С гесситом, имеющим повышенные содержания селена (0.9—1.0 %) ассоциируют галенит и энаргит. Ялпаит и штрмейерит находятся в сростках размером 10—20 мкм среди барита.

На месторождении Молодежном в барит-теннантит-борнит-халькопиритовых рудах средней части кластогенно-гипергенного пласта электрум (Au 71—74 %, Ag 24—26 %) слагает зерна размером 10—20 мкм и тончайшие (1—3 мкм) ветвистые жилки в теннантите и пирите. Кроме этого серебросодержащие минералы представлены прерывистыми пленками толщиной 1—2 мкм, приуроченными к поверхности зерен халькопирита на границе их с баритом. Примерный состав индивидов (%): Ag 23—28, Cu 23—25, Fe 2—6, S 34—40. Предполагается, что такая позиция обусловлена электрохимическими процессами, протекавшими на морском дне в зонах вторичного сульфидного обогащения.

По сравнению с приведенными данными минералы благородных металлов гидротермально-метасоматической фации Северо-Уваряжского месторождения имеют существенные отличия. Во-первых, для самородного золота характерен гораздо больший диапазон содержаний Au и Ag (40—80 % и 20—52 % соответственно) при явном преобладании электрума. Во-вторых, среди серебросодержащих минералов наряду с гесситом, обычным для руд гидротермальной и гипергенной фаций, присутствуют аргентит и самородное серебро. О температуре формирования руд можно судить по аргентиту, который устойчив при температуре более 179 °C [15]. Что касается самородного серебра, то его появление, возможно, обусловлено гипергенными процессами. Можно высказать предположение, что названные отличия обусловлены пульсационным характером поступления и отложения минералов благородных металлов в высокотемпературной рудоподводящей зоне. Формирование сульфидно-баритовых жил и метасоматических руд имело длительную историю, что фиксируется по



соотношению минеральных агрегатов. В отличие от этого, образование гидротермальных труб происходило достаточно быстро, а продукты субмаринного гипергенеза формировались в довольно выдержанных термодинамических условиях.

Для подтверждения высказанного предположения необходимо продолжение исследований в следующих направлениях: объемное минералогическое картирование, анализ минеральных парагенезисов, термобарогеохимические исследования жильных минералов и сфалерита. Эти работы должны сопровождаться изучением минералов благородных металлов в других рудных фациях, как на Уваряжском рудном поле, так и на других объектах Баймакского рудного района.

### **Реконструкция процессов рудообразования**

На основании геолого-минералогических данных формирование месторождения реконструируется следующим образом. На первой стадии в апикальной части дацитового купола над рудоподводящим каналом на дне бассейна образовалась холмовидная рудная залежь. Поступление рудного вещества проходило по жильной зоне, где сформировались богатые золотосодержащие руды (скважина 4324). Неоднократное отложение минеральных ассоциаций проходило по обычной для колчеданных месторождений схеме: пиритовая, халькопирит-сфалерит-галенитовая с серебром, золоторудная. При последующем разрушении холма шло отложение кластогенных руд, включающих обломки пород купола.

После перекрытия рудных тел вулканомиктовыми отложениями, произошло внедрение кварцевых риолитов, сопровождаемое гидротермально-метасоматическими процессами. Под действием тепловых полей и кислых флюидов субвулканические тела и вмещающие их породы были превращены в серицит-кварцевые и хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты. Одновременно происходила мобилизация более подвижных компонентов руд из зон вкрапленной минерализации (цинка, свинца) с последующим их переотложением. В частности, осадителями мобилизованных металлов явились залежи массивных сульфидных руд, обогатившиеся полезными компонентами. При этом цинк не только отлагался в рудных телах, но и образовывал широкие ореолы вкрапленности внутри субвулканических тел. После завершения этих процессов на рудном поле происходили тектонические подвижки субширотного и северо-западного простирания, в результате чего оно приобрело блоковое строение.

В кайнозой сплошные руды в северной части месторождения были эродированы вплоть до рудоподводящего канала. Окисление минерализованных зон проявилось до глубины в 20—30 м от современной дневной поверхности.

### Заключение

В результате выполненных исследований установлены формы нахождения благородных металлов в сульфидных рудах из рудоподводящего канала Северо-Уваряжского месторождения. Минералами-концентраторами являются электрум, самородное серебро, аргентит, гессит, кервеллеит. Самородные металлы и аргентит образуют угловатые и округлые зерна размером от первых микрон до 50 микрон и микронные жилки. Преобладающая форма индивидов гессита каплевидная и линзовидная, размер до 100 микрон. Подобную морфологию имеет редкий кервеллеит, ранее на Урале выявленный в сульфидных трубах месторождения Яман-Касы.

Распределение минералов серебра подчиняется свинцовой минерализации. Золото имеет более сложную зависимость, поскольку ассоциирует с баритом и кварцем.

С помощью микрозондового метода установлен состав минералов; для электрума выявлены широкие вариации отношений  $Au : Ag$  (от 3 : 1 до 1 : 2) и присутствие ртути до 1.56 %.

Полученные данные имеют значение для технологической оценки руд и определения генезиса благороднометальной минерализации.

### Литература

1. *Гильмаев В. А.* Строение и условие формирования Северо-Уваряжского рудопоявления // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков. Уфа: Гау, 2000. С. 199—203.
2. *Зайков В. В.* Применение рудно-фациального анализа для изучения полигенных месторождений полезных ископаемых // Петрография на рубеже XXI века. Итоги и перспективы. Т. II. Сыктывкар: Коми УрО РАН, 2000. С. 177—179.
3. *Зайков В. В.* Строение и рудные фации медно-цинково-колчеданного месторождения Таш-Тау (Баймакский рудный район, Урал) // Уральский минералогический сборник № 5. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 197—216.
4. *Зайков В. В., Шадлун Т. Н., Масленников В. В., Бортников Н. С.* Сульфидная залежь Яман-Касы — древний «черный курильщик» Уралско-

го палеоокеана // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 6. С. 511—529.

5. *Зайков В. В.* Минералы золота и серебра в зонах субмаринного и континентального гипергенеза медноколчеданных месторождений Южного Урала // Уральский минералогический сборник № 7. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 33—52.

6. *Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей. Миасс. Геотур, 1999. 348 с.

7. *Масленников В. В., Зайков В. В.* Колчеданосные палеогидротермальные поля окраинно-океанических структур Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 91 с.

8. *Масленников В. В., Тесалина С. Г., Беккер К., Херрингтон Р., Масленникова С. П.* Состав и закономерности локализации минералов золота и серебра в палеогидротермальных трубах Яман-Касинского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 128—136 с.

9. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с.

10. *Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Гильмаев В. А., Зайцев В. Н.* Новые колчеданные залежи на Южном Урале // Ежегодник-1998 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1999. С. 221—224.

11. *Серавкин И. Б.* Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.

12. *Сопко П. Ф., Исмагилов М. И., Серавкин И. Б., Сопко Л. Н.* Колчеданные месторождения Баймакского рудного района. М.: Наука, 1973. 224 с.

13. *Тесалина С. Г., Масленников В. В., Сурин Т. Н.* Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение (Восточно-Магнитогорская палеоостровная дуга, Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 228 с.

14. *Тесалина С. Г., Масленников В. В., Оржеваль Ж.-Ж.* Минералы золота и серебра в рудных фациях Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 140—145.

15. *Штрюбель Г., Циммер З.* Минералогический словарь. Пер. с нем. М.: Недра, 1987. 494 с.

16. *Criddle A. A., Chisholme J. E., Stanley C. J.* Bambola mine, Moctezuma, Sonora, Mexico // Eur. J. Min. 1, 1989, N 371.

17. *Helmy H. M.* The Um Samiuki volcanogenic Zn-Cu-Pb-Ag prospect, South Eastern Desert, Egypt; a possible new occurrence of cervelleite ( $\text{Ag}_4\text{TeS}$ ) // Mitteilungen der Osterreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 143. 1998. P. 303.