

В. В. Зайков, Р. Херрингтон

**МОУСОНИТ ИЗ ПРОДУКТОВ СУБМАРИННОГО ОКИСЛЕНИЯ  
МОЛОДЕЖНОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

V. V. Zaykov, R. J. Herrington

**MAWSONITE FROM PRODUCTS OF SUBMARINE OXIDATION OF THE MOLODYEZHNOE  
COPPER-PYRITE DEPOSIT (SOUTH URALS)**

The characteristic of mawsonite  $[\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8]$  from bornite-tennantite-chalcopyrite-pyrite ores of the roof of sulphide body is given. By texture-structure features and setting in column these ores correspond to the upper boundary of subzone of submarine secondary sulphide enrichment. Mawsonite is submitted by three types of grains distinguished by morphology, composition and accompanying minerals. The first type is submitted by the saw-like, wedge-shaped and hackly individuals confined to pyrite crystals. The grain of irregular configuration, located at the contact of pyrite and tennantite segregations, has been assigned to the second type. The third type is submitted by rounded and arched segregations at centre of concentric zoned pyrite aggregates together with chalcopyrite and bornite. The compositions of the grains of the first and the second types are determined; they differ in the contents of silver (%): for the first — 0.50; for the second — 0.16. Are calculated crystallochemical formulas: 1)  $\text{Cu}_{6.05}\text{Fe}_{2.10}\text{Sn}_{0.98}\times\text{Ag}_{0.01}\text{S}_{7.84}$ ; 2)  $\text{Cu}_{5.70}\text{Fe}_{2.34}\text{Sn}_{0.95}\text{Ag}_{0.03}\text{S}_{8.00}$ . The comparison of various stanniferous mineral associations from massive sulphide deposits in island-arc structures is carried out.

Моусонит  $\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$  в колчеданосных районах Южного Урала ранее был установлен на Гайском, Учалинском, Подольском месторождениях [5, 6]. Авторы определили моусонит в продуктах субмаринного окисления сульфидных руд Молодежного рудного поля. Полевые и минераграфические исследования выполнены В. В. Зайковым, микронзондовый анализ моусонита и сопутствующих минералов проведен Р. Херрингтоном в Музее Естественной Истории (Лондон) на приборе Newcamesa.

Исследованный образец (174-12-6) был отобран в кровле второго рудного тела [1] и представлен борнит-теннантит-халькопирит-пиритовой рудой, образующей слой мощностью 6—8 см (рис. 1). По текстурно-структурным особенностям и положению в колонке эта руда соответствует верхней границе подзоны субмаринного вторичного сульфидного обогащения [4]. Текстура руды пятнисто-струйчатая по распределению халькопирита, борнита среди обломков пиритовых агрегатов. Присутствуют прожилки и гнезда барита, теннантита.

Моусонит представлен тремя типами зерен, отличающимися по морфологии, составу и ассоциирующим минералам (табл. 1, рис. 2). Первый тип представлен пилковидными, клиновидными и занозистыми индивидами толщиной 2—5 и длиной 5—8 мкм с четкими границами. Все они (порядка 10) приурочены к крупным кристаллам пирита, содержащим выделения борнита, по морфологии сходного с моусонитом, и изометричные включения халькопирита. Пирит сечется жилками барита и теннантита.

Ко второму типу отнесено вытянутое зерно неправильной конфигурации размером 10×20 мкм с нечеткими границами, по-видимому, из-за косога среза пластинчатого индивида. Зерно расположено на границе выделений пирита и теннантита. Для последнего (табл. 2) характерно неравномерное мозаичное распределение Sb с колебаниями содержаний от 2.1 до 2.8 % при изменении концентраций Ag (0.1—0.6 %) и Te (0.4—0.8 %). Теннантит сечется прерывистой жилкой золота толщиной 2—4 мкм с соотношением Au/Ag от 2.7 до 3.0 (пробность 730—750). В теннантите содержится вкрапленность изометричных зерен сложного сульфида (близкого курилиту) поперечником 3—5 мкм (Ag 54 %; Se 13 %; Te 12 %; S 17 %).

Третий тип представлен округлыми и дугообразными выделениями в центре концентрически

Химический состав и коэффициенты в кристаллохимических формулах моусонита Молодежного месторождения

Компонент	1С-1	1Н2-2	1Н2-3	2-6	2-7
Cu	42.26	41.27	41.49	43.03	43.43
Fe	14.75	15.54	14.64	13.5	12.95
Sn	12.97	12.71	13.14	13.13	13.19
S	29.74	29.85	29.22	28.18	28.36
Ag	н/оп	0.62	0.55	0.16	0.16
Bi	н/оп	0.13	0.00	0.03	0.00
Сумма	99.72	100.12	99.03	98.04	98.08
Коэффициент рассчитан на 17 атомов в соответствии с формулой $Cu_{6+1}Fe_{2+3}Sn_{+4}S_8$					
Cu	5.75	5.60	5.71	6.03	6.07
Fe	2.28	2.40	2.29	2.15	2.06
Sn	0.94	0.92	0.97	0.98	0.99
S	8.02	8.03	7.98	7.82	7.86
Ag	-	0.05	0.04	0.01	0.01
Bi	-	0.01	-	0.00	-

Примечание: Типы зерен: первый — 1С-1, 1Н2-2, 1Н2-3; второй — 2-6, 2-7. Анализы выполнены на приборе Newsamesa, Музей естественной истории, Лондон.

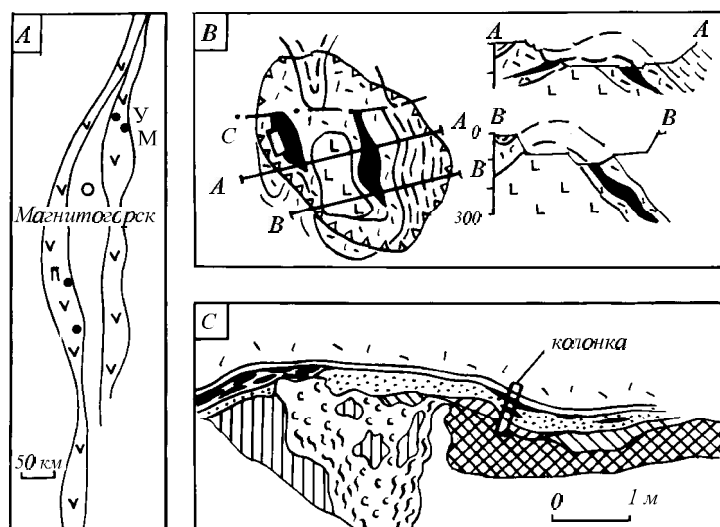
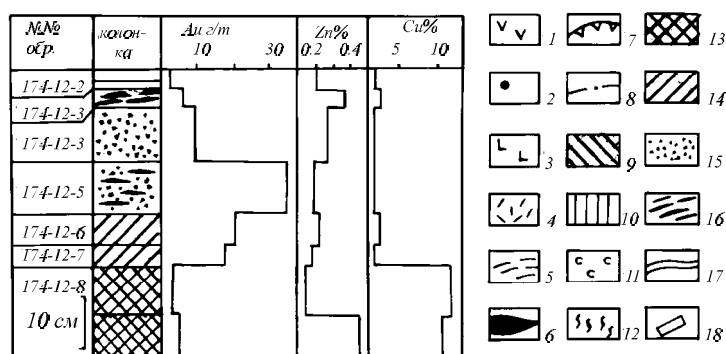


Рис. 1. Геологическая позиция Молодежного медноколчеданного месторождения и строение зоны субмаринного окисления:

А. Позиция месторождений с находками моусонита в Магнитогорской палеоостроводужной системе. 1 — девонские островодужные комплексы; 2 — медноколчеданные месторождения с находками моусонита (У — Учалинское, М — Молодежное, П — Подольское, Г — Гайское);

В. Строение месторождения. 3 — 5 — осадочно-вулканогенные толщи среднего девона: 3 — базальтовая, 4 — риолитовая, 5 — терригенно-карбонатная с потоками андезитов; 6 — медно-цинково-колчеданная залежь; 7 — контуры карьера; 8 — тектоническое нарушение.

С. Зарисовка кровли рудного тела № 2 в стенке уступа; литологическая колонка зоны субмаринного окисления с графиками распределения металлов. 9 — 12 — руды гидротермальной фации: 9 — баритовые, 10 — пиритовые, 11 — сфалеритовые, 12 — сфалерит-баритовые полосчатые; 13 — 16 — руды гипергенной фации: 13 — сфалерит-халькопиритовые с борнитом и ковеллином, 14 — борнит-теннантит-халькопирит-пиритовые, 15 — пиритовые обломочные (псаммитовые, псефитовые) с цементом и обломками гематитового состава; 16 — гематитовые, 17 — хлорит-гематитовые; 18 — места детальных зарисовок



зональных агрегатов пирита совместно с халькопиритом и борнитом. Размеры индивидов порядка 2—4 мкм. Для пирита характерна зональность по распределению мышьяка: от внутренних к внешним зонам его содержание возрастает с 1—2 до 3—5 % (табл. 3). Концентрически зональные агрегаты находятся в баритовой массе, ограниченной выделениями халькопирита. На границе халькопирита и барита располагаются прерывистые четковидные зерна серебросодержащего сульфида (Ag 23—28 %; Cu 32—35 %; Fe 2—6 %; S 34—40 %).

Моусонит под микроскопом сходен с борнитом, имеет светло-коричневую, оранжево-бурую окраску, но отличается сильным двутражением с цветным эффектом от светло-оранжевого до

темно-бурого. Состав моусонита определен для первого и второго типов выделений: (см. табл. 1). Первый соответствует приведенным [6] значениям для моусонита Гайского месторождения. Второй сходен по составу с моусонитом Учалинского и Белоусовского (Рудный Алтай) месторождений [3, 6]. Полученные группы анализов отличаются по содержанию серебра (%): для первого — 0.4—0.6; для второго — 0.16.

На других колчеданных месторождениях Южного Урала моусонит приурочен к борнит-теннантит-халькозиновому (Гай, Учалы) парагенезису [6]. Ассоциирующим оловосодержащим минералом на этих объектах является станноидит. На Среднем Урале моусонит установлен на месторождениях им. III Интернационала и Дягтярском. Здесь этот минерал также ассоциирует со станноидитом.

Таблица 2

Результаты рентгеноспектрального анализа теннантита  
(месторождение Молодежное, аншлиф 174-12-6/1)

№ п/п	зерно-анализ	S	Zn	Fe	Cu	As	Se	Ag	Sb	Te	Сумма
1	A-1	27.49	2.03	3.78	44.43	18.30	0.18	0.31	2.42	0.51	99.43
2	A-2	27.73	2.30	4.41	44.71	18.51	0.27	0.15	2.08	0.47	100.64
3	A-3	27.58	2.20	3.63	45.62	18.32	0.21	0.21	2.58	0.66	101.01
4	A-4	27.48	2.11	3.45	45.05	18.45	0.08	0.14	2.46	0.60	99.83
5	A-5	27.51	2.33	3.62	45.74	18.57	0.17	0.21	2.57	0.56	101.28
6	A-6	27.93	2.53	3.55	43.86	19.42	0.22	0.62	2.45	0.71	101.21
7	A-7	27.52	2.52	3.62	45.86	18.40	0.20	0.02	2.51	0.68	101.31
8	A-8	27.23	2.22	3.76	45.43	18.52	0.16	0.21	2.44	0.58	100.54
9	A-9	27.42	2.37	3.59	45.13	18.46	0.20	0.10	2.79	0.81	100.88
10	A-10	27.32	2.28	3.82	44.44	18.07	0.16	0.57	2.24	0.47	99.36
11	A-13	27.88	2.27	3.79	45.27	19.00	0.18	0.07	2.31	0.44	101.22
12	A-14	27.60	2.34	3.91	45.67	19.30	0.29	0.09	2.32	0.52	102.02
13	A-15	27.43	2.28	4.11	45.07	18.86	0.15	0.12	2.28	0.51	100.82
среднее		27.55	2.29	3.77	45.10	18.63	0.19	0.22	2.42	0.58	100.73

Примечание: Анализы выполнены на приборе Newsamesa, Музей естественной истории, Лондон.

Таблица 3

Результаты рентгеноспектрального анализа зональных агрегатов пирита (месторождение Молодежное, аншлиф 174-12-6)

№ п/п	зерно - анализ	S	Fe	Cu	As	Se	Ag	Te	Сумма
1	A-32	51.83	43.38	1.13	1.85	0.04	0.10	0.06	98.37
2	A-33	51.61	43.15	0.51	2.47	0.03	0.13	0.09	97.99
3	A-34	52.70	43.89	0.17	2.55	0.05	0.00	0.07	99.41
4	A-35	51.95	44.31	0.17	3.16	0.09	0.03	0.02	99.74
среднее		52.02	43.68	0.49	2.51	0.05	0.07	0.06	98.88
6	C-45	52.45	44.05	0.88	1.58	0.03	0.02	0.01	99.01
7	C-46	52.77	45.15	0.40	1.09	0.07	0.00	0.00	99.48
8	C-47	52.57	45.08	0.39	1.79	0.02	0.05	0.03	99.94
9	C-48	52.41	44.60	0.16	2.21	0.06	0.15	0.00	99.58
10	C-49	52.32	43.59	0.32	2.57	0.01	0.00	0.05	98.86
среднее		52.50	44.49	0.43	1.85	0.04	0.04	0.02	99.37
11	D-52	52.09	44.25	0.15	0.90	0.00	0.04	0.05	97.48
12	D-53	52.94	45.57	0.25	0.85	0.00	0.03	0.06	99.69
13	D-54	52.69	45.19	0.30	0.80	0.03	0.00	0.01	99.02
14	D-55	51.85	44.14	0.86	2.18	0.00	0.04	0.00	99.07
15	D-56	52.36	44.67	0.61	1.76	0.00	0.02	0.02	99.43
среднее		52.39	44.76	0.43	1.30	0.01	0.03	0.03	98.94

Примечание: Анализы выполнены на приборе Newsamesa, Музей естественной истории, Лондон.

В колчеданосных провинциях других регионов [2, 7, 9, 10, 11] моусонит указан на месторождениях Рудного Алтая (Белоусовском), Тасмании (Маунт-Лайелл), Канады (Нью-Брансуик, Кидд-Крик), Иберийского пояса (Невеш-Корво, Азналкольяр, Сотиель), Японии

(провинция Куроко). Во всех этих случаях (за исключением Кидд-Крик) колчеданные месторождения с признаками оловянной минерализации приурочены к древним сиалическим островным дугам. Геодинамическая позиция месторождений Южного Урала с минералами олова близка к этим структурам. Гайское и Подольское месторождения располагаются в Западно-Магнитогорской палеоостровной дуге, а Учалинское и Молодежное — в Восточно-Магнитогорской. Поэтому присутствие минералов олова в сульфидных рудах островодужных структур Урала с блоками континентальной коры в основании не является случайным.

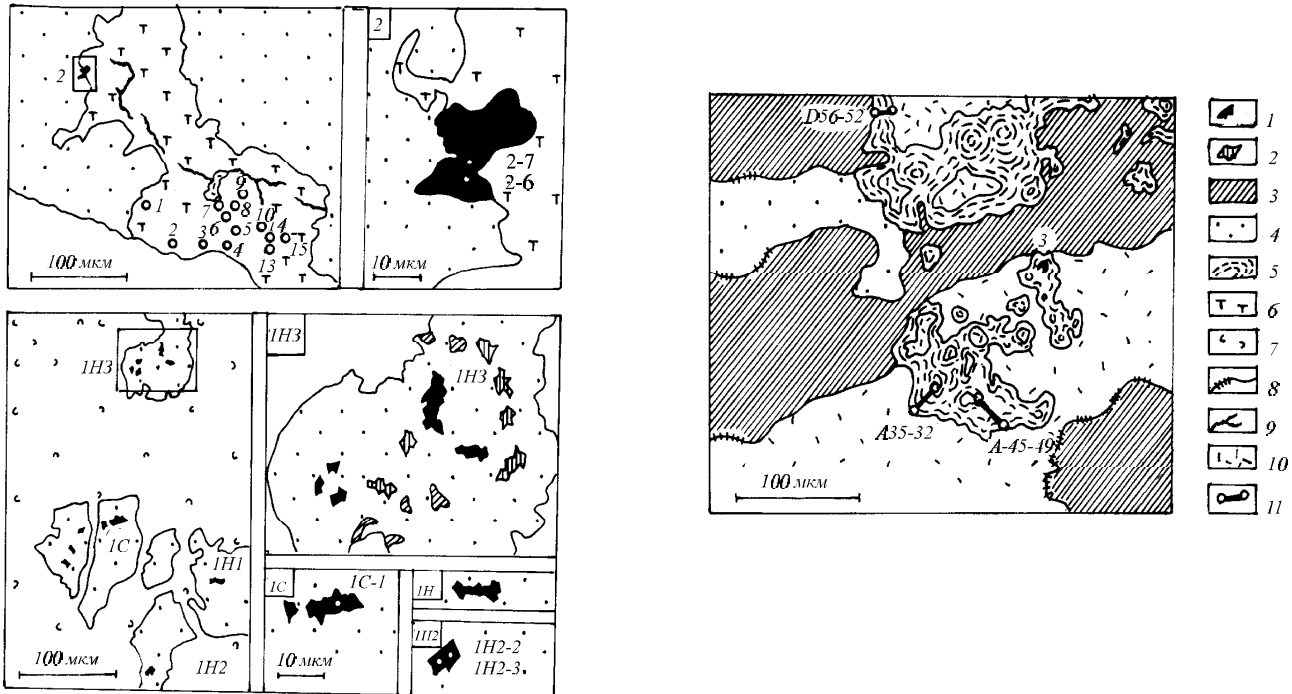


Рис. 2. Зарисовки зерен моусонита в борнит-теннантит-халькопирит-пиритовой руде Молодежного месторождения (по электронно-микроскопическим снимкам, аншлиф 174-12-6): 1 — моусонит; 2 — борнит; 3 — халькопирит; 4 — 5 — кристаллы, 5 — концентрически зональные агрегаты; 6 — теннантит; 7 — борнит+теннантит+барит; 8 — пластинчатые выделения сульфида серебра; 9 — жилки золота; 10 — барит; 11 — точки и профили анализов. Номера зерен: первый тип — 1С, 1Н1, 1Н2, 1Н3; второй тип — 2; третий тип — 3

Образование моусонита на Гайском месторождении Г. Н. Пшеничный [8] связывает с растворением и переотложением компонентов на самых поздних стадиях колчеданообразования. В изученном авторами случае такие условия соответствуют процессам субмаринного окисления.

Следует надеяться, что дальнейшие минералогические исследования руд Молодежного месторождения и других рудных полей Верхне-Уральского района приведут к открытию оловосодержащих минералов, ассоциирующих на других объектах с моусонитом, таких как станнин, станноидит, некрасовит.

Авторы благодарят Е. В. Белогуб за обсуждение результатов, Д. Спретта, Г. Г. Шарпову, С. П. Масленникову, Е. В. Зайкову за техническую помощь.

### Литература

1. Зайков В. В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 1991. 206 с.
2. Колчеданные месторождения мира (ред. В. И. Смирнов). М.: Недра, 1979. 284 с.
3. Куличихина Р. Д., Вяльсов Л. Н. О находке моусонита в СССР // Докл. АН СССР. 1970. Том 192. № 2. С. 410—413.
4. Масленников В. В., Зайков В. В. Продукты разрушения и окисления придонных сульфидных построек на дне Уральского палеоокеана // Докл. АН СССР, 1991. Том 319. № 6. С. 1434—1437.
5. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение (ред. В. И. Смирнов). Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 240 с.

6. Минералогия Урала. Элементы. Карбиды. Сульфиды (ред. *Н. П. Юшкин*). Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 390 с.
7. Полезные ископаемые Австралии и Папуа Новой Гвинеи. Т. 1. (ред. *К. Найт*). М.: Мир, 1980. 658 с.
8. *Пшеничный Г. Н.* Гайское медноколчеданное месторождение Южного Урала. М.: Наука, 1975. 187 с.
9. *Antony J. W. et al.* Handbook of mineralogy. V. 1. Tucson, Arizona: Mineral Data Publishing, 1990. 600 с.
10. Geology and VMS deposits of the Iberian Pyrite Belt (edited by *F. J. A. S. Barriga & D. Carvalho*). Guidebook series. V. 27. 1997. Lisbon, Portugal. 192 p.
11. *Saez R., G. R. Almodovar, E. Pascual.* Geological constraints on massive sulphide genesis in the Iberian Pyrite Belt // *Ore Geology Reviews* 11 (1996). pp. 429—451.