

агрегатов нового минерала. Расчет его на 36 (Si+Al) приводит к формуле  $K_{9.07}Na_{0.91}(Ca_{0.49}Sr_{0.46}Fe_{0.08})_{1.03}[Al_{11.35}Fe_{0.33}^{3+}Mg_{0.05}]_{11.73}Si_{24.27}O_{72.12} \cdot 15 \cdot 2H_2O$  (при  $Z=1$ ) или в идеализированном виде  $K_9Na(Ca, Sr)[Al_{12}Si_{24}O_{72}] \cdot 15H_2O$ .

Т а б л и ц а 3  
Химический состав перлиалита

Окислы	Мас. %	Коэффициент в формуле
K <sub>2</sub> O	14.86	9.07
N <sub>2</sub> O	0.98	0.91
CaO	0.96	0.49
SrO	1.65	0.46
FeO	0.21	0.08
MgO	0.07	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.13	11.35
SiO <sub>2</sub>	50.72	24.27
H <sub>2</sub> O	9.52	15.20
Сумма	100.03	

По величине отношения Si/Al, равного 2, и другим физическим свойствам перлиалит занимает среднее положение в ряду искусственных цеолитов L и K, Ba — G (Брек, 1976; Baerlocher, 1972). Не исключено, что у него есть и прямой аналог — новый искусственный недостаточно полно охарактеризованный калиевой цеолит L-D (Рагимов и др., 1978).

Находка перлиалита в тесной ассоциации с минералами, богатыми калием — вадеитом, астрофиллитом, юкспоритом, микроклином и кальсилитом, — является еще одним показателем существенно калиевой специализации постмагматических образований, локализованных в гнейсовидных ризчорритах в тектонически ослабленной зоне, которая прослеживается с перерывами от горы Ньорпахк до горы Ризчорр по контакту ризчорритов и фойяитов.

Образцы перлиалита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР (Москва) и Геологический музей Кольского филиала АН СССР (Апатиты).

#### Л и т е р а т у р а

- Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976. 781 с.  
 Рагимов Н. Г., Ганбаров Д. М., Амиров С. Т., Мамедов Х. С. Синтез и исследование нового цеолита L-D. Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 1978, т. 14, с. 1338—1340.  
 Сендеров Э. Э., Хитаров Н. И. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе. М.: Наука, 1970. 283 с.  
 Baerlocher Ch., Barrer R. M. The structure of the synthetic zeolite (K, Ba) — G, L.— Z. Kristallogr., 1972, vol. 136, p. 245—254.

Геологический институт  
Кольского филиала АН СССР,  
Апатиты.

УДК 549.525

#### Н. К. МАРШУКОВА, А. Б. ПАВЛОВСКИЙ, д. чл. Г. А. СИДОРЕНКО МУШИСТОНИТ (Cu, Zn, Fe)Sn(OH)<sub>6</sub> — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ОЛОВА<sup>1</sup>

Мушистонит (mushistonite) — медный гидростаннат с переменным содержанием железа и цинка обнаружен в рудах оловянных месторождений Средней Азии. Наиболее распространен в рудах месторождения Мушистон в Таджикистане, относящегося к колчеданно-сульфидному типу оловянных

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 3 сентября 1981 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 26 октября 1982 г.

ной формации (Павловский, 1974). Рудные тела месторождения образуют крутопадающие секущие жильные и линейно-штокверковые зоны северо-северо-восточного простирания среди палеозойских пород преимущественно карбонатного состава. Первичные руды месторождения сложены касситерито-станнино-арсенопирито-кварцевой, халькопирито-пирито-сфалерито-галенито-кварцевой и кварцево-карбонатной минеральными ассоциациями, образовавшимися из гидротермальных растворов на кремниевом-фтористо-сернистой, кремниевом-сернистой и кремниевом-углекислой стадиях минералообразования. В составе основной продуктивной по олову касситерито-станнино-арсенопирито-кварцевой минеральной ассоциации,

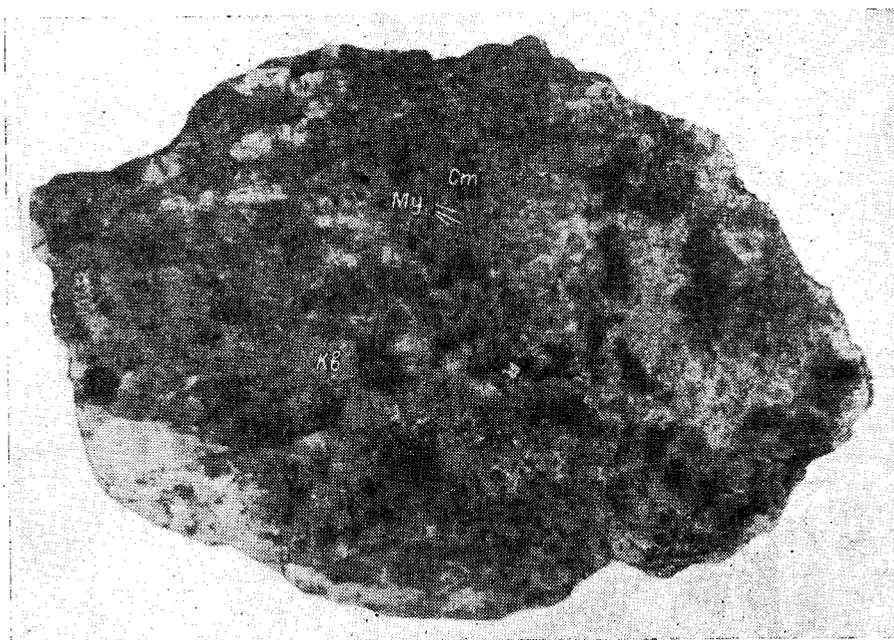


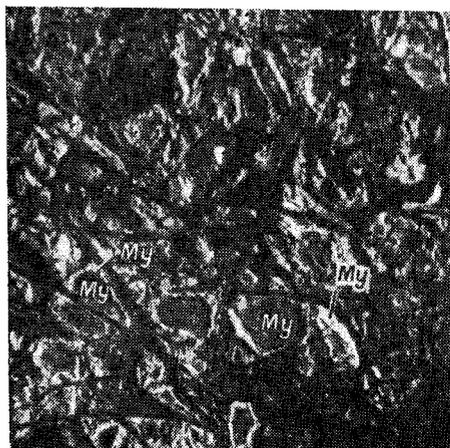
Рис. 1. Кварцево(Кв)-мушистонито(Му)-варламовитовая (Вл) руда с реликтами станнина (Ст). Нат. вел.

кроме главных минералов (касситерит, станнин, арсенопирит и кварц), присутствуют флюорит, хондрит и флогопит, а в составе халькопирито-пирито-сфалерито-галенито-кварцевой минеральной ассоциации при структурном ее совмещении с минерализацией, продуктивной по олову, отмечаются повышенные содержания новообразованного станнина и мушонита с реликтовыми корродированными зернами касситерита и мелкими зернами серебряных и висмутовых минералов. Следует отметить общее преобладание в рудах сульфидов олова над касситеритом. Станнины в соответствии со спецификой условий их образования характеризуются определенными различиями физических и химических свойств кристаллической структуры и представляют на месторождении своеобразную по широкому изоморфизму Fe и Zn группу минералов (Маршукова и др., 1977).

Первичные руды месторождения претерпели существенные изменения в результате гипергенных процессов и в подавляющей части превращены в окисленные касситерито-гидростаннато-варламовито-кварцевые руды (рис. 1) с вторичными минералами меди, цинка и свинца, прослеживаемые до глубины 400—600 м. При этом вторичные минералы мышьяка практически отсутствуют. Из гидростаннатов наиболее широко развит мушистонит, на его долю приходится до 35—40% олова, заключенного в рудах. Новый минерал назван по месту находки (mushistonite).

Мушистонит в тесном прорастании с варламовитом замещает зерна станнина, образуя при этом агрегаты с четко выраженной ячеистой струк-

турой. Большинство ячеек имеет концентрически-зональное строение (рис. 2). В центральных участках ячеек в массе тонкодисперсного мушистонита обычно сохраняются реликтовые зерна станнина. Ближе к периферийным участкам ячеек в зонах, обогащенных тонкодисперсными агрегатами мушистонита, постепенно увеличивается содержание варламовита. Вдоль контактов реликтовых зерен станнина, заключенных в массе тонкозернистого мушистонита, присутствуют обильные выделения серебряных



минералов (штрмейерита и акантита), а вдоль контактов зон, состоящих преимущественно из мушистонита и варламовита, присутствуют розазит, малахит и азурит. Интерстиции между отдельными ячейками чаще всего выполнены гетитом. Размеры агрегатов вторичных минералов, развивающихся по станнину, находятся в пределах 0.1—1 см и более. Размер отдельных ячеек определяется степенью трещиноватости зерен станнина. Обычно это 0.1—5 мм. Размер

Рис. 2. Агрегаты концентрически-зонального строения мушистонита (Му) в массе варламовита (Вл). Пришлифовка, увел. 10.

отдельных зон плотных тонкодисперсных агрегатов мушистонита 0.01—0.5 мм в поперечнике.

По данным расчета дифрактограмм (табл. 1), сингония мушистонита кубическая, пространственная группа  $Pn3m$ ,  $a_0 = 7.735 \pm 0.010 \text{ \AA}$  для мушистонита с  $Zn > Fe$  и  $a_0 = 7.705 \pm 0.016 \text{ \AA}$  для мушистонита с  $Fe > Zn$ ,  $Z=4$ . Следует отметить диффузность отражений на рентгенограмме, обусловленную высокодисперсным состоянием вещества нового минерала.

Мушистонит изоструктурен с викманитом (Mooge, Smith, 1968), натанитом, висмирновитом (Маршукова и др., 1981), синтетическими гексагидростаннатами Fe, Mn, Co, Mg, Ca (Strunz, Contag, 1960) и Zn (XRDS, 1960). Синтезирован (Morgenstern, Badarau, 1968) и гидростаннат меди  $CuSn(OH)_6$ , однако он имеет более низкую симметрию: тетрагональный ( $a=7.576 \text{ \AA}$ ,  $c=8.099 \text{ \AA}$ ), что должно быть связано с поляризационными свойствами иона  $Cu^{2+}$ , наводящего свой порядок в кристаллических струк-

Таблица 1

Результаты расчета дифрактограмм мушистонита

Zn > Fe				Fe > Zn			
I	$d_{эксп}$	$d_{расч}$	hkl	I	$d_{эксп}$	$d_{расч}$	hkl
10	4.47	4.470	111	13	4.44	4.44	111
100	3.880	3.880	200	100	3.84	3.84	200
50	2.740	2.740	220	48	2.730	2.730	220
12	2.450	2.450	310	25	2.430	2.430	310
13	2.330	2.330	311	12	2.330	2.330	311
20	2.230	2.230	222	21	2.220	2.224	222
6	2.060	2.060	321	14	1.927	1.927	400
16	1.932	1.932	400	24	1.780	1.779	331
35	1.729	1.729	420	24	1.724	1.723	420
23	1.578	1.578	422	16	1.573	1.572	422
Параметр элементарной ячейки (Å)				Параметр элементарной ячейки (Å)			
7.735 ± 0.010 Å				7.705 ± 0.016 Å			

Примечания. Условия съемки: рентгеновский дифрактометр ДРОН-2,  $Fe K_{\alpha}$  излучение, Mn-фильтр, 35 кВ, 10 мА.

Химический состав мушистонита (мас.%)

Анализ	Sn	Fe	Zn	Cu	Ag	O	Сумма	Формула
1	41.1	2.6	8.9	10.8	0.1	33.9	97.4	$Cu_{0.48}Zn_{0.39}Fe_{0.13}Sn_{0.98}(OH)_{6.02}$
2	42.0	3.4	9.0	10.8	0.2	33.4	98.8	$Cu_{0.48}Zn_{0.39}Fe_{0.17}Sn_{1.01}(OH)_{5.95}$
3	41.6	3.4	9.0	10.8	0.2	33.4	98.4	$Cu_{0.48}Zn_{0.39}Fe_{0.17}Sn_{1.00}(OH)_{5.95}$
4	37.0	8.2	5.6	10.1	He обн.	36.3	97.2	$Cu_{0.45}Zn_{0.42}Fe_{0.24}Sn_{0.88}(OH)_{6.00}$
5	41.3	9.2	3.7	10.9	»	33.6	98.7	$Cu_{0.48}Zn_{0.46}Fe_{0.16}Sn_{0.98}(OH)_{5.91}$
6	41.3	9.2	2.7	11.9	»	33.6	98.7	$Cu_{0.53}Zn_{0.46}Fe_{0.11}Sn_{0.98}(OH)_{5.92}$

Примечание. Химический состав мушистонита изучен на рентгеновском микроанализаторе «Самбах» (Н. И. Чистяковой). Аналитические линии —  $Cu K_{\alpha}$ ,  $Fe K_{\alpha}$ ,  $Zn K_{\alpha}$ ,  $Sn L_{\alpha}$  и  $O K_{\alpha_{1,2}}$ . Стандарты — химически проанализированные природные касситерит и халькопирит, синтезированные  $SnS$  и  $ZnS$ , а также природные и синтезированные окислы известного состава. Ускоряющее напряжение 30 кВ (при измерении концентрации Fe, Cu и Zn), 20 кВ (Sn) и 10 кВ (O) при токе зонда примерно 10 нА, а при определении кислорода 100 нА. Измерения интенсивности проводились в 10–15 точках каждого зерна. Расчет содержания элементов проводился по методу гипотетического состава с введением поправок на атомный номер и поглощение (Рыдник, Боровский, 1967) с использованием массовых коэффициентов поглощения К. Ф. Хейнриха (Heinrich, 1966). При токах более 50 нА исследуемый минерал под зондом неустойчив. В связи с этим измерение интенсивности аналитической линии кислорода проводилось при перемещении образца под зондом или при расфокусированном зонде диаметром 5–7 мкм. Содержание кислорода рассчитывалось по разработанной в ВИМСе методике (Авдонин и др., 1978). При этом учитывалось наложение линии  $O K_{\alpha_{1,2}}$  и  $Zn L_{\alpha,\beta}$  во втором порядке отражения.

турах, особенно при окружении его гидроксидом или водой. Присутствие  $Fe^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ , видимо, снижает это влияние меди и при составе, отвечающем мушистониту, кристаллическая структура соединения имеет кубическую

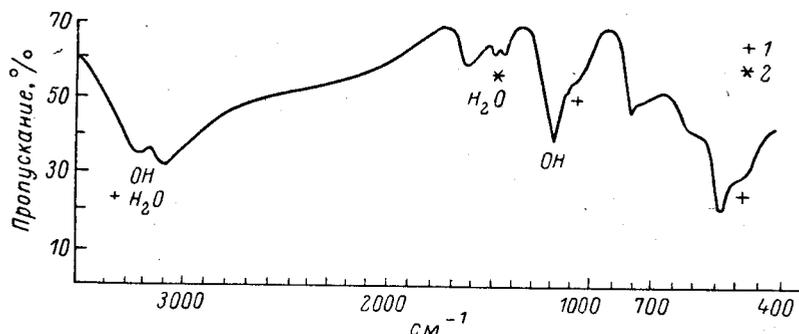


Рис. 3. ИК спектр поглощения мушистонита.

1 и 2 — полосы примесей: 1 — силиката, 2 — карбонатов.

симметрию. Обращает на себя внимание строгая стехиометрия в соотношениях меди, с одной стороны, и суммы  $Fe \pm Zn$ , с другой (табл. 2), что свидетельствует об определенной структурной упорядоченности этих двух составляющих компонентов гидростаннатов. Однако на его симметрии и дифракционной картине это не отражается. Возможно, исследование монокристаллов позволит выявить особенности кристаллического строения этих сложных по катионному составу образований. Но пока и природные, и синтезированные гидростаннаты меди удалось получить только в поликристаллической, высокодисперсной форме.

Цвет высокодисперсных агрегатных скоплений мушистонита желто-оранжевый. Под микроскопом в отраженном свете цвет серый, в шлифах почти бесцветный. Блеск минерала стеклянный, черта желто-оранжевая. Коэффициент отражения  $R$  при  $\lambda=580$  нм мушистонита равен 10.2% для составов, в которых  $Zn > Fe$ , и 9.6%, когда  $Fe > Zn$ .

Твердость (по 10-балльной шкале) мушистонита изменяется от 4.0 для составов, в которых  $Zn > Fe$ , до 4.4, когда  $Fe > Zn$ . Соответственно с составом изменяется и твердость микровдавливания мушистонита от 240 до

254 кгс/мм<sup>2</sup> (измерена в оптической лаборатории ВИМСа Е. Г. Рябевой на приборе ПМТ-3, нагрузка 50 г, экспозиция 15 с).

Мушistonит оптически изотропен, показатель преломления мушistonита равен 1.745 для составов, в которых  $Zn > Fe$ , и 1.740, когда  $Fe > Zn$ .

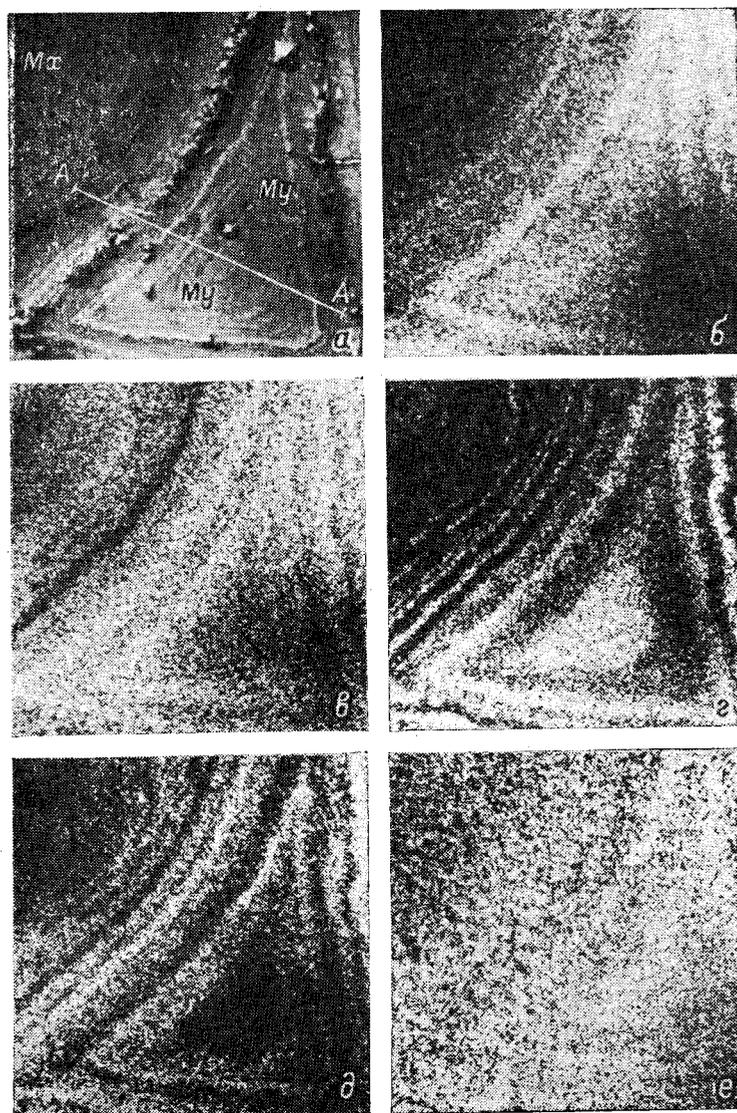


Рис. 4. Агрегаты концентрически-зонального строения мушistonита (*My*) в сростаниях с малахитом (*Mx*).

*a* — в отраженных электронах; *b—e* — в характеристическом рентгеновском излучении соответственно олова (*b*), меди (*c*), цинка (*d*), железа (*e*) и кислорода (*e*). *A—A* — профиль записи концентрационных кривых (рис. 5). Увел. 100.

Минерал хорошо растворяется в разбавленной  $HCl$  и совершенно не реагирует на концентрированный раствор соды ( $Na_2CO_3$ ), а также на кипячение в 25%-м растворе щавелевой кислоты; в воде также не растворим.

ИК спектры поглощения мушistonита (UR-20, аналитик Л. С. Солнцева) получены в естественном состоянии и специальной нагревательной кювете конструкции Б. П. Солнцева, что позволило определить присутствие в минерале сорбированной и гидроксильной воды (рис. 3).

Качественный микронзондовый анализ показал, что основными минералообразующими элементами мушistonита являются олово, медь, железо,

цинк и кислород (рис. 4). Распределение элементов по зерну мушистонита (рис. 5) свидетельствует о существовании изоморфных замещений между Fe и Zn, в то время как Cu и Sn, видимо, занимают самостоятельные позиции в структуре минерала.

Результаты микрозондового анализа мушистонита и расчета их на эмпирическую формулу приведены в табл. 2. Содержание водорода в мине-

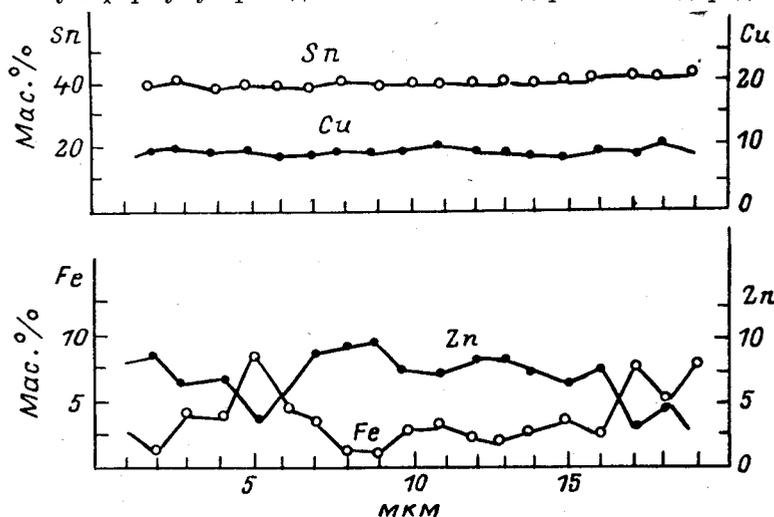


Рис. 5. Характер распределения минералообразующих элементов по профилю в агрегате концентрически-зонального строения мушистонита, находящегося в сростании с малахитом.

рале рассчитано по количеству кислорода, связанного только с гидроксидом. Расчет формул проводился, исходя из общего количества атомов в элементарной ячейке мушистонита, равного 8. Усредняя частные формулы по табл. 2, получаем общую формулу  $(Cu, Zn, Fe)Sn(OH)_6$ , где  $Cu > Zn, Fe$ .

Пересчет результатов микрозондового анализа на основе такого предположения о природе минерала приводит к следующим цифрам (например, для ан. 3 в табл. 2, мас. %):  $SnO_2$  52.8, FeO 4.4, ZnO 11.2, CuO 13.5,  $Ag_2O$  0.3,  $H_2O +$  18.2; сумма 100.4%.

Эталонные образцы мушистонита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР (Москва).

#### Литература

- Авдонин А. С., Чистякова Н. И., Соловьев В. С. К методике количественного анализа кислорода в некоторых группах минералов рентгеноспектральным локальным методом. — В кн.: Тез. докл., материалы XI съезда «Рентгеновский микроанализатор с электронным зондом в минералогии», т. 2. Новосибирск, 1978, с. 34—41.
- Маршукова Н. К., Павловский А. Б., Сидоренко Г. А., Чистякова Н. И. Станнии и продукты его изменения в оловорудных месторождениях различной формационной принадлежности. — ДАН СССР, 1977, т. 234, № 1, с. 188—190.
- Маршукова Н. К., Павловский А. Б., Сидоренко Г. А., Чистякова Н. И. Висмит и натанит — новые минералы олова. — ЗВМО, 1981, вып. 4, с. 492—500.
- Павловский А. Б. Генетические типы и основные закономерности размещения оловорудных месторождений Тянь-Шаня. — Сов. геол., 1974, № 8, с. 74—90.
- Рыдник В. И., Боровский И. Б. К методике количественного рентгеноспектрального анализа. — Зав. лабор., 1967, № 8, с. 955—961.
- Heinrin K. F. Y. The electron microprobe, New York, 1966. 296 p.
- Moore P. B., Smith J. V. Wickmanite,  $Mn^{2+} [Sn^{4+}(OH)_6]$ , a new mineral from Longban. — Ark. mineral Geol., 1968, vol. 4, N 5, p. 396—399.
- Strunz H., Contag B. Hexahydrostannate Fe, Mn, Mg,  $CaSn(OH)_6$ , und deren Kristallstruktur. — Acta Crystallogr., 1960, vol. 13, N 8, p. 601—603.
- JCPDS. Philadelphia, 1960, N20-369, 20-795\*; N20-1455.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
минерального сырья (ВИМС),  
Москва