

- Синдеева Н. Д. (1959). Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. АН СССР.
- Berry L. G., Thompson R. M. (1962). X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas. Geol. Soc. Amer., v. 85.
- Duncumb P., Shields P. K. (1966). Effect of critical excitation potential on the absorption correction. Electron Microprobe. N. Y.
- Heinrich K. F. I. (1966). X-ray absorption uncertainty. Electron Microprobe. N. Y.
- Himstra S. A. (1956). An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amounts of material. Amer. Miner., v. 41, N 5—6.
- Markham N. L. (1960). Synthetic and natural phases in the system Au—Ag—Te. Econ. Geol., v. 55, N 6—7.
- Reed S. I. B. (1965). Characteristic fluorescence corrections in electron microanalysis. Brit. J. Appl. Phys., v. 16.
- Stillwell F. L. (1953). Tellurides in Western Australia. In: Publications of the 5th Empire mining and metallurgical congress of Australia and New Zealand. V. 1. Melbourne.

УДК 549.31/32

А. Г. ЛИПОВЕЦКИЙ, Ю. С. БОРОДАЕВ, Е. Н. ЗАВЬЯЛОВ

**АЛЕКСИТ  $PbBi_2Te_2S_2$  — НОВЫЙ МИНЕРАЛ<sup>1</sup>**

Алексит (aleksite) — минерал назван по месту находки — обнаружен в рудах Алексеевского рудопроявления (Сутамский р-н, Становой хребет). Относится к группе свинцово-висмутовых сульфотеллуридов. Первоначально описан под условным названием «минерал D» (Липовецкий и др., 1976).

В сульфидно-кварцевых жилах рудопроявления алексит встречается вместе с минералами золото-теллуридной ассоциации поздней рудной стадии: галенитом, золотом (рис. 1), алтаитом, тетрадимитом, тсумаитом (рис. 2), раклиджитом и другими теллуридами. Зерна имеют пластинчатую форму и размер до 1 мм. В отраженном свете алексит светло-серый, несколько темнее тетрадимита. Имеет слабый зеленоватый оттенок, хорошо заметный в сростании с тсумаитом, у которого слабый кремевый оттенок. При скрепленных николях слабо анизотропен, в иммерсии наблюдаются блеклые цветные эффекты анизотропии в коричневато-красных тонах. Алексит имеет следующие значения коэффициента отражения ( $R_g$ , %) для различных длин волн,<sup>2</sup> нм: 460 — 51.4, 480 — 51.8, 500 — 52.7, 520 — 52.8, 540 — 53.2, 560 — 53.1, 580 — 53.4, 600 — 53.9, 620 — 53.9, 640 — 54.2, 660 — 54.5, 680 — 54.4, 700 — 54.9, 720 — 55.1, 740 — 55.6. Сопоставление кривых дисперсии отражения алексита и некоторых сульфотеллуридов висмута (рис. 3) показывает, что кривая алексита располагается ниже, чем кривые тетрадимита и жозеита А, и отличается от них по форме. Кривая дисперсии отражения алексита возрастает во всем измеренном интервале длин волн, но имеет менее крутой наклон, чем кривая жозеита А, и в отличие от кривой тетрадимита она не имеет пологого максимума в желтой области спектра.

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМ) Всесоюзного минералогического общества 6 июля 1977 г. Утверждено КНМ Международной минералогической ассоциации 19 октября 1977 г.

<sup>2</sup> Спектр отражения алексита измерен Л. Н. Вяльсовым на приборе «ПИОР». Условия измерения: объектив 3в фирмы Лейтц с эффективной апертурой 0.1, направление колебаний поляризатора перпендикулярно плоскости падения, диаметр фотометрируемого участка 10 мкм, опорный эталон — пирит, аттестованный в НФЛ (Англия). Относительная погрешность измерения  $\pm 2$  отн.%. Отражение алексита измерено на неориентированном сечении (обр. 111).

Алексит имеет совершенную спайность в одном направлении по (0001), как и другие слоистые сульфотеллуриды висмута. Твердость  $51 \pm 8$  кгс/мм<sup>2</sup> (ПМТ-3, нагрузка 20 гс, 6 замеров). Анизотропия твердости незначительна —

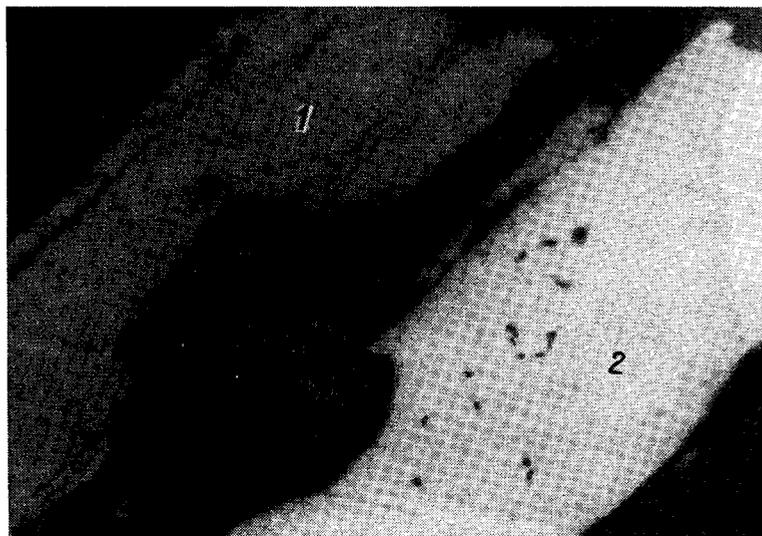


Рис. 1. Срастание алексита — зерно со спайностью (1) — и самородного золота (2). Черное — пластмасса. Полир. шлиф. Увел. 60.

$K_H$  не превышает 1.1. Рельеф низкий, близок к рельефу тетрадимита. Полируется плохо, из-за низкой твердости трудно избавиться от царапин.

Химический состав алексита определен методом микрорентгеноспектрального анализа (табл. 1). Сканирование электронным зондом показало,

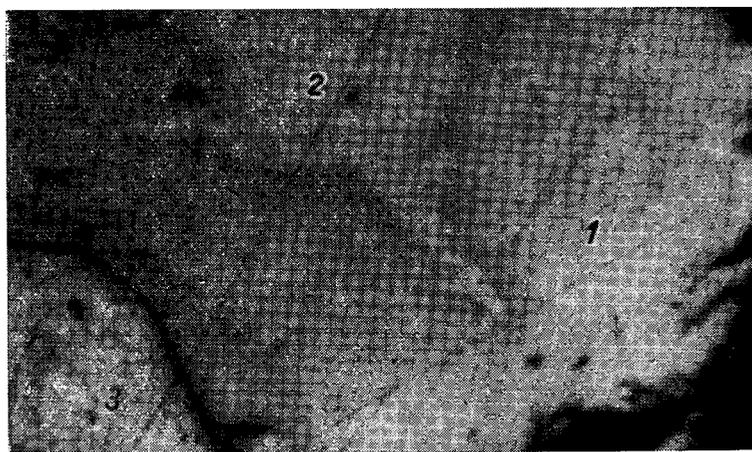


Рис. 2. Алексит (1) в срастании с тсуманитом (2) и самородным золотом (3). Полир. шлиф. Увел. 60.

что исследованные зерна однородны по составу. Химический состав двух образцов практически идентичен. Формула алексита близка к  $PbBi_2Te_2S_2$ , но содержание висмута и теллура несколько выше, а свинца и серы несколько ниже, чем в стехиометричном соединении этого состава. Для

сравнения в этой таблице приведен также состав тетрадимита из Алексеевского рудопоявления, содержащего незначительное количество свинца.

Анализ состава некоторых фаз сульфотеллуридов Pb и Bi, известных в настоящее время (табл. 2), показывает значительную вероятность существования области с изоморфным замещением компонентов в этом поле фазовой диаграммы. В этом случае формула алексита может быть представлена в виде  $(Pb, Bi)_3 (Te, S)_4$ , где атомное отношение Pb : Bi близко к 1 : 2, а Te : S к 1 : 1.

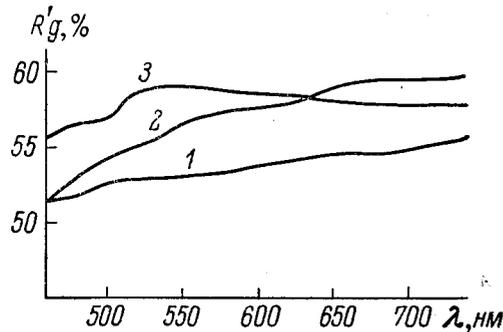


Рис. 3. Кривая отражения алексита (1)  $R'g$  в сравнении с кривыми  $R'g$  жозеита А (2) и тетрадимита (3) по данным Л. Н. Вальсова (1973).

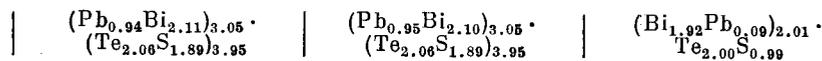
Рентгеновские данные алексита получены методом Дебая—Шеррера. Пробы для рентгеновского изучения были приготовлены из двух образцов методом С. Химстра (Hiemstra, 1956) из исследованных на микроанализаторе участков. С препаратов снято по несколько дебаеграмм, каждая из которых рассчитана. Дифракционная картина на дебаеграммах алексита

Таблица 1

Химический состав алексита и тетрадимита

Элемент	Алексит						Тетрадимит		
	обр. 111			обр. 122			вес. %	атомные количества	атомные отношения
	вес. %	атомные количества	атомные отношения	вес. %	атомные количества	атомные отношения			
Pb	20.3	0.0980	0.942	20.5	0.0989	0.952	2.7	0.0130	0.092
Bi	46.0	0.2201	2.115	45.5	0.2177	2.096	55.6	0.2661	1.917
Te	27.3	0.2139	2.055	27.3	0.2139	2.060	35.5	0.2782	2.003
S	6.3	0.1965	1.888	6.3	0.1965	1.892	4.4	0.1372	0.988
Сумма	99.9		7.000	99.6		7.000	98.2		5.000

Ф о р м у л а



Примечание. Анализ выполнен на рентгеновском микроанализаторе JXA-5. Ускоряющее напряжение 25 кВ. Аналитические линии:  $S_{K\alpha}$ ,  $Te_{L\alpha}$ ,  $Pb_{M\alpha}$ ,  $Bi_{M\alpha}$ . В качестве эталонов для Bi и Te использовали чистые элементы, для Pb и S — галенит. При расчете содержаний компонентов вводили поправки на атомный номер и поглощение (Springer, 1967). Массовые коэффициенты поглощения взяты из работы К. Хайнриха (Heinrich, 1966). При расчете концентраций использован метод гипотетического состава и последовательных приближений. Ag, Sb и Se не обнаружены.

существенно отличается от таковой тетрадимита, но по сильным и средним линиям близка к дифракционной картине жозеита А (табл. 3). На рентгенограммах алексита отсутствуют только две линии жозеита А, одна из которых достаточно интенсивна — 1.899 (2), и присутствует 31 дополнительная линия.

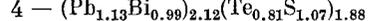
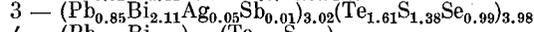
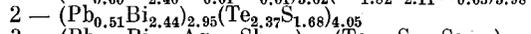
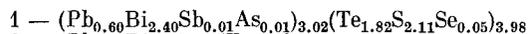
Индексирование межплоскостных расстояний алексита и определение параметров элементарной ячейки проведены на основании общих закономерностей, известных для слоистых структур теллуридов и сульфотеллу-

Т а б л и ц а 2

Химический состав, вес.%, свинцово-висмутовых сульфотеллуридов  
(по литературным данным)

Элемент	1	2	3	4
Pb	13.39	10.7	18.3	40.7
Bi	53.65	52.2	46.0	36.2
Ag	—	—	0.53	—
Sb	0.07	—	0.14	—
As	0.08	—	—	—
S	7.24	5.5	4.6	6.0
Se	0.41	—	8.1	—
Te	24.47	30.9	21.4	18.0
С у м м а	99.56	99.3	99.07	100.9

## Ф о р м у л ы



Примечание. 1 — «свинцовый тетрадимит — чикловант» (Plimer, 1974); 2 — «минерал С» (Липовецкий и др., 1976); 3 — «высоко-Te фаза» (Czarnanske, Hall, 1975); 4 — фаза без названия (Guha, Darling, 1972). Формулы рассчитаны нами.

ридов висмута (Strunz, 1963; Стасова, Карпинский, 1967; Завьялов и др., 1976). Рентгенограммы этих соединений сходны по набору наиболее интенсивных отражений, что обусловлено гомотипией их структур, но по средним и слабым сверхструктурным рефлексам они различаются. Каждый вид сверхструктуры характеризуется определенным количеством слоев в элементарной ячейке, а следовательно, и определенным параметром  $c_0$ . Количество слоев в элементарной ячейке зависит от положения атомов металла и халькогена, их количественного соотношения и суммы атомов в химической формуле. По-видимому, именно одинаковая сумма атомов в химической формуле, равная семи у алексита и жозеита А, определяет сходство рентгенограмм этих сульфотеллуридов. Рентгеновские линии на дебаеграммах алексита проиндексировались в тригональной сингонии. Параметры элементарной ячейки, вычисленные при помощи ЭВМ методом наименьших квадратов:  $a_0 = 4.238 \pm 0.001$ ,  $c_0 = 79.76 \pm 0.02$  Å. Отсюда количество слоев в элементарной ячейке равно 42,  $Z=6$ ,  $V_0 = 1242$  Å<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{вычисл.}} = 7.80$  г/см<sup>3</sup>. Причиной удвоения  $c_0$  и  $Z$  алексита по сравнению со значениями этих величин жозеита А ( $c_0 = 39.77$  Å,  $Z=3$ ) явилось то, что семь слабых сверхструктурных рентгеновских линий алексита, отмеченных в табл. 3, не индексировались в параметре  $c_0$ , близком к параметру жозеита А. Это связано, по-видимому, с присутствием свинца и особенностями его распределения в структуре. Индексы некоторых рентгеновских линий, отмеченные в табл. 3, не удовлетворяют закону погасания пространственной группы  $R\bar{3}m$ , к которой принадлежит жозеит А. По-видимому, структура алексита характеризуется не ромбоэдрической, а примитивной элементарной ячейкой.

Химический состав алексита может быть сопоставлен с составом описанных в литературе четырех минеральных фаз сульфотеллуридов висмута, содержащих значительное количество свинца (табл. 2), но недостаточно изученных и не охарактеризованных рентгеновскими данными из-за крайне малых размеров зерен. Для них всех известны только химический

Т а б л и ц а 3

## Результаты расчета дебаеграмм алексита и жозита А

Алексит						Жозит А (Bergy, Tompson, 1962)		
обр. 111		обр. 122		hkl	d <sub>вчисл.</sub>	I	d <sub>измер.</sub>	hkl
I	d <sub>измер.</sub>	I	d <sub>измер.</sub>					
1	7.18*	—	—	0.0.0.11**	7.17			
1/2	5.36*	2	5.32*	0.0.0.15	5.26			
1	4.42	2	4.40	0.0.0.18	4.43	2	4.40	0009
1/2	4.24*	1/2	4.16*	0.0.0.19**	4.20			
3	3.63	2	3.64	1014	3.61	2	3.62	0112
1	3.51	1/2	3.52	1017	3.49			
1	3.41	1/2	3.42	0118	3.44			
2	3.34	2	3.35	0.0.0.24	3.32	1	3.31	0.0.0.12
10	3.09	10	3.09	0.1.1.14	3.09	10	3.08	1017
1/2	2.89	1/2	2.91	0.1.1.17	2.89			
1/2	2.76*	1	2.76*	1.0.1.19	2.76			
1	2.70	1	2.71	0.1.1.20	2.70			
1/2	2.52	1	2.53	0.1.1.23	2.52	2	2.58	0.1.1.11
2	2.41*	2	2.41*	1.0.1.25	2.41			
2	2.34	1	2.34	0.1.1.26	2.35			
4	2.25	4	2.25	1.0.1.28	2.25	5	2.24	0.1.1.14
1/2	2.21	1/2	2.20	0.1.1.29	2.20			
6	2.12	4	2.12	1120	2.12	5	2.11	1120
		1/2	2.06	0.1.1.32	2.06	1	2.06	1.0.1.16
3	1.974	3	1.974	1.0.1.34	1.977	1	1.973	0.1.1.17
1	1.925*	1/2	1.929*	1.1.2.17**	1.931			
		1/2	1.915	1.1.2.18	1.912			
		2				2	1.899	0.0.0.21
1/2	1.853*	1/2	1.864*	1.0.1.37	1.859			
1	1.828	1	1.826	0224	1.827	1/2	1.824	1.0.1.19
2	1.789	2	1.789	0.2.2.10	1.788	1/2	1.784	1.1.2.12
3	1.748	3	1.750	2.0.2.14	1.747	3	1.749	0227
2	1.660	2	1.661	0.0.0.48	1.662	1	1.658	0.0.0.24
1	1.628	1	1.628	0.0.0.49**	1.628	1/2	1.621	1.0.1.22
1	1.594	1	1.593	1.1.2.33	1.593			
2	1.545	2	1.544	0.2.2.28	1.543	3	1.542	2.0.2.14
1/2	1.488	—	—	1.0.1.49	1.488			
1/2	1.473	1	1.473	1.1.2.39	1.472			
2	1.446	1	1.446	0.2.2.34	1.445			
				1.0.1.52	1.415			
1	1.416	1	1.415	1.1.2.42	1.414	2	1.413	1.1.2.21
1/2	1.385	1	1.382	2134	1.384			
1/2	1.370	—	—	1.0.1.54**	1.370			
4	1.348	3	1.349	1.2.3.14	1.348	3	1.349	2137
4	1.307	4	1.307	1.1.2.48	1.308	1	1.305	1.1.2.24
1/2	1.288	1	1.288	1.2.3.23	1.288			
1/2	1.272	1/2	1.274	2.1.3.25	1.272			
2	1.247	1	1.248	2.1.3.28	1.247	2	1.249	1.2.3.14
2	1.223	1	1.223	3030	1.223	1/2	1.225	3030
				3039	1.212			
3	1.213	2	1.212	1.2.3.32	1.212	1/2	1.213	2.1.3.16
				1.1.2.54	1.212			
1	1.193	1	1.194	2.1.3.34	1.194			
				3.0.3.15	1.192			
1/2	1.157	1/2	1.157	1.2.3.38	1.157	1/2	1.180	3039
1/2	1.146	1/2	1.147	3.0.3.24	1.148			
1/2	1.112	1/2	1.112	3.0.3.30	1.111			
				2.1.3.43	1.111			
1/2	1.099	1	1.100	0.2.2.58	1.100			

Таблица 3 (продолжение)

Алексит					Жозеит А (Bergy, Tompson, 1962)			
обр. 111		обр. 122		hkl	d <sub>вычисл.</sub>	I	d <sub>измер.</sub>	hkl
I	d <sub>измер.</sub>	I	d <sub>измер.</sub>					
1/2	1.073	1/2	1.073	1.2.3.47	1.074			
2	1.060	1	1.059	2240	1.059			
2	1.052	2	1.052	2249	1.052	1/2	1.047	1.1.2.33
1/2	1.038	1/2	1.040	2.2.4.15	1.039			
1/2	1.028	1	1.028	3.0.3.42	1.028	1	1.029	3.0.3.21
1/2	1.018	1/2	1.016	1341	1.017			
				2.2.4.24	1.009			
2	1.009	2	1.008	1.0.1.76	1.009	2	1.008	1347
				3.1.4.14	1.002			
2	1.002	2	1.002	2.1.3.55	1.002			
				0.0.0.81	0.985			
2	0.985	2	0.985	3.0.3.48	0.985	1/2	0.985	1.1.2.36

П р и м е ч а н и е. Условия съемки: FeK<sub>α</sub> излучение (Mn фильтр), камера РКД=57.3, d=0.2 мм. Звездочкой отмечены случаи, когда рентгеновская линия не индицируется в параметрах, близких к параметрам жозеита А, двумя — индексы линии не удовлетворяют условию ромбоэдричности.

состав, определенный микрорентгеноспектральным методом, и некоторые оптические свойства.

На месторождении Вольфрам Кэмп (Австралия) обнаружен сульфотеллурид, условно названный «свинцовым тетрадимитом — чикловаитом» (Plimer, 1974). Эта фаза образует тонкую реакционную кайму между висмутином и тетрадимитом, отличаясь от тетрадимита более густым голубоватым оттенком. Твердость близка к твердости тетрадимита. Химический состав соответствует формуле (Pb, Bi)<sub>3</sub>(Te, S)<sub>4</sub>, хотя содержание свинца значительно ниже, чем в алексите.

Вторая фаза отмечена на Алексеевском рудопоявлении (Липовецкий и др., 1976) в сростаниях с теллуrowисмутином в прожилках среди золота. Условно названа «минерал С», имеет светло-серый цвет со слабым зеленоватым оттенком. Состав также отвечает формуле (Pb, Bi)<sub>3</sub>(Te, S)<sub>4</sub>, содержание свинца близко к «свинцовому тетрадимиту — чикловаиту».

Третий сульфотеллурид, названный «высоко-Те фаза» (Szamanske, Hall, 1975), встречается на месторождении Дарвин (Южная Калифорния). В отраженном свете имеет розовый цвет и сильно анизотропен. Содержание свинца и висмута сходно с алекситом, но значительное содержание селена (табл. 2) не позволяет их идентифицировать. Состав «высоко-Те фазы» отвечает формуле (Pb, Bi)<sub>3</sub>(Te, Se, S)<sub>4</sub>, где отношение Te : S : Se равно 8 : 7 : 5.

На месторождении Лавем (Канада) без названия описан сульфотеллурид, содержащий максимальное количество свинца: 40.7% (Guha, Darling, 1972). Эта фаза обнаружена в тонких пластинках среди халькопирита, имеет белый цвет и анизотропные окраски от светло-коричневой до серой. Химический состав этой фазы рассчитывается на формулу (Pb, Bi)<sub>2</sub>(Te, S)<sub>2</sub>, или PbBiTeS.

Вследствие недостаточной изученности описанных выше фаз, и прежде всего отсутствия рентгеновских данных, провести более детальное сопоставление их с алекситом не представляется возможным. Не исключено, что «свинцовый тетрадимит — чикловаит» и «минерал С» могут быть объединены с алекситом при получении соответствующих рентгеновских дан-

ных. «Высоко-Те фаза» и минерал из Лавема, по-видимому, являются самостоятельными фазами. Экспериментальные работы по системе Pb—Bi—Te—S отсутствуют, фазовые соотношения и пределы изоморфных замещений неясны, но очевидно, что среди свинцово-висмутовых сульфотеллуридов существует несколько фаз, из которых алексит — первый достаточно детально изученный минерал.<sup>3</sup> Образец алексита передан на хранение в Музей земледования МГУ.

#### Литература

- Вяльсов Л. Н. (1973). Спектры отражения рудных минералов. Изд-во ИГЕМА АН СССР.
- Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. (1977). Раклиджит  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  — новый минерал из золоторудных месторождений Зод и Кочкарь. ЗВМО, вып. 1.
- Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д., Нечелюстов В. Н. (1976). Новые данные о хедлите. ДАН СССР, т. 230, № 6.
- Липовецкий А. Г., Бородаев Ю. С., Завьялов Е. Н. (1976). Новые свинцово-висмутовые теллуриды Алексеевского рудопроявления (Становой Хребет). ГРМ, № 2.
- Стасова М. М., Карпинский О. Г. (1967). О слоистости в структурах селенидов и теллуридов висмута и теллуридов сурьмы. Журн. структурн. хим., т. 8, № 1.
- Berry L. G., Thompson R. M. (1962). X-ray powder data for ore minerals, The Peacock atlas. Mem. Geol. Soc. Amer., v. 85.
- Czarnanske G. K., Hall W. E. (1975). The Ag—Bi—Pb—Sb—S—Se—Te mineralogy of the Darwin lead-silver-zinc deposit, Southern California. Econ. Geol., v. 70, N 6.
- Guha J., Darling R. (1972). Ore mineralogy of the Louvem copper deposit, Val d'Or, Quebec. Canad. J. Earth Sci., v. 9, p. 12.
- Heinrich K. F. J. (1966). X-ray absorption uncertainty. The electron microscope. N. Y.
- Hiemstra S. A. (1956). An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amounts of mineral. Amer. Miner., v. 41, N 5—6.
- Plimer J. R. (1974). Plumbian tetradimite-csiklovaite-bismuthinite reaction from Wolfram Camp, North Queensland, Australia. Ns Jb. Miner., Monatsh., N. 7.
- Springer G. (1967). Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl-Mikroanalyse. Fortschr. Miner., Bd 45, N. 1.
- Strunz H. (1963). Homöotypie  $\text{Bi}_2\text{Se}_2$ — $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ — $\text{Bi}_3\text{Se}_4$ — $\text{Bi}_4\text{Se}_5$  u. s. w. Platynit, Ikunolite, Laitakariit. Ns Jb. Miner., Monatsh., N. 7.

Московский университет,  
Московский геологоразведочный  
институт.

УДК 549.472.1(571.53)

Д. чл. Г. Д. ФЕОКТИСТОВ, С. И. ИВАНОВ, А. А. КАШАЕВ,  
д. чл. Л. Н. КЛЮЧАНСКИЙ, Н. Г. ТАСКИНА, д. чл. З. Ф. УЩАПОВСКАЯ

### О НАХОДКЕ ХЛОР-МАНАССЕИТА В СССР

Р. Алманн и Х. Х. Лозе (Allmann, Lohse, 1966) назвали «хлор-манассеитом» продукт изменения кёненита-U1, имеющий такую же порошок-грамму, как и манассеит, но содержащий анион Cl вместо  $\text{CO}_3$ , присутствующего в манассеите. В природных условиях хлор-манассеит не наблюдался, хотя Р. Кюн (Kuhn, 1961) отмечал, что на порошок-граммах естественного кёненита иногда обнаруживались линии, характерные для U1.

<sup>3</sup> Необходимо отметить, что известен бессернистый свинцово-висмутовый теллурид — раклиджит  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  (Завьялов, Бегизов, 1977), который отличается от алексита по рентгеновским данным.