

Л. И. БОЧЕК, Н. И. ЕРЕМИН, В. М. ОКРУГИН

## СТИБИОПИРСЕИТ В РУДАХ СТРЕЖАНСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Рудный Алтай)

При изучении руд Стрежанского колчеданно-полиметаллического месторождения, расположенного на северо-востоке Лениногорского рудного района (Рудный Алтай), нами в 1971 г. был установлен минерал, изучение которого на микросонде JXA-5 не привело к его однозначной идентификации (Еремин и др., 1971). Он был предварительно отнесен по полученному химическому составу к минералам пирсеит-стибиопирсеитовой или полибазит-арсенополибазитовой серии (табл. 1). Это связано с тем, что знание одного только состава минералов этих серий, как показали последние работы ряда исследователей, не позволяет проводить их точную идентификацию (Peacock, Berry, 1947; Frondel, 1963; Генкин, Добровольская, 1965; Еремин и др., 1971). Рамдор (1962) допускает существование неограниченного ряда твердых растворов, конечными членами которого являются пирсеит ( $Ag_{16}As_2S_{11}$ ) и полибазит ( $Ag_{16}Sb_2S_{11}$ ), при постоянном замещении серебра медью до 30%. В этом ряду, указывает он, наименее изучены члены, содержащие от 40 до 4% полибазитовой молекулы (описываемый минерал содержит 26% полибазитовой молекулы).

Пикок и Берри (Peacock, Berry, 1947) при рентгеновском изучении кристаллов пирсеита и полибазита пришли к выводу, что эти минералы не являются изоструктурными и полибазит отличается от пирсеита (табл. 2) удвоенным размером элементарной ячейки. Фрондель (Frondel, 1963), анализируя рентгенометрические данные пирсеита и полибазита с известным химическим составом показал, что эти минералы в действительности являются членами двух различных изодиоморфных серий твердых растворов: пирсеит-стибиопирсеитовой ( $(Ag,Cu)_{16}(As,Sb)_2S_{11}$ ) и полибазитарсенополибазитовой ( $(Ag,Cu)_{16}(Sb,As)_2S_{11}$ ). Эти серии аналогичны сериям энаргит-стибиоэнаргитовой  $Cu_3(As,Sb)S_4$  и люцит-фаматинитовой  $Cu_3(Sb,As)S_4$ , для которых, по-видимому, характерны полные взаимозамещения между сурьмой и мышьяком (Frondel, 1963). Следовательно, однозначная идентификация минералов этих серий возможна только после рентгенометрического изучения. Фрондель указывает на (табл. 2) отличия этих минералов: 1) отсутствие у пирсеита интенсивного и четкого отражения {3146}, {3254}, характерного для полибазита; 2) близкую интенсивность отражений 2244 и 4044 у полибазита; 3) слабую интенсивность отражения 1122 по сравнению с 2022 у пирсеита. Работами Халла (Hall, 1967), синтезировавшего минералы названных серий, подтверждены выводы Фронделя.

Минерал присутствует исключительно в сульфидно-кварцевых жилах (скв. 153, глубина 43,60 м, штольня, отметка 374 м), секущих все известные на месторождении породы и руды, и, возможно, обязанных своим происхождением проявлению этапа регенерации. Минеральная ассоциация представлена цинксодержащим теннантитом, пиритом, практически безжелезистым сфалеритом, халькопиритом, самородным серебром, гесситом, галенитом, кварцем с отдельными гнездами магнезиального хлорита.

Температурные условия образования ассоциации, по данным гомогенизации газовой-жидких включений в кварце, декрепитации блеклой руды и пирита, оцениваются величинами порядка 310–240°. Стибиопирсеит

Таблица 1

Химический состав минералов пирсент-стибиопирсентовой серии из различных месторождений мира

Месторождение	Содержание элементов, %						Способ анализа	Формула	Автор
	Cu	Ag	As	Sb	S	Σ			
Совора	8,90	62,54	1,43	9,65	17,62	100,19	—	—	Рамдор, 1962; Fropdel, 1963
16 Стрежанское	18,00	60,70	6,00	1,90	16,00	102,6	Зонд JXA-5	$(Ag_{10,66}, Cu_{5,34})_{16,0} \cdot (As_{1,50}, Sb_{0,31})_{1,81} S_{11,0}$	
Сокольное	10,00	10,00	5,00	2,00	—	—	Прибл. полук. спектр.	—	Генкин, Добровольская, 1965
Миргалимсай	6,0–7,0	70–80	4–5	—	10–13	—	МАР-1	—	Качаловская; Тронева, 1964
Миргалимсай	13,50	56,60	10,00	—	13,00	99,5	JXA-3	$(Ag, Cu)_{14,02} As_2 S_{8,4}$	Халтаев, Слюсарев, 1969
Руен	7,95	74,25	5,22	—	12,50	100	JXA-3	$(Ag_{12,5}, Cu_{3,5})_{16,0} As_{1,97} S_{11,0}$	Мънков, 1971
Теоретический состав	4,29	72,4	6,92	—	16,30	100	—	$(Ag, Cu)_{16} As_2 S_{11}$	Рамдор, 1962

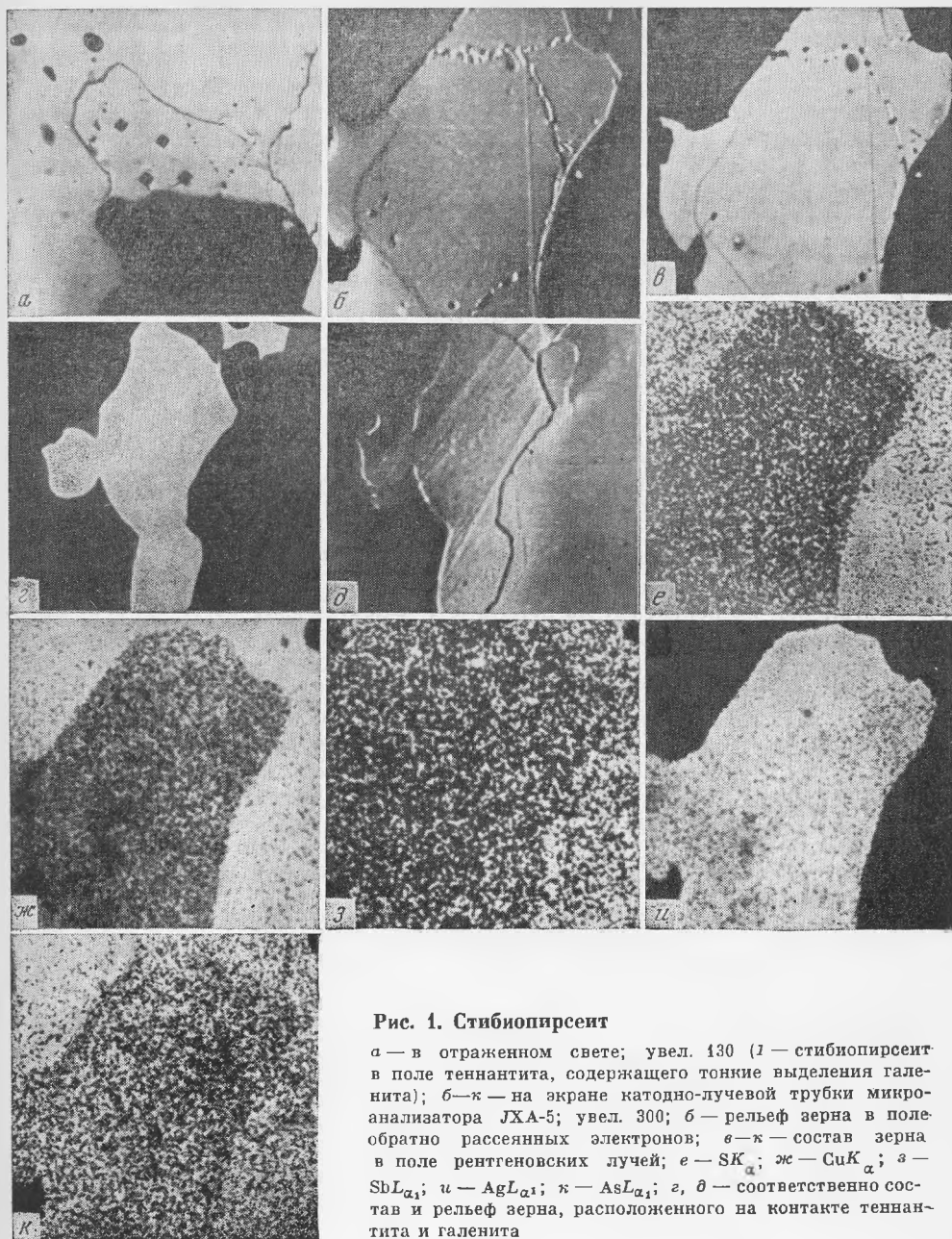


Рис. 1. Стибиопирсит

а — в отраженном свете; увел. 130 (1 — стибипирсит в поле теннантита, содержащего тонкие выделения галенита); б — κ — на экране катодно-лучевой трубки микроанализатора JXA-5; увел. 300; в — рельеф зерна в поле обратно рассеянных электронов; е — κ — состав зерна в поле рентгеновских лучей; е —  $SK_{\alpha}$ ; ж —  $CuK_{\alpha}$ ; з —  $SbL_{\alpha_1}$ ; и —  $AgL_{\alpha_1}$ ; κ —  $AsL_{\alpha_1}$ ; з, в — соответственно состав и рельеф зерна, расположенного на контакте теннантита и галенита

образует ксеноморфные включения в теннантите размером до 0,100–0,150 мм (рис. 1, а–в) или своеобразные выделения в виде прерывистых кайм на контактах теннантита и галенита (рис. 1, з, в).

Морфологической особенностью минерала является наличие характерных трещин, особенно четко проявленных в каймах (рис. 1, з, в). При изучении полированных шлифов в отраженном свете минерал имеет серовато-белый цвет со слабым коричневато-сиреневым оттенком, рельеф меньший, чем у блеклой руды, но более высокий по сравнению с галенитом. Отражательная способность заметно ниже, чем у галенита, и близка к блеклой руде. Двухотражение заметное, анизотропия ясная, с цветными

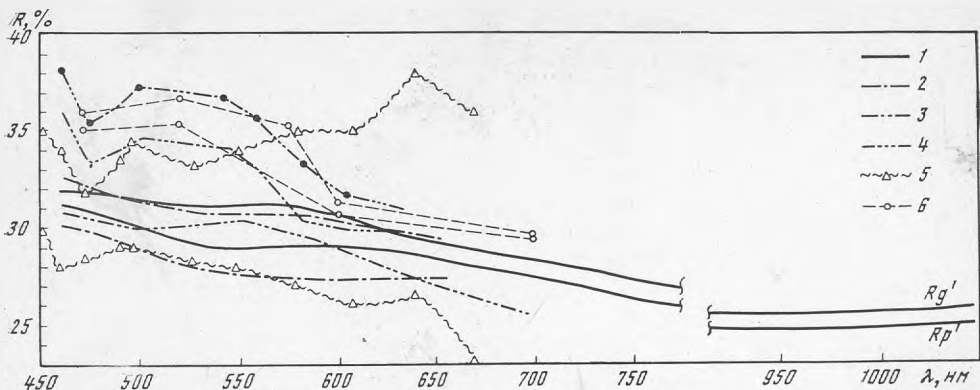


Рис. 2. Спектры отражения минералов пирсеит-стибиопирсеитовой серии твердых растворов

1 — ФМЭ-1; литературные данные: 2 — Халтаев, Слюсарев (1969); 3 — Качаловская, Тронева (1964); 4 — Генкин, Добровольская (1965); 5 — Gray, Millan (1962); 6 — Мьнков (1971)

эффектами в розовато-зеленых тонах, усиливающимися в иммерсии до коричневатого-сиреневых.

Минерал не реагирует на действие  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HNO}_3$  (1:1),  $\text{HCl}$  (1:1), но чернеет от  $\text{KCN}$ . По своим оптическим свойствам очень близок к пирсеиту, установленному впервые в СССР на Сокольном месторождении А. Д. Генкиным (1965). Химический состав и формула минерала приведены в табл. 1. Распределение основных химических элементов в зерне в поле рентгеновских лучей на экране катодно-лучевой трубки микроанализатора JXA-5 дано на рис. 1, в, г, е — ж. Исследованиями на лазерном микроанализаторе LMA-1 в минерале установлено присутствие следов следующих элементов:  $\text{Co}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Mn}$ . Отнесение минерала к стибиопир-

Таблица 2

Рентгеновские характеристики для пирсеит-стибиопирсеитовой и полибазит-арсенополибазитовой серий (Рамдор, 1962; Frondel, 1963; Генкин, Добровольская, 1965)

Интервалы межплоскостных расстояний ( $\text{\AA}$ ) крайних членов серий		Относительные интенсивности		Полибазит-арсенополибазит	Пирсеит-стибиопирсеит
Полибазит	Пирсеит	Полибазит	Пирсеит	$hkl$	$hkl$
3,18	3,05	50	90	2244	1122
2,99	2,95	100	100	0068	0064
2,90	2,86	85	40	3252	Нет
2,87	2,78	80	80	4044	2022
2,77	2,73	15	15	1128	Нет
2,69	2,64	60	60	3146	»
				3254	
2,56	2,53	15	15	4154	»
2,52	2,47	45	45	4046	2023
2,42	2,34	20	30	4262	2131
2,33	2,30	40	20	2248	1124
2,20	2,16	25	25	4048	2024
Размеры элементарной ячейки, $\text{\AA}$				$a_0=26,12$ $b_0=15,09$ $c_0=23,87$ $\beta=90^\circ$	$a_0=13,06$ $b_0=7,55$ $c_0=11,93$ $\beta=90^\circ$

Таблица 3

Результаты рентгенометрического анализа минералов  
пирсцит-стибиоирсцитовой серии (по данным различных авторов)

Месторождение, автор													
Стрежан-ское *	Сокольное ** (Ленин-градская, Добродольская, 1965)		Силвер-Мон-тана (Bergu, Thompson, 1962)		Аспен-Коло-радо (Bergu, Thompson, 1962)		Миргалим-сай *** (Качагов-ская, Троне-ва, 1964)		Михеев, 1956)		Фрондел, 1962)		
	I	da/n	I	da/n	I	da/n	I	da/n	I	da/n	I	da/n	
								7	3,49				
								9	3,41				
								4	3,33				
3	3,26							5	3,28				
6	3,04	5	3,09	1	3,11	5	3,11	3	3,08	2	3,04	5	3,10
				2	3,05			2	3,02				
10	2,96	10	2,98	10	2,97	10	3,00	10	2,96	10	2,96	10	2,96
7	2,79	10	2,83	9	2,80	9	2,84	9	2,79	9	2,79	9	2,83
4	2,46	4	2,48	6	2,47	4	2,50	3	2,47	6	2,47	4	2,49
5	2,34	3	2,37	5	2,34	3	2,37	2	2,34	5	2,34	5	2,32
5	2,29	3	2,30	6	2,30	5	2,33	6	2,32	6	2,30		
2	2,16	3	2,17	3	2,17	3	2,19	2	2,17	3	2,16		
		1	2,12			1/2	2,15	1/2	2,15				
		2	2,10	2	2,11	1	2,08	2	2,10	1	2,07		
4	1,99	4	2,00	5	1,994	4	2,01	4	1,998	5	1,998		
								4	1,973				
2	1,864	1	1,890	1	1,899	1	1,914	3	1,888	2	1,854		
7	1,813	4	1,836	6	1,828	5	1,852	4	1,830	6	1,823		

Рентгенограммы сняты на установках: \* УРС-55; камера РКД, Fe-излучение, аналитик Н. Г. Чувикина (ЦНИГРИ); \*\* УРС-55, камера РКД, Fe-излучение, аналитик Г. В. Басова (ИГЕМ).

сеиту основано на данных рентгенометрических исследований. Как видно из табл. 3, минерал имеет общие характеристики с эталонами месторождений Силвер, Аспен, Сокольное и удовлетворяет признакам отличия минералов указанных серий, приведенных Фронделем (1963).

Сравнение результатов измерения спектров отражения (табл. 4, рис. 2) с опубликованными данными показывает достаточно большие различия в форме спектров и абсолютных значениях коэффициентов отражения ( $R$ ).

Полученные авторами данные хорошо согласуются с приведенными для стибиоирсита месторождения Руен (Мьнков, 1971). Формы спектров отражения для стибиоирсита Стрежанского месторождения и месторождения Руен совершенно идентичны, и лишь абсолютные значения коэффициентов  $R$  отличаются на 1,5%, что может быть объяснено: 1) отсутствием в ограниченном числе измеренных зерен этого оптически двуосного минерала сечения с максимальным двуотражением (сечение  $Rg - Rp$ ); 2) возможным влиянием вариаций химического состава (различия в содержаниях  $Su$  составляют 10%,  $Ag - 14\%$  и др.) на силу двуотражения. Формы спектров отражения, полученные другими авторами, вероятно ошибочны. Различными источниками ошибок могут быть нестандартность эталонов, дефекты оптики, регистрирующей аппаратуры и др.

Вариации химического состава, как показано на ряде минералов переменного состава, не могут так интенсивно влиять на форму спектров отра-

**Таблица 4**  
**Данные по дисперсии отражательной способности минералов**  
**пирсеит-стибиопирсеитовой серии, %**

Длина волны, нм	Месторождение, автор										
	Стрежанское *		Сокольное ** (Генкин, Добровольская, 1965)		Миргалимсай *** (Качаловская, Тронева, 1964)		Gray, Millman, 1962		Миргалимсай (Халтаев, Слюсарев, 1969)	Руен **** (Мънков, 1971)	
	$R_{g'}$	$R_{p'}$	$R_{g'}$	$R_{p'}$	$R_{g'}$	$R_{p'}$	$R_{g'}$	$R_{p'}$	$R_{max}$	$R_{g'}$	$R_{g'}$
450			35,0	30,0							
460	32,0	31,2	34,0	28,0	38,3	36,2			31,0	32,75	31,20
470							36,0	35,1			
472			32,0	28,5	35,5	33,5					
484			33,6	29,0						31,70	29,47
500	31,4	30,0			37,4	34,6			30,0	31,50	28,90
520							36,7	35,4	30,0		
527			33,3	28,3							
540	31,0	29,0			36,8	34,2					
550			34,0	28,0					30,7		
575							35,4	35,4			
579	31,2	29,0	35,0	27,0					30,0		
600							31,3	30,7	29,0		
608			35,0	26,0	31,7	29,8					
620	30,0	29,0								30,00	27,40
640			38,0	26,5	30,9	29,5					
660	29,1	28,2									
670			36,0	23,0							
700	28,4	27,5					29,5	29,4	25,7		
740	27,6	26,5									
780	26,6	25,8									
820	26,1	25,4									
860	25,8	25,8									
900	25,6	24,8									
940	25,4	24,6									
980	25,5	24,7									
1050	25,8	25,0									

\* эталон — кремний, установка ФМЭ-1, усовершенствованная в ЦНИГРИ;

пирит, установка СФЭУ;

\*\*\* эталон — платина, напыленная на стекле, нестандартная

установки МИМ-7 (ФЭУ-27);

\*\*\*\* эталон — кремний установка ПООС-1.

\*\* эталон —

**Таблица 5**  
**Микротвердость минералов пирсеит-стибиопирсеитовой серии**

Месторождение	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>		Нагрузка, г	Число замеров	Автор
	крайняя	средняя			
Стрежанское *	151-179,2	165,1	20	30	Наши данные
Сокольное	—	127	20	10	Генкин, Добровольская, 1965
Миргалимсай *	153-165	159	20	20	Качаловская, Тронева, 1964
	153-167	160	100	—	Berry, Thompson, 1962
	146-155	—	25	—	Frondel, 1963
Руен *	152,8-164,8	158,2	20	—	Мънков, 1971

\* Замеры на микротвердомере ПМТ-3.

жения. Это же подтверждается и сопоставлением спектров отражения полибазита (Безсмертная и др., 1973) и стибипирсеита, обнаруживающим их сходство по общему виду и абсолютным значениям  $R$ . Различие наблюдается только в области 580—620 нм, где у стибипирсеита появляется незначительный максимум.

Сопоставление данных по микротвердости стибипирсеита Стрежанского месторождения с другими минералами — членами этой серии (табл. 5) обнаруживает сравнительную близость величин, особенно средних (160—165 кг/мм<sup>2</sup>). Некоторым исключением является лишь пирсеит Сокольного месторождения, имеющий несколько меньшие значения микротвердости (127 кг/мм<sup>2</sup>).

Таким образом, в результате проведенных исследований в рудах Стрежанского месторождения сделана первая в СССР находка стибипирсеита — члена пирсеит-стибипирсеитовой серии твердых растворов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Безсмертная М. С., Чвилева Т. Н. и др. Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и микротвердости, 1973.
- Генкин А. Д., Добровольская М. Г. О находке пирсеита в свинцово-цинковом месторождении Сокольное (Рудный Алтай). — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 16, 1965.
- Еремин Н. И., Округин В. М., Демин Ю. И. О серебряной и висмутовой минерализации в рудах Стрежанского месторождения (Рудный Алтай). — Вестн. МГУ, серия геол., 1971, № 3.
- Berry L. G., Thompson R. M. — Geol. Amer., 1962.
- Fron del Cl. — Amer. Miner., 1963, 48, N 5—6.
- Gray I. M., Millman A. P. — Econ. Geol., 1962, 57, N 3.
- Hall H. T. — Amer. Miner., 1967, 52, N 9—10.
- Мънков Сл. Списание Бълг. геол. дружество, 1971, 32, N 1.
- Reasock M. A., Berry L. G. — Miner. Mag., 1947, 28, N 198.
- Качаловская В. М., Тронева Н. В. Пирсеит из месторождения Миргалимсай. — Зап. ВМО, ч. 98, № 2, 1964.
- Михеев В. П. Справочник, 1956.
- Округин В. М. Электронно-зондовое изучение сульфосолей серебра и висмута в рудах Стрежанского месторождения на Рудном Алтае. — Вестн. НСО, № 5, 1972.
- Рамдор П. Рудные минералы и их срaстания, 1962.
- Халгаев Ж. Т., Слюсарев А. П. Ялпаит и пирсеит в рудах месторождения Миргалимсай. — Вестн. АН КазССР, № 10, 1969.