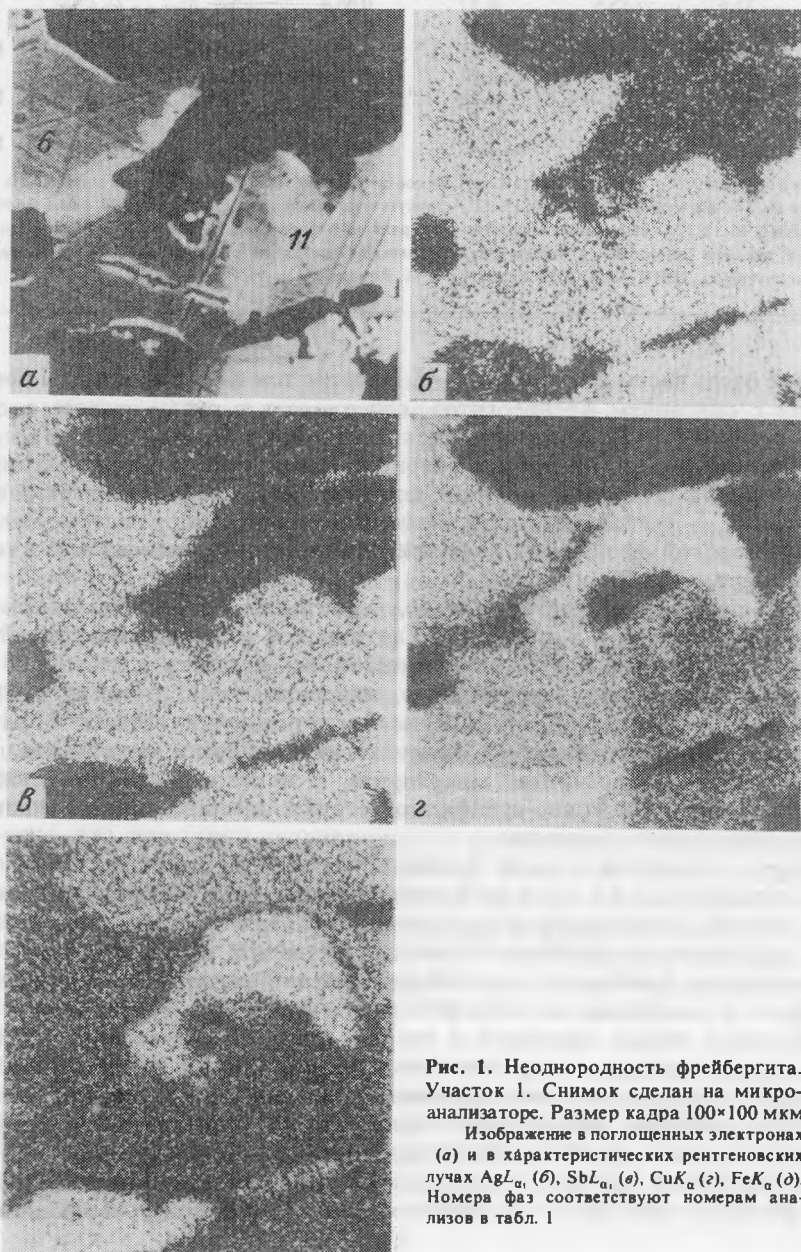


**О ФРЕЙБЕРГИТЕ  
ОДНОГО ИЗ СКАРНОВО-ШЕЕЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМОРЬЯ**

Одним из носителей серебра в рудах месторождений различных генетических типов является фрейбергит. Изоморфизм меди и серебра в блеклых рудах осуществляется в широких пределах [1], однако фрейбергиты с содержанием серебра



**Рис. 1.** Неоднородность фрейбергита. Участок 1. Снимок сделан на микроанализаторе. Размер кадра 100×100 мкм  
Изображение в поглощенных электронах (а) и в характеристических рентгеновских лучах  $AgL_{\alpha}$  (б),  $SbL_{\alpha}$  (в),  $CuK_{\alpha}$  (г),  $FeK_{\alpha}$  (д). Номера фаз соответствуют номерам анализов в табл. 1

## Химический состав блеклых, руд

N пп	Весовые проценты							Сумма
	Ag	Cu	Fe	Zn	Sb	S		
1	21,2	23,3	5,4	0,9	27,3	22,5	100,6	
2	21,3	22,9	5,1	0,7	27,4	22,9	100,3	
3	21,4	22,8	5,4	0,9	27,1	23,0	100,6	
4	21,4	21,6	5,2	1,3	26,0	22,4	98,3	
5	28,4	17,6	5,6	—	26,2	21,2	100,1	
6	29,25	17,90	5,62	0,79	27,25	19,94	100,75	
7	29,8	15,1	5,1	2,0	25,4	20,8	98,8	
8	31,6	15,9	4,3	0,3	25,4	21,2	99,3	
9	32,3	14,1	5,0	0,4	25,4	20,3	99,1	
10	33,43	15,09	5,65	0,57	26,11	20,20	101,05	
11	45,08	5,54	5,80	0,38	24,32	18,85	99,97	
12	45,73	4,71	6,08	0,01	24,47	19,18	100,22	
13	46,6	3,4	5,5	—	23,9	19,8	99,2	
14	49,4	2,2	5,2	0,3	24,5	20,7	102,3	

Примечание. В ан. 7, 9 — примесь свинца 0,7 и 1,6% соответственно; в ан. 4, 5, 8 — примесь олова 0,4 и 0,1 и 0,6% соответственно; в ан. 5 — висмута 1,0%; в ан. 10, 11, 12 — присутствует мышьяк в количествах 0,10, 0,04 и 0,16% соответственно. Анализы 6, 10, 11, 12 — выполнены в рентгено-спектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР. Аналитик А. И. Цепин. Остальные анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов исследования Дальневосточного геологического института ДВНЦ АН СССР. Аналитик И. М. Романенко.

более 30% не очень часты в природе [2—4]. Вместе с тем в последние годы появились публикации с описанием фрейбергитов, содержащих в своем составе около или более 40% серебра [5—7]. Количество таких находок пока невелико. В этой связи находка фрейбергита в одном из скарново-шеелитовых месторождений Приморья, количество серебра в котором достигает 49,4%, представляет известный интерес. Вместе с фрейбергитом из месторождения Хохтор, содержащим 49,5% серебра, приморский фрейбергит является самым серебристым из всех известных в настоящее время фрейбергитов.

Скарново-шеелитовое месторождение, в котором установлен описываемый фрейбергит, расположено в пределах Улиткинской подзоны Бикинской структурно-формационной зоны. Месторождение сформировалось в несколько стадий минерализации: скарновую, грейзеновую, кварцево-шеелитовую, сульфидную и карбонатную. С сульфидной стадией на месторождении связано образование арсенопирита, пирротина, сфалерита, галенита, халькопирита, гудмундита, джемсонита, менегинита, пираргирита, миаргирита и некоторых редких сульфидов. Фрейбергит отлагался в конце сульфидной стадии, завершая продуктивный этап минерализации на месторождении.

Фрейбергит относится к числу редких минералов на месторождении. Мелкие зерна его размером до 0,1 мм в поперечнике встречаются в пирротиновых рудах, где, как правило, приурочены к выделениям сфалерита, реже кварца. По минеральным парагенезисам фрейбергиты можно разделить на две группы. К первой группе относится фрейбергит, ассоциирующийся с галенитом, джемсонитом и менегинитом, с которыми он образует тесные сростания неправильной формы в более крупных зернах сфалерита и кварца. Фрейбергиты второй группы ассоциируют с миаргиритом, пираргиритом и халькопиритом. Эти минералы пространственно тяготеют либо к выделениям джемсонита и менегинита в сфалерите, либо к краевым частям зерен сфалерита. В основном в руках развиты фрейбергиты I группы, фрейбергиты II группы — чрезвычайно редки.

Состав минералов изучался с помощью рентгеноспектрального метода. Большинство анализов выполнено на микронзонде УХА—5А при ускоряющем напря-

Формульные коэффициенты							
Ag	Cu	Fe	Zn	$\Sigma Me$	Sb	S	
3,57	6,65	1,75	0,25	12,22	4,07	12,74	
3,58	6,54	1,66	0,19	11,97	4,08	12,96	
3,58	6,48	1,74	0,25	12,05	4,02	12,95	
3,68	6,31	1,73	0,37	12,09	3,96	12,96	
5,03	5,29	1,92	—	12,24	4,11	12,64	
5,20	5,41	1,93	0,23	12,77	4,29	11,94	
5,36	4,61	1,77	0,59	12,33	4,05	12,60	
5,69	4,86	1,50	0,09	12,14	4,05	12,84	
5,95	4,41	1,78	0,12	12,26	4,15	12,59	
5,98	4,58	1,95	0,17	12,68	4,14	12,16	
8,63	1,80	2,14	0,12	12,69	4,13	12,15	
8,74	1,53	2,24	0,00	12,51	4,14	12,33	
8,96	1,11	2,04	—	12,09	4,07	12,81	
9,23	0,70	1,88	0,09	11,90	4,06	13,02	

жении 25 кВ. В качестве эталонов использовали: PbS (синтетический) и Cu, Ag, Sb, Fe, Zn — металлические. 4 анализа выполнены на микроанализаторе MS-46 (Cameca).

Результаты анализов и рассчитанные по ним формульные коэффициенты фрейбергитов приведены в табл. 3 (Расчет велся на 29 атомов в элементарной ячейке).

Проведенное исследование показало, что фрейбергиты I группы однородны и состав их практически постоянен. Количество серебра в них составляет 21,2—21,4%. Фрейбергиты II группы объединяют минералы с содержанием серебра выше 30%. Максимальным является содержание в 49,4%. Фрейбергиты этой группы чрезвычайно неоднородны. На рис. 1 и 2, где представлены фотографии поверхности фрейбергитов, сделанные на микроскопе в поглощенных электронах и в характеристических рентгеновских лучах, отчетливо видна многофазность фрейбергитов. Причем, кроме тех фаз, которые удалось проанализировать (отмечены цифрами), существуют также фазы промежуточного состава (показаны буквами). Размеры фаз не превышают 50 мк в поперечнике. Взаимоотношения между ними сложны и не подчиняются какой-либо закономерности.

Естественно, что при такой неоднородности фрейбергитов теряет смысл измерение физических констант минерала. Поэтому измерение этих констант проведено только для однородных фрейбергитов I группы, содержащих около 21% серебра. Параметр кристаллической решетки  $a_0$  фрейбергита I равен  $10,52 \pm 0,01 \text{ \AA}$ . Эта величина хорошо согласуется с  $a_0 = 10,514 \text{ \AA}$ , полученным Д. Райли для фрейбергитов с таким же содержанием серебра. Микротвердость фрейбергита I, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке в 50 г, составляет  $28 \text{ кгс/мм}^2$  (среднее из 21 замера).

Изученные фрейбергиты интересны прежде всего с точки зрения их необычайно высокой серебртости. Это вторая находка в мире столь богатого серебром фрейбергита. Причем сделана она в скарново-шеелитовом, а не в серебро-полиметаллическом или золото-серебряном месторождении, для которых довольно обычны богатые серебром минералы.

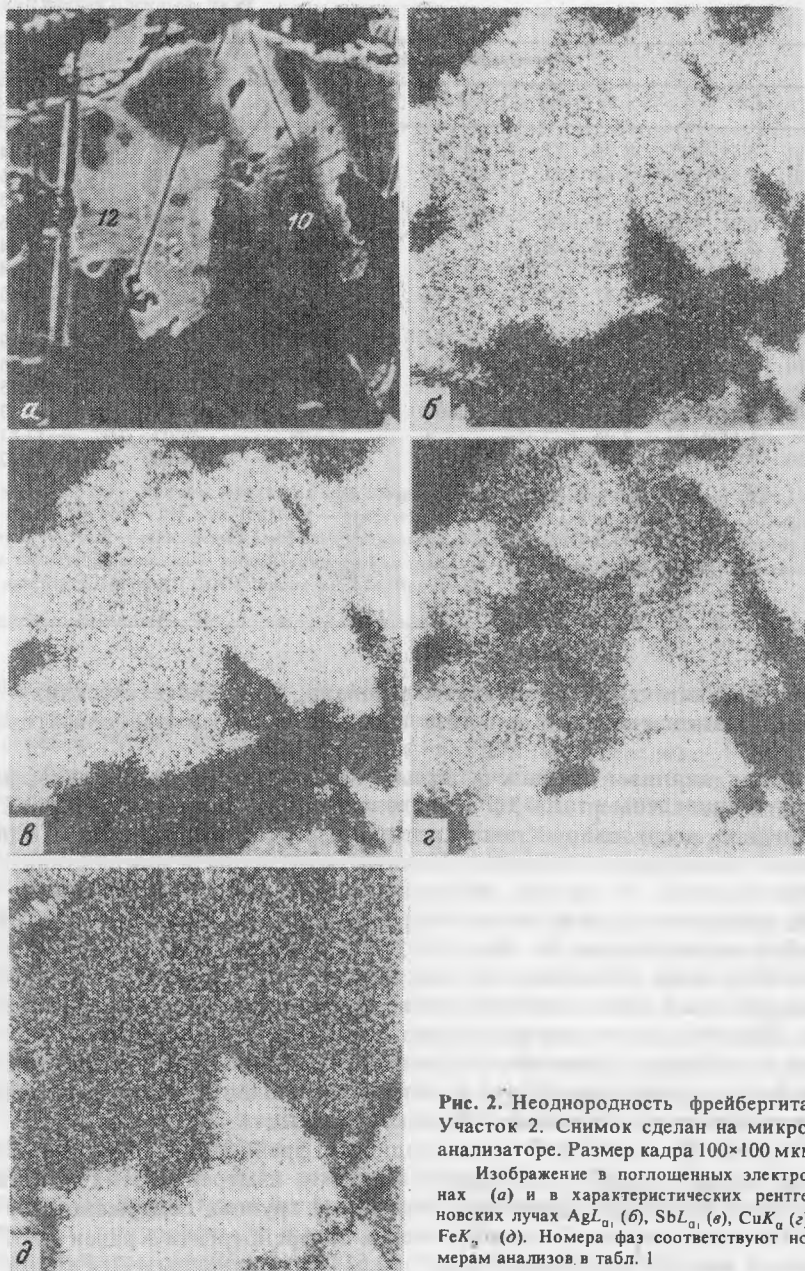


Рис. 2. Неоднородность фрейбергита. Участок 2. Снимок сделан на микроанализаторе. Размер кадра  $100 \times 100$  мкм. Изображение в поглощенных электронных лучах (а) и в характеристических рентгеновских лучах  $AgL_{\alpha}$ , (б),  $SbL_{\alpha}$ , (в),  $CuK_{\alpha}$  (г),  $FeK_{\alpha}$ , (д). Номера фаз соответствуют номерам анализов в табл. 1

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Поваренных А.С.* Основные черты кристаллохимии минералов меди и серебра. — В кн.: Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования. М.: Наука, 1967.
2. *Индолев Л.Н., Невойса Г.Г., Брызгалов И.А.* Новые данные о составе сурьмяных блеклых руд и изоморфизм меди и серебра. — Докл. АН СССР, 1971, т. 199, N 5.
3. *Тимофеевский Д.А.* О первой находке в СССР фрейбергита с высоким содержанием серебра. — Докл. АН СССР, 1967, т. 176, N 6.
4. *Riley J.F.* The Tetrahedrite — Freibergite Series with Reference to the Mount Jse Pb—Zn—Ag Orebody. — Mineral. Deposita (Berl.), 1974, T 9.
5. *Kvacek M., Novak F., Draben M.* Canfieldite and Silverrich tetrahedrite from the Kutna Hora ore district. — Neues Jb. Mineral., Monatsheft. 1975, N 4.
6. *Paar W.A., Chen T.T., Günther W.* Extrem silberreicher Freibergit in Pb—Zn—Cu. Erzen des Bergbaues "Knappenstube". Hochtort, Salzburg. — Carinthia II, 1978.
7. *Некрасова А.Н., Сандомирская С.М.* Химический состав блеклых руд из вулканогенных золото-серебряных месторождений. — В кн.: Минералогические исследования месторождений цветных и благородных металлов. 1979, вып. 142.

УДК 549.211:548.74

К.Е. ФРОЛОВА, Т.М. ПАВЛОВА

### ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

Изучение тончайшего микрорельефа поверхности граней кристаллов алмаза дает возможность выяснить ряд особенностей процесса кристаллизации этого минерала.

В литературе имеются описания электронно-микроскопических снимков поверхности природных [1—4] и синтетических [5] кристаллов алмаза. Наиболее распространенными элементами микрорельефа граней природных алмазов являются треугольные впадины, шагреньевые узоры различной интенсивности, слои и черепитчатые узоры роста. Для синтетических алмазов, кроме обратно параллельных трехгранных и шестигранных впадин, на гранях {111} отмечены также дендритные узоры.

В настоящей работе излагаются результаты электронно-микроскопического изучения поверхности октаэдрических граней и сколов природных кристаллов алмаза.

Для исследования было отобрано три кристалла: обр. 84, 214 и 229. Все три кристалла октаэдрического габитуса, с гладкими гранями, острыми ребрами и вершинами, прозрачные, бесцветные; относятся к наиболее распространенной в кимберлитовых месторождениях разновидности I. Для извлечения включений минералов из внутренних зон кристалла, обр. 84 и 214 были разрушены. Исследовались поверхности сколов (обр. 84 и 214) и граней (обр. 229). Работы проводились в лаборатории электронной микроскопии ИГЕМ АН СССР на просвечивающем электронном микроскопе JEM-6а, причем применяли метод реплик (угольные, целлюлозо-угольные, коллодиевые, реплики с извлечением) и метод микродифракции электронов [6]. Сколы кристаллов изучались на сканирующем электронном микроскопе фирмы "Philips".

Известно, что форма алмазов разновидности I — октаэдр, и формирование кристалла происходит путем послойного нарастания граней {111}. На рис. 1 представлена микрофотография естественного скола октаэдрического кристалла алмаза (обр. 84). Видны четкие зоны роста, толщину которых можно оценить от 2 до 8 мкм. Микрофотография хорошо иллюстрирует механизм образования ступенчатой поверхности сколов, характерной для алмаза.

Электронно-микроскопическое изучение граней октаэдрического кристалла