

---

МИНЕРАЛОГИЯ  
УРАЛА

---

## **МИНЕРАЛОГИЯ УРАЛА**

**АРСЕНИДЫ И СТИБНИДЫ. ТЕЛЛУРИДЫ.  
СЕЛЕНИДЫ. ФТОРИДЫ. ХЛОРИДЫ И БРОМИДЫ**

УДК 549.2/3(470.5)

**Минералогия Урала: Арсениды и стибниды. Теллуриды. Селениды. Фториды. Хлориды и бромиды.** Свердловск: УрО АН СССР. 1991.

Приводится систематическое описание 145 уральских минералов. Для каждого минерала дается история открытия, краткая характеристика по генетическим типам или месторождениям, морфологии, физических свойств, диагностических признаков и разновидностей. Приводятся химические анализы и фотографии типических образцов. Книга рассчитана на широкий круг минералогов, петрографов, литологов, специалистов по минеральным месторождениям, студентов геологических специальностей, коллекционеров и всех интересующихся минералогией Урала.

Табл. 81. Ил. 63. Библиогр. 312 назв.

Главный редактор  
член-корреспондент АН СССР **Н. П. Юшкин**

Редакционная коллегия:

д. г.-м. н. **В. Н. Анфилов**, д. г.-м. н. **Э. Ф. Емлин**, к. г.-м. н. **О. К. Иванов** (ответственный редактор), **В. С. Осташенко**, к. г.-м. н. **В. О. Поляков**, д. г.-м. н. **В. А. Попов**, к. г.-м. н. **Г. Н. Пшеничный**, д. г.-м. н. **Б. В. Чесноков** (зам. гл. редактора), д. г.-м. н. **В. И. Яшкин**

Рецензенты  
доктора геолого-минералогических наук **А. Г. Булах**, **Д. А. Минеев**

© УрО АН СССР, 1991

М  $\frac{20805-1648-200(88)}{055(02)7}$  1991

# І. АРСЕНИДЫ, СТИБНИДЫ, СУЛЬФОАРСЕНИДЫ И СУЛЬФОСТИБНИДЫ

---

Среди минералов этого класса в 1941 г. было описано 20 минеральных видов, в настоящее время установлено или предполагается 56 видов. Поскольку появилось много новых находок и определений состава, ниже дается описание всех известных на Урале минеральных видов, однако авторы старались не дублировать уже опубликованные данные.

## 1.1. АРСЕНИДЫ И СТИБНИДЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

### 1.1.1. Герстлиит — $(\text{Na}, \text{Li})_4 \text{As}_2 \text{Sb}_8 \text{S}_{17} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , монокл. (?) с. (Gerstleyite)

Герстлиит определен предположительно при изучении герсдорфита из Пышминского золоторудного месторождения (Айзикович и др., 1974) как продукт выветривания. Герстлиит тонкой корочкой покрывает герсдорфит; это лучистый красно-бурого цвета минерал, двупреломление 0,010—0,012,  $N_m = 2,01$ , твердость 2—3. Требует подтверждения.

## 1.2. АРСЕНИДЫ И СТИБНИДЫ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА

На Урале описаны лёллингит, арсенопирит, гудмундит, глаукоцит, бертьерит, сафлорит, кобальтин, скуттерудит и смальтин.

### 1.2.1. Лёллингит — $\text{FeAs}_2$ , ромб. с. (Loellingite)

Лёллингит указывается в арсенопирит-кварцевых жилах, скарнах и в Березовских кварцевых жилах, однако все эти находки требуют подтверждения. П. В. Еремеев (1886) отмечает в Успенском руднике Кочкарского месторождения включения светлого стально-серого лёллингита в арсенопирите с золотом. Однако последующих подтверждений находки не поступало. С. М. Бучельников (1926) упоминал лёллингит в Шершневском золотоарсенопиритовом месторождении у г. Челябинска, но без характеристики. Лёллингит в Пестеревском руднике (Федоров, Никитин, 1899) входит в состав тонкозернистой смеси герсдорфита, шмальтина и хлоантита в кварце, а также в виде микро-

кристаллов в пустотках. Определен по данным химического анализа. В лёллингите установлены примеси Ni, Co, Cu, S. Определения подтверждены Л. Н. Овчинниковым (1948), изучившим образец лёллингита из Пестеревского рудника, хранящийся в Федоровском геологическом музее (обр. 83) (мелкозернистые сплошные скопления в кварце). Спектральный анализ показал высокое содержание кобальта, заметное — никеля, а также примеси Sb, Bi, Cu, Pb, Ag. А. Г. Бетехтин (Игумнов, 1941в) определил лёллингит в Башмаковском руднике в виде мелких кристаллов в мраморах с глубины 400 м.

В Богословском руднике лёллингит наблюдался (Овчинников, 1948) в виде тонкой вкрапленности и мелкозернистых скоплений в кальцит-анкеритовых прожилках с блеклой рудой, сфалеритом, галенитом. Определен по содержанию кобальта. Требуется подтверждения. Н. К. Высоцкий (1925) отмечал лёллингит в Березовском месторождении, вероятно, ошибочно.

### 1.2.2. Арсенопирит — FeAsS, трикл. с. (Arsenopyrite)

Арсенопирит впервые, без указания месторождения, указывается И. П. Фальком (1824, с. 215): «Мышьяк белый попадает еще реже в уральских рудниках», затем определен И. В. Мушкетовым в 1873 г. (1873, 1877) на образцах из Андреевской жилы Кочкарских приисков; детально описан Н. К. Высоцким (1900) и И. И. Чупилиным (1926, 1941). Установлен в сиенитах, гранитных пегматитах, контактово-метасоматических, сульфидно-кварцевых и арсенопирит-кварцевых жилах и в зонах гидротермально измененных пород. В сиенитах тарасовейского комплекса на Пай-Хое описан как аксессуарный минерал в количестве до 1,4 г/т (Юшкин, 1980).

В гранитных пегматитах встречается в ильменогорском комплексе и в Мокруше. В амазонитовых пегматитах Косой горы (копь 27) арсенопирит встречается в зоне альбитизации в струйчатых выделениях до 5 мм, зернистых или шестоватых агрегатах, в конвертообразных кристаллах до 4 мм с гранями {310} и {013}. Подтвержден спектральным анализом (Богомолова, 1960). В миаролитовых пегматитах Мокруши отмечен В. М. Смертенко и другими (1980) в зонах из графических пегматитов; встречается О. К. Ивановым и И. А. Гурковым (1986) в хорошо образованных дипирамидальных кристаллах до 1 см (иногда в парагенезисе с марказитом, пиритом и серицитом), нарастающих на кварц, мусковит и альбит, или в серицитовой сыпучке. Местами замещен гидротетитом. Состав двух кристаллов, мас. %: Fe 34,44 и 34,81; As 48,71 и 49,43; S 18,24 и 18,63; сумма 101,40 и 102,87. Кристаллохимические формулы  $Fe_{1,01}As_{1,06}S_{0,93}$  и  $Fe_{1,00}As_{1,06}S_{0,94}$ . Наиболее интенсивные линии рентгенограммы 2,65 (10); 2,45 (3); 2,41 (4); 1,81 (6); 1,632 (2). Образовался в стадию березитизации пегматита.

В контактово-метасоматических месторождениях железа арсенопирит — редкий минерал (Овчинников, 1960). Отмечался в Первом Северном руднике как редкая вкрапленность призматических зерен до 0,001 мм в кварц-гематитовом апоскарне Главного рудного поля и в сульфидных вкрапленниках в диабазх Восточной залежи. В поздних карбонатных жилах установлен в Теченском и Магнитогорском месторождениях, в последнем — в агрегатах до 3 см.

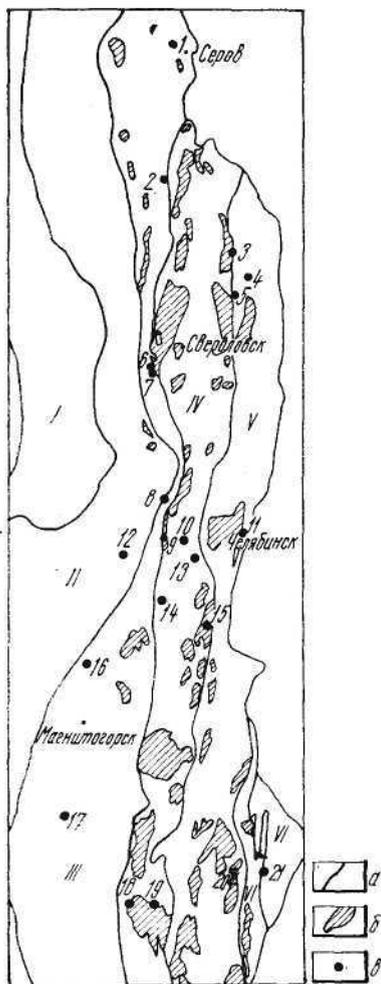
Арсенопирит — обычный минерал кварцевых, кварц-эпидотовых жил ряда рудопроявлений (Нияюсское, Ниявожское, ручей Хрустальный и др.) на Полярном Урале. Здесь же он встречается в виде зон густой послойной вкрапленности в пропилитизированных вулканитах основного состава. Арсенопирит образует округлые выделения размером до 6—8 мм, субизометричные кристаллы. Он ассоциирует с пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, в незначительном количестве присутствуют блеклые руды, кобальтин, никелин, сивланит, галенит, золото, злектрум (Вахрушев, Макаров, 1986).

В качестве акцессорного минерала установлен на Харбейском вольфрам-медно-молибденовом месторождении, где образует редкую вкрапленность мелких (до 0,2 мм) кристаллов в кварцевых жилах висячего бока рудной зоны, на Падьягинском месторождении медистых песчаников, Комсомольском вольфрам-сурьмяном рудопроявлении в ассоциации с гудмундитом, пирротинном, сфалеритом, сульфосолями, бертьеритом, Немурьюганском скарново-железородном в ассоциации с борнитом, халькозином, блеклыми рудами, антимонитом. Арсенопирит Комсомольского рудопроявления содержит, по данным О. А. Яковлевой (1988), до 2,7% Ni, в арсенопирите Харбейского месторождения примесь кобальта достигает 2 %.

В колчеданных месторождениях арсенопирит — обычный минерал; отмечен в месторождениях им. III Интернационала, Карпушинском, Левихинском, Калатинском, Дегтярском, Карабашском, Сибайском. Обычно ассоциирует с пиритом и кварцем в виде идиоморфных кристаллов до 0,08 мм, реже в виде включений в пирите. Характерен для сфалерит-теннантит-халькопиритовых руд с повышенным содержанием As в месторождениях Карабашской группы (Амирасланов, 1937; Чупилин, 1941). По Е. К. Лазаренко (1947), арсенопирит широко развит в месторождении им. III Интернационала на контактах рудных тел и в окремненных вмещающих породах в виде скоплений и одиночных кристаллов, реже двойников. В рудах мелкие зерна до 0,0 мм замещаются сфалеритом. В месторождении Шмидта во вмещающих породах Линзы 10 встречаются столбчатые кристаллы до 1 см с гранями {100}, {012}, редко {001}.

Арсенопирит отмечается Б. А. Голдиным (1976) среди гидротермально измененных липаритовых порфиров Полярного Урала, в истоках р. Лепты-Низерли, где образует призматические

Рис. I.I. Схема размещения арсенопиритовой минерализации.



а — границы региональных структур, б — гранитные массивы, в — точки минерализации. Региональные структуры: I — Предуральский краевой прогиб, II — Центрально-Уральское поднятие, III — Тагильо-Магнитогорский прогиб, IV — Восточно-Уральское поднятие, V — Восточно-Уральский прогиб, VI — структуры Зауралья.

Месторождения и рудопроявления арсенопирита: 1 — Ауэрбаховское, 2 — Богомоловское, 3 — Сусанское, 4 — Арамашевское, 5 — экзоконтакт Аудуйского массива, 6 — Дегтярское, 7 — Крылатовское, 8 — Карабашское, 9 — Ильменское, 10 — Непряхинское, 11 — Шершневское, 12 — Козьмо-Демьяновское, 13 — Ходневское, 14 — Большой Каран, 15 — Кочкарское, 16 — Миндякское, 17 — Сибайское, 18 — Речное, 19 — Айдырлинское, 20 — Джетыгаринское, 21 — Коломенское.

удлиненные кристаллы с гранями {101}, {210}, иногда крестообразные сростки. Подтвержден дебаеграммой. Б. В. Чесноковым установлен в составе руд горизонта 512 м Березовского месторождения (шахта Северная). Подтвержден дебаеграммой.

Наиболее широко арсенопирит встречается в месторождениях кварц-сульфидной формации (рис. I.I): Ауэрбаховском, Богомоловском, Сусанском, Арамашевском, Крылатовском, Шершневском, Миндякском, Ходневском, Большом Каране, Кочкарском, Айдырлинском и Джетыгаринском; в меньшей степени — в зонах сульфидизации гидротермально измененных пород, таких как Абрисимовское, Козьмо-Демьяновское, Непряхинское, Речное и Коломенское месторождения.

Детальное описание арсенопирита из месторождений, известных в довоенное время, приводится И. И. Чупилиным (1941). Основное внимание им уделено арсенопириту Кочкарского, Сусанского и Ауэрбаховского месторождений, где минерал наблюдался в пирит-арсенопиритовой, пирротин-халькопирит-сфалеритовой, полиметаллической и антимонитовой с киноварью минеральных ассоциациях как в жилах, так и в измененных вмещающих породах.

В гидротермально измененных породах и кварцевых жилах арсенопирит присутствует в виде хорошо ограненных кристал-

лов (рис. 1.2), имеющих обычно призматический облик и вытянутых по направлению  $[001]$ , реже по  $[010]$ ; иногда в кристаллах псевдооктаэдрического габитуса. Основные формы представлены «ромбическими призмами»:  $n \{101\}$ ,  $m \{100\}$ ,  $g \{210\}$ ,  $e \{012\}$ ; реже пинакоидами:  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $c \{001\}$  (символы приводятся в установке Бюргера). Нередки простые и полисинтетические двойники по  $\{101\}$  и  $\{012\}$ , реже звездчатые тройники по  $\{012\}$ . Размеры наиболее крупных кристаллов мечевидной формы достигают 8—10 см и толщины 5—6 мм.

Спайность несовершенная по  $\{101\}$  и  $\{010\}$ . На электронно-микроскопических снимках реплик со скола арсенопирита иногда наблюдается отчетливая спайность в трех направлениях. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 5,5—6. Плотность, определенная пикнометрическим методом, от 5,95 до 6,13 г/см<sup>3</sup>. Цвет на свежем изломе серебристо-белый, на гранях кристаллов стально-серый. В подземных выработках выделения арсенопирита покрывают пленки побежалости зеленовато-желтой окраски. В отраженном свете кремово-белый, отчетливо анизотропный.

Травление в разбавленной азотной кислоте со спиртом выявляет внутреннее строение зерен. В большинстве случаев арсенопирит ранних минеральных ассоциаций, подвергшихся метаморфизму, обладает блочным строением зерен; в единичных случаях наблюдались структуры грануляции. В поздних минеральных ассоциациях выделения арсенопирита имеют грануломорфное строение и характеризуются концентрически-зональным строением отдельных индивидов. Для арсенопирита этих ассоциаций типично присутствие простых и полисинтетических двойников.

Постоянные примеси в арсенопирите изученных месторождений: Sb 0,05—0,19; Co 0,01—0,17; Ni 0,01—0,18% (определены локальным рентгеноспектральным микроанализом). В арсенопирите Кочкарского рудного поля, кроме того, установлены Mn, Ti, Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Au, Ag, W, Mo, из которых медь, свинец и молибден зафиксированы во всех пробах. Содержания примесей не превышают 0,05%; концентрации меди, свинца и сурьмы достигают 0,5—1,0%. Количество золота в арсенопирите, определенное нейтронно-активационным анализом, варьирует от 0,65 до 971 г/т, в среднем 15 г/т (без учета значений более 200 г/т). В количественном отношении преобладает арсенопирит, золотоносность которого колеблется от 1,5 до 7,5 г/т.

Количество элементов-примесей определяется, с одной стороны, типом минеральной ассоциации, в которой находится арсенопирит, а с другой — составом вмещающих сульфидно-кварцевые жилы пород.

Химический состав арсенопирита из сульфидно-кварцевых жил, определенный локальным рентгеноспектральным микро-

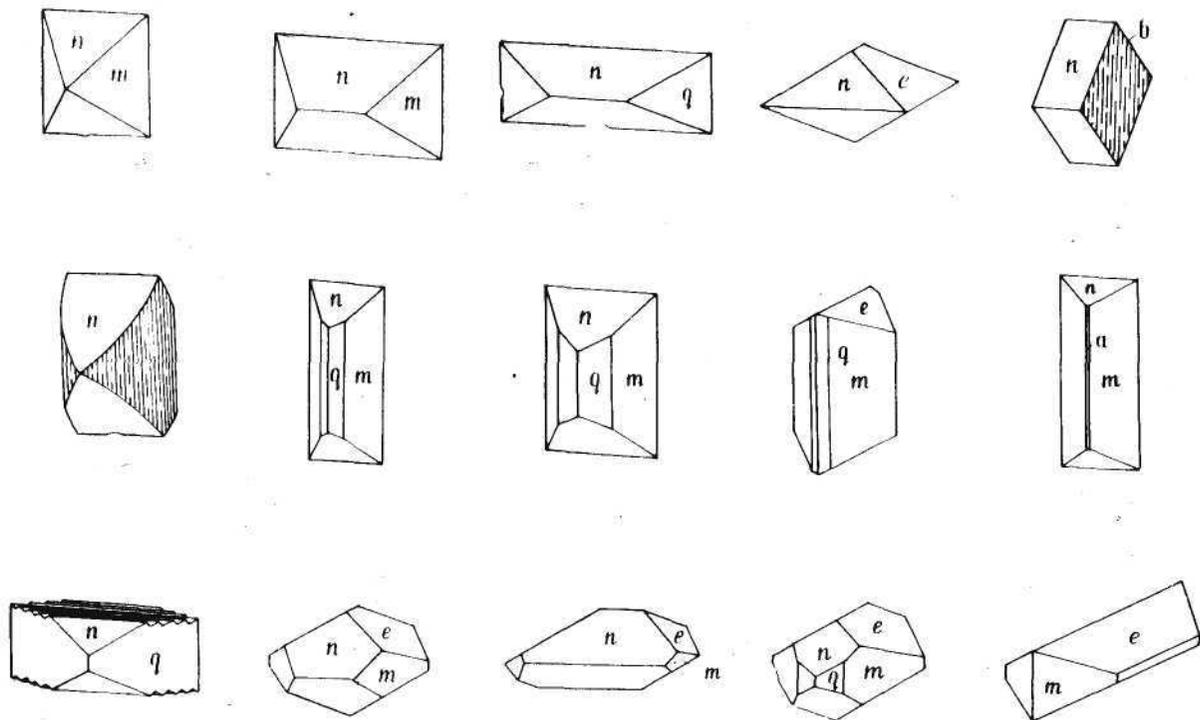


Рис. 1.2. Формы кристаллов арсенипирита Кочкарского рудного поля. Измерения и чертежи кристаллов выполнены В. И. Кайновым.

Таблица I.1

## Химический состав арсенирита сульфидно-кварцевых образований, мас. %

№ анализа	Fe	As	S	Sb	Co	Ni	Сумма
1*	34,30	41,68	22,83	0,13	—	—	98,94
2	34,28	42,03	21,75	0,08	—	—	98,14
3	34,08	41,88	22,86	0,10	—	—	98,92
4	34,15	43,50	21,44	0,07	—	—	99,16
5	34,12	42,54	21,48	0,06	—	—	98,20
6	35,20	43,46	21,32	—	—	—	99,98
7	34,66	43,17	22,75	—	—	—	100,57
8	34,70	43,74	21,55	—	0,04	0,18	100,21
9	35,36	42,83	22,50	—	0,11	0,10	100,70
10	34,24	43,55	20,55	—	—	—	98,34
11	35,17	44,86	20,73	0,12	0,06	0,02	100,96
12	35,04	45,00	21,23	0,09	0,17	0,08	101,61
13	35,08	44,32	21,16	0,12	0,14	0,02	100,84
14	35,02	44,28	20,68	0,08	0,13	0,05	100,24
15	34,86	44,71	20,85	0,11	0,11	0,05	100,69
16	35,42	44,68	20,90	0,12	0,08	0,04	101,24
17	35,00	41,23	22,71	0,17	0,02	0,00	99,13
18	35,61	41,55	23,00	0,08	0,05	0,02	100,31
19	35,29	41,78	22,73	0,15	0,04	0,01	100,00
20	36,99	34,99	27,76	0,00	0,06	0,00	99,80
21	34,94	39,75	24,84	0,07	0,05	0,01	99,68
22	34,57	41,76	21,39	0,10	0,07	0,00	97,89
23	34,92	42,54	21,18	0,09	0,04	0,00	98,77
24	35,30	43,66	20,62	—	—	—	99,58
25	34,62	42,50	21,57	0,07	0,00	0,00	98,76
26	34,95	41,61	22,38	0,10	0,06	0,00	99,20
27	34,20	43,88	20,47	0,10	0,06	0,00	98,71
28	35,01	42,02	21,93	0,07	0,04	0,01	99,08
29	34,85	43,19	20,80	0,08	0,03	0,00	98,95
30	35,27	43,98	21,12	0,10	0,05	0,00	100,52
31	35,29	42,41	22,73	0,10	0,05	0,00	100,58
32	34,34	41,43	20,80	0,09	0,07	0,10	96,83
33	34,62	42,66	21,78	0,08	0,04	0,03	99,21
34	35,02	42,76	21,76	0,13	0,01	0,00	99,68
35	34,44	42,35	21,66	0,06	0,05	0,02	98,58
36	34,59	41,82	21,64	0,05	0,01	0,00	98,11
37	34,86	44,50	19,93	0,19	0,06	0,03	99,57
38	35,15	41,31	22,67	0,13	0,03	0,00	99,29
39	35,46	44,66	21,31	0,12	0,04	0,00	101,60
40	35,48	42,59	22,69	0,12	0,04	0,00	100,92
41	34,96	42,55	21,60	0,07	0,05	0,00	99,23
42	34,22	43,95	21,50	—	—	—	99,67
43	34,19	43,50	21,01	—	—	—	98,70
44	34,54	44,03	21,06	—	—	—	99,64
45	34,72	44,90	20,88	—	—	—	100,49
46	35,14	43,59	22,52	—	—	—	101,24
47	34,92	43,05	21,83	—	—	—	99,80
48	34,99	41,56	22,72	—	—	—	99,27
49	35,40	42,50	22,70	—	—	—	100,60

№ анализа	Fe	As	S	Sb	Co	Ni	Сумма
50	34,55	44,64	21,05	—	—	—	100,24
51	34,49	44,21	20,83	—	—	—	99,53
52	35,37	43,88	21,88	—	—	—	101,13
53	33,83	47,19	18,85	—	—	—	99,87
54	34,27	43,61	21,83	—	—	—	99,71
55	34,71	46,84	20,65	—	—	—	102,20
56	34,03	46,88	19,91	—	—	—	100,82
57	34,12	46,14	19,85	—	—	—	100,11
58	34,09	46,94	19,53	—	—	—	100,56
59	34,17	46,65	20,19	—	—	—	101,01
60	34,31	46,74	19,63	—	0,07	—	100,75
61	34,16	46,25	20,01	—	—	—	100,42
62	34,48	46,16	19,61	—	—	—	100,25
63	33,33	46,66	19,44	—	0,10	—	99,53
64	34,22	46,40	19,69	—	—	—	100,31
65	33,73	43,71	23,28	—	1,72	1,20	103,64
66	33,51	42,85	23,28	—	1,01	1,24	101,89
67	34,76	43,26	23,00	—	0,72	0,63	102,36

## Кристаллохимические формулы

1.  $Fe_{0,98}As_{0,89}S_{1,13}$
2.  $Fe_{0,99}As_{0,91}S_{1,10}$
3.  $Fe_{0,97}As_{0,89}S_{1,14}$
4.  $Fe_{0,99}As_{0,94}S_{1,08}$
5.  $Fe_{0,99}As_{0,92}S_{1,09}$
6.  $Fe_{1,01}As_{0,93}S_{1,06}$
7.  $Fe_{0,98}As_{0,91}S_{1,12}$
8.  $Fe_{0,99}As_{0,93}S_{1,07}$
9.  $Fe_{1,00}As_{0,90}S_{1,10}$
10.  $Fe_{1,00}As_{0,95}S_{1,05}$
11.  $Fe_{1,01}As_{0,96}S_{1,03}$
12.  $Fe_{1,00}As_{0,95}S_{1,05}$
13.  $Fe_{1,00}As_{0,94}S_{1,05}$
14.  $Fe_{1,01}As_{0,95}S_{1,04}$
15.  $Fe_{1,00}As_{0,96}S_{1,04}$
16.  $Fe_{1,01}As_{0,95}S_{1,04}$
17.  $Fe_{1,00}As_{0,88}S_{1,13}$
18.  $Fe_{1,00}As_{0,87}S_{1,13}$
19.  $Fe_{1,00}As_{0,88}S_{1,12}$
20.  $Fe_{1,00}As_{0,70}S_{1,30}$
21.  $Fe_{0,97}As_{0,82}S_{1,20}$

22.  $Fe_{1,01}As_{0,91}S_{1,09}$
23.  $Fe_{1,01}As_{0,92}S_{1,07}$
24.  $Fe_{1,02}As_{0,94}S_{1,04}$
25.  $Fe_{1,00}As_{0,92}S_{1,08}$
26.  $Fe_{1,00}As_{0,89}S_{1,11}$
27.  $Fe_{1,00}As_{0,96}S_{1,04}$
28.  $Fe_{1,00}As_{0,90}S_{1,10}$
29.  $Fe_{1,01}As_{0,94}S_{1,05}$
30.  $Fe_{1,01}As_{0,94}S_{1,05}$
31.  $Fe_{0,99}As_{0,89}S_{1,12}$
32.  $Fe_{1,02}As_{0,91}S_{1,07}$
33.  $Fe_{1,00}As_{0,91}S_{1,09}$
34.  $Fe_{1,00}As_{0,91}S_{1,09}$
35.  $Fe_{1,00}As_{0,91}S_{1,09}$
36.  $Fe_{1,00}As_{0,90}S_{1,09}$
37.  $Fe_{1,02}As_{0,97}S_{1,01}$
38.  $Fe_{1,00}As_{0,88}S_{1,12}$
39.  $Fe_{1,00}As_{0,94}S_{1,05}$
40.  $Fe_{1,00}As_{0,89}S_{1,11}$
41.  $Fe_{1,01}As_{0,91}S_{1,08}$
42.  $Fe_{0,98}As_{0,94}S_{1,08}$
43.  $Fe_{0,99}As_{0,94}S_{1,06}$
44.  $Fe_{0,99}As_{0,95}S_{1,06}$
45.  $Fe_{0,99}As_{0,96}S_{1,04}$
46.  $Fe_{0,99}As_{0,91}S_{1,10}$
47.  $Fe_{1,00}As_{0,92}S_{1,08}$
48.  $Fe_{0,99}As_{0,88}S_{1,12}$
49.  $Fe_{1,00}As_{0,89}S_{1,11}$
50.  $Fe_{0,99}As_{0,96}S_{1,05}$
51.  $Fe_{1,00}As_{0,95}S_{1,05}$
52.  $Fe_{1,00}As_{0,92}S_{1,08}$
53.  $Fe_{1,00}As_{1,04}S_{0,97}$
54.  $Fe_{0,98}As_{0,93}S_{1,09}$
55.  $Fe_{0,99}As_{0,99}S_{1,02}$
56.  $Fe_{0,98}As_{1,01}S_{1,00}$
57.  $Fe_{0,99}As_{1,00}S_{1,00}$
58.  $Fe_{0,99}As_{1,02}S_{0,99}$
59.  $Fe_{0,99}As_{1,00}S_{1,01}$

60.  $Fe_{1,00}As_{1,01}S_{0,99}$ .
61.  $Fe_{0,99}As_{1,00}S_{1,01}$ .
62.  $Fe_{1,00}As_{1,00}S_{0,99}$ .
63.  $Fe_{0,96}As_{1,02}S_{1,00}$ .
64.  $Fe_{1,00}As_{1,00}S_{1,00}$ .
65.  $(Fe_{0,92}Co_{0,04}Ni_{0,03})As_{0,89}S_{1,11}$ .
66.  $(Fe_{0,93}Co_{0,03}Ni_{0,03})As_{0,89}S_{1,13}$ .
67.  $(Fe_{0,96}Co_{0,02}Ni_{0,02})As_{0,89}S_{1,11}$ .

\* Месторождения: 1 — 9 — Ауэрбаховское, 10 — 16 — Сусанское, 17 — 21 — Арамашевское, 22 — 41 — Коломенское, 42 — 67 — Кочкарское.

анализом, сильно варьирует: Fe 34,08—35,61; As 39,75—46,88; S 18,90—24,84 % (табл. I.1, рис. I.3). В Арамашевском месторождении встречен арсенопирит аномального состава (рис. I.3), имеющий формулу  $Fe_{1,00}As_{0,70}S_{1,30}$ . Арсенопирит уральских сульфидно-кварцевых месторождений обогащен серой по сравнению со стехиометрическим составом (рис. I.3). Большинство проанализированных арсенопиритов находится в области  $Fe_{1,00}As_{0,96}S_{1,04}$  —  $Fe_{1,00}As_{0,87}S_{1,13}$ . Арсенопирит, близкий к стехиометрическому составу или несколько обогащенный мышьяком, встречен только в Кочкарском месторождении.

Состав арсенопирита в пределах отдельных месторождений испытывает заметные вариации, за исключением арсенопирита Сусанского месторождения. Причины колебаний состава заключаются в неоднократном отложении арсенопирита совместно с различными минеральными ассоциациями. Установлена связь химического состава природного и синтетического арсенопирита со значениями межплоскостных расстояний для отражений (131) и (202) (Суставов, Кайнов, 1984). Увеличение содержания серы в арсенопирите, как и насыщение мышьяком, ведет к повышению симметрии. Это проявляется в слиянии отражений (202) и (131), а также триплета ( $\bar{1}\bar{2}1$ ), (012), (210) у арсенопирита, состав которого выражается формулой  $(Fe_{0,94}, Co_{0,03}, Ni_{0,03})_{1,00}As_{0,89}S_{1,11}$ . Для арсенопирита Кочкарского месторождения установлено закономерное изменение химического состава, отражающее зональное распределение минерализации в пределах рудного поля (Суставов, Кайнов, 1985).

### I.2.3. Гудмундит — FeSbS, монокл. с. (Gudmundite)

Гудмундит установлен Б. В. Маливанчуком в 1966 г. в Комсомольском колчеданно-полиметаллическом рудопроявлении, которое, благодаря сложному минеральному составу (ассоциация сульфоантимонитов, сфалерита, галенита, пирротина, шеелита), представляет собой один из наиболее экзотических рудных объектов Полярного Урала. Комсомольское рудопроявление входит в состав Саурей-Лекунтальейского рудного узла, приурочено

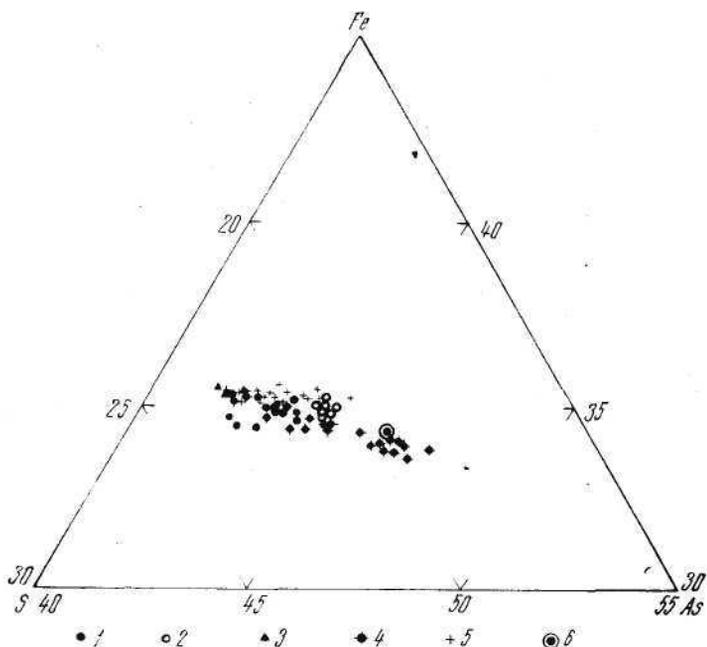


Рис. 1.3. Треугольная диаграмма химического состава арсенопирита. Месторождения: 1 — Коломенское, 2 — Сусанское, 3 — Арамашевское, 4 — Кочкарское, 5 — Ауэрбаховское, 6 — арсенопирит стехиометрического состава.

к штоку плагиогранитов бедашорского интрузивного комплекса, прорывающего серпентиниты саурейягинского ультрамафитового комплекса. Активные взаимоотношения плагиогранитов и серпентинитов доказываются наличием контактовых брекчий и контактово-метасоматической амфиболлизацией серпентинитов. Минерализация на рудопоявлении контролируется двумя зонами приразломной трещиноватости, рассланцевания и кислотного выщелачивания. Протяженность зон превышает 200 м, ширина достигает 30 м. В разрезе зоны имеют крутое восточное падение. Окolorудные метасоматиты относятся к листовит-березитовой формации и характеризуются отчетливой зональностью (от плагиогранитов к осевой зоне): 1) альбит + кварц + серицит + карбонат; 2) кварц + серицит; 3) кварц. Рудные тела с массивной и густо вкрапленной текстурой тяготеют к осевой (кварцевой) зоне метасоматитов и сопровождаются ореолами вкрапленной минерализации.

Основные рудные минералы исследуемого объекта — гудмундит, сфалерит, пирротин, джемсонит, блеклая руда (аргентотетраэдрит), шеелит, находящиеся в тесных сростаниях. В качестве примесей установлены антимонит, арсенопирит, бертьерит, галенит, гематит, марказит, самородная сурьма, пирит. В зоне окисления выявлены хлораргирит и кермезит. Текстуры

Таблица I.2

## Химический состав гудмундита из Комсомольского рудопоявления, мас. %

№ анализа	Fe	Co	Cu	Zn	S	As	Sb	Сумма
1	26,05	He обн.	He обн.	He обн.	13,57	He обн.	59,99	99,61
2	25,71	0,05	»	»	14,81	1,29	59,09	100,95
3	26,51	He обн.	0,02	0,02	13,92	1,28	58,21	99,96
4	25,90	0,08	0,01	»	14,57	0,08	58,62	99,26
5	26,63	0,08	0,01	»	14,70	0,30	58,77	100,49
6	26,28	0,07	0,02	0,04	14,34	0,05	59,22	100,02
7	25,82	He обн.	He обн.	0,01	15,18	0,02	59,32	100,35
8	25,72	0,02	»	He обн.	14,91	He обн.	57,63	98,28
9	27,25	He обн.	0,02	He обн.	14,46	»	59,18	100,92
10	25,90	»	0,04	»	14,16	2,25	58,34	100,69

## Кристаллохимические формулы

1.  $Fe_{1,01}Sb_{1,07}S_{0,92}$ .
2.  $Fe_{0,98}Sb_{1,03}As_{0,01}S_{0,98}$ .
3.  $Fe_{1,01}Sb_{1,02}As_{0,04}Cu_{0,00}S_{0,93}$ .
4.  $Fe_{0,99}Sb_{1,03}As_{0,01}S_{0,97}$ .
5.  $Fe_{1,01}Sb_{1,02}As_{0,01}S_{0,96}$ .
6.  $Fe_{1,00}Sb_{1,04}As_{0,01}S_{0,95}$ .
7.  $Fe_{0,98}Sb_{1,02}As_{0,00}S_{1,00}$ .
8.  $Fe_{0,99}Sb_{1,01}S_{1,00}$ .
9.  $Fe_{1,03}Sb_{1,02}S_{0,95}$ .
10.  $Fe_{0,98}Sb_{1,02}As_{0,06}S_{0,94}$ .

Примечание. Анализы выполнены О. А. Яковлевой на микрозонде Ms-46. В ан. 9 — NiO 0,01 %.

руд массивные, гнездовые прожилковые и вкрапленные; структуры гилидиоморфнозернистые, раскрошенные, коррозионные, обрастания, каемочные, цементации. Последовательность основных минералогенетических событий на рудопоявлении имеет следующий вид: серицит-1 → гудмундит + пирит + арсенопирит → сфалерит + бертьерит → серицит-2 → джемсонит → блеклая руда → пирротин → галенит + марказит + антимонит.

Гудмундит в рассматриваемом объекте представлен хорошо образованными псевдодипирамидальными, длиннопризматическими, столбчатыми кристаллами, размер которых достигает 1—2 мм. Сростки большей частью закономерные — двойники, тройники, полисинтетические. Часто встречаются двойники миметического типа, а также крестовидные и параллельные сростки. Под микроскопом гудмундит белый до розовато-кремового, характеризуется сильным двуотражением и анизотропией. Цветовые эффекты — от зеленовато-голубого до кирпично-красного.

Отражение для 590 нм варьирует в зависимости от ориентировки среза в интервале 49,6—57,6 %. Состав исследуемого гудмундита представлен в табл. 1.2; расчеты атомных количеств приводят к выводу о заметных отклонениях состава гудмундита от стехиометрических соотношений, что наиболее отчетливо выражается в дефиците металлов и особенно серы. Специфичность состава рассматриваемого минерала сказывается на уменьшении межплоскостных расстояний (в скобках эталонные значения): 2,76—2,78 (2,80); 2,50—2,53 (2,56); 1,900—1,906 (1,912); 1,609—1,614 (1,617); 1,446—1,453 (1,458); 1,407—1,408 (1,410). Параметры элементарной ячейки исследуемого гудмундита также отличаются от эталонных:  $a_0 = 10,11 \pm 0,05$ ;  $b_0 = 5,90 \pm 0,05$ ;  $c_0 = 6,74 \pm 0,05$  Å. Твердость микровдавливания 376—894, в среднем 729 кг/мм<sup>2</sup>.

В отличие от гудмундита ряда известных месторождений, исследуемый минерал представлен мышьяксодержащей, относительно малосернистой разновидью, характеризуется более крупным размером индивидов и является наиболее ранним минералом руд, активно замещаясь блеклой рудой и сульфоантимонитами свинца.

#### 1.2.4. Бертьерит — $\text{FeSb}_2\text{S}_4$ , ромб. с. (Berthierite)

Бертьерит предположительно указывается в кварцевых жилах Быньговского месторождения вблизи г. Невьянска (Берзон, Меркурьева, 1976) и Комсомольского полиметаллического на Полярном Урале. Точно диагностирован в метасоматитах Коломенского месторождения на Южном Урале, где встречен в поздних карбонатных прожилках в ассоциации с антимонитом, пиритом и золотом (?). Представлен зернами от 0,01 до 0,25 мм, реже наблюдаются плохо образованные кристаллы. В деформированном карбонате выделения бертьерита гранулированы, размер зерен от 0,02 до 0,08 мм. Цвет темный стально-серый, часто наблюдается бурая побежалость. Черта буро-серая. Блеск металлический. Хрупкий. Твердость 2—3. Плотность (вычисленная) 4,63 г/см<sup>3</sup>. В отраженном свете от серебристо-белого до коричнево-розового. Сильно анизотропен. Рентгенограмма бертьерита (табл. 1.3) соответствует эталонной. Имеющиеся дополнительные линии индицируются в предложенной Бюргером ячейке.

Химический состав, определенный микронзондовым анализом (табл. 1.4), хорошо пересчитывается на формулу бертьерита. Во всех анализах отмечен небольшой дефицит серы. Присутствуют примеси мышьяка, кобальта и никеля.

Бертьерит упоминается А. М. Маречевым и К. Н. Котовым в Комсомольском рудопоявлении (Полярный Урал). Достоверно описан О. А. Яковлевой (1988). Образует ксеноморфные,

Таблица 1.3

Расчет рентгенограммы бертьерита Коломенского месторождения (1) и эталонного (2)

1			2			1			2		
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
5	4,37		50	7,1	020	2	1,704		10	1,701	601,611
8	3,68		10	5,34	210	2	1,676		10	1,675	312,232
8	3,64		100	4,37	130	1	1,622	710	—	—	—
2	3,54	011, 230		3,68	310	1	1,593		20	1,593	720,332
8	3,38		5	—	040	2	1,568		10	1,561	412
3	3,19		30	3,39	140	1	1,544		5	1,542	281,422
10	3,02		40	3,20	121	1	1,534	641, 422	—	—	—
4	2,88		30	3,02	240	2	1,508		20	1,512	471,252
5	2,62		30	2,88	221, 400	2	—		10	1,457	—
5	2,54		80	2,63	331, 231	1	1,411	571	10	1,427	—
1	2,52	141	30	2,54	250	1	1,402	580, 1,10,0	10	1,406	—
1	2,32	331	30	—		2	1,378	452, 490	20	1,377	—
2	2,28		10	—		3	1,346	542, 760	10	1,347	—
2	2,22		10	2,28	401, 350	1	1,327	840, 751	10	1,313	—
4	2,18		40	2,23	510	2	1,300	680, 372	5	1,298	—
2	2,06		30	2,18	260	1	1,273	770, 4,10,0	5	1,272	—
4	2,01		30	2,05	431	2	1,254	642, 920	5	1,256	—
5	1,926		30	2,02	450	2	1,222	213, 382	20	1,226	—
4	1,886		30	1,918	441, 600	2	1,213	223, 652	10	1,202	—
2	1,808		10	1,888	521, 261	3	1,194	313, 732	5	1,189	—
3	1,788	202		1,804	531	2	1,183	233, 292	10	1,177	—
2	1,776	171, 080	40	—	361, 630	$a=11,45 \pm 0,06 \text{ \AA}$ $b=14,19 \pm 0,08 \text{ \AA}$ $c=3,772 \pm 0,005 \text{ \AA}$					
2	1,764			—		$a=11,46 \text{ \AA}$ $b=14,15 \text{ \AA}$ $c=3,77 \text{ \AA}$					

Химический состав бертьерита, мас. %

№ анализа	Fe	Sb	S	As	Co	Ni	Сумма
1*	12,90	57,34	29,13	0,67	0,08	0,14	100,26
2	12,72	57,07	29,56	0,69	0,05	0,13	100,31
3	13,04	57,22	29,65	0,72	0,04	0,15	100,82
4	12,88	57,42	28,83	0,67	0,08	0,15	100,01
5	12,76	57,54	28,73	0,51	0,08	0,15	99,78
6	13,22	55,7	29,4	1,50	—	—	99,82
7	12,2	55,9	29,6	0,36	—	—	99,10

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Fe}_{1,00}\text{Co}_{0,01}\text{Ni}_{0,01})_{1,02}(\text{Sb}_{2,03}\text{As}_{0,04})_{2,07}\text{S}_{3,92}$
2.  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Ni}_{0,01})_{0,99}(\text{Sb}_{2,01}\text{As}_{0,04})_{2,05}\text{S}_{3,96}$
3.  $(\text{Fe}_{1,00}\text{Ni}_{0,01})_{1,01}(\text{Sb}_{2,00}\text{As}_{0,04})_{2,04}\text{S}_{3,95}$
4.  $(\text{Fe}_{1,00}\text{Co}_{0,01}\text{Ni}_{0,01})_{1,02}(\text{Sb}_{2,04}\text{As}_{0,04})_{2,08}\text{S}_{3,90}$
5.  $(\text{Fe}_{0,99}\text{Co}_{0,01}\text{Ni}_{0,01})_{1,01}(\text{Sb}_{2,06}\text{As}_{0,03})_{2,09}\text{S}_{3,90}$
6.  $\text{Fe}_{1,01}(\text{Sb}_{1,96}\text{As}_{0,09})_{2,05}\text{S}_{3,94}$
7.  $\text{Fe}_{0,95}\text{Pb}_{0,02}(\text{Sb}_{2,00}\text{As}_{0,02})_{2,02}\text{S}_{4,01}$

\* 1 — 5 — Коломенское месторождение, 6, 7 — Комсомольское рудопроявление. В анализе 7 обнаружено 1,04 % Pb.

реже округлые, выделения размером от десятых долей до первых миллиметров в пирротине, сфалерите и кварце. Изредка встречаются скопления длиннопризматических мелких кристаллов (до 2—3 мкм). Ассоциирует с джемсонитом, антимонитом, гудмундитом, Fe-тетраэдритом и аргентотетраэдритом, сфалеритом и самородной сурьмой.

Повышенное содержание As отмечено в составе бертьерита, развивающегося по пирротину в ассоциации с джемсонитом и тетраэдритом, а Pb — в ассоциации с галенитом, буланжеритом и другими сульфоантимонитами.

## 1.2.5. Глаукоdot — (Co, Fe)AsS, ромб. с. (Glaucodot)

Глаукоdot указывается А. Г. Бетехтиным (19416) в кобальтовых рудах Покровского месторождения (Северный Урал) и Л. Н. Овчинниковым (1960) в магнетитовых рудах Восточной залежи Первого Северного рудника. В Покровском месторождении глаукоdot встречается в виде мелких включений в кобальтине, ассоциирующем с магнетитом, пиритом, линнеитом, халькопиритом и силикатами (гранатом, хлоритом, эпидотом, актинолитом). В отраженном свете на фоне розоватого кобаль-

тина выделяется более светлой окраской и отчетливой анизотропией. Микрохимическая реакция показала наличие кобальта (Бетехтин, 19416).

В Восточной залежи Первого Северного рудника глаукоdot установлен в выделениях неправильной формы до 0,6 мм среди гриналита и тыньита. В отраженном свете глаукоdot розовато-белый с отражательной способностью значительно более высокой, чем у пирротина; твердость минерала средняя (стальной иглой чертится при сильном нажиме), сильно анизотропен, двуотражение слабое, травится концентрированной азотной кислотой. Спектральным анализом определены кобальт и мышьяк (Овчинников, 1960). Требуется микросондового подтверждения.

### 1.2.6. Саффорит — $\text{CoAs}_2$ , монокл. с. (Safflorite)

Саффорит указывается А. М. Дымкиным (1962) в Южно-адаевском и Бенкалинском скарновых магнетитовых месторождениях в южной части главной рудной полосы Тургая. Встречен в пирротине в виде пластинок и зерен ромбовидной формы, замещающих пирротин и располагающихся большей частью не закономерно, иногда субпараллельно. Хорошо развиты только две грани минерала, другие срastаются с соседними зернами, образуя зубчатые очертания. Размер выделений саффорита до 0,03X0,005 мм, полисинтетически сдвойникованы. Наблюдается в ассоциации с раммельсбергитом, марказитом, пиритом, халькопиритом. Пластинчатые агрегаты саффорита замещают не только пирротин, но и возникшие по нему марказит и пирит. Халькопирит цементирует саффорит и раммельсбергит. Определен минераграфически. Требуется подтверждения.

### 1.2.7. Скуттерудит — $\text{CoAs}_3$ , куб. с. (Skutterudite)

Скуттерудит отмечен А. М. Дымкиным (1957) в Качкарском железорудном месторождении. Арсениды здесь выделяются в виде прожилков и неправильной формы обособлений, приуроченных к зоне гидротермально измененных известняков, замещенных магнетитом с вкрапленностью пирита и халькопирита. Скуттерудит образует самостоятельные прожилки до первых миллиметров в массе смальтина первой генерации, либо прожилки совместно со смальтином второй генерации и кальцитом. В первом случае в скуттерудитовых прожилках встречаются обломки смальтина (1—2 мм в длину); во втором — прожилки имеют сложную форму, часто ветвятся, образуя раздувы, пережимы, или быстро выклиниваются; зальбанды их обычно сложены скуттерудитом. Взаимоотношения скуттерудита со смальтином и кальцитом указывают на близкое или даже одновременное выделение его со смальтином второй

генерации и несколько более раннее — по отношению к кальциту, так как кальцит часто слагает центральные части прожилков.

Определен Т. И. Широбоковой и другими (1987) в халькопирите массивных руд Сафьяновского месторождения, в ассоциации с дискразитом и сфалеритом в виде микровключений: треугольной формы до 1—1,5 мкм. Подтвержден электронограммой и рентгенометрически. Основные линии: 5,8 (4); 4,1 (4); 3,36 (4); 2,61 (10); 2,20 (8); 1,84 (9); 1,616 (9).

### 1.2.8. Смальтин — $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_{3-x}$ , куб. с. (Smaltite)

Смальтин (шмальтин) определен в 1901 г. Е. С. Федоровым и В. В. Никитиным (1901) в Пестеревском руднике Богословского горного округа. А. М. Дымкин (1957, 1962) описал его в контактово-метасоматических месторождениях Тургая — Качарском и Елтай-1. В Пестеревском руднике смальтин встречен в узкой полосе (5 см) со слабовыраженным ленточным строением параллельно зальбандам, со светлыми с зеленоватым оттенком примазками в неровностях, состоящими, по мнению авторов, из арсенолита. Руда сложена тонкозернистым агрегатом смальтина с герсдорфитом и небольшими количествами хлоанита и лёллингита. Подтвержден химическим анализом.

Смальтин в Качкарском месторождении (Дымкин, 1957) в виде прожилков и неправильной формы обосблений отмечен в гидротермально измененных известняках, замещенных магнетитом. Он встречен в ассоциации с пиритом и халькопиритом, скуттерудитом и кальцитом. Образует «метаколлоидные» выделения двух генераций. Смальтин первой генерации имеет концентрически-зональное строение, образует радиально-шестоватые агрегаты, реже мелкозернистые участки без зональности. Местами кальцит сечет смальтин, иногда зонально замещает его. Смальтин второй генерации слагает совместно со скуттерудитом и кальцитом различно ориентированные прожилки, секущие смальтин первой генерации. В отраженном свете белый, изотропный, легко травится крепкой  $\text{HNO}_3$ .

На месторождении Елтай-1 (Дымкин, 1962) встречен в образованиях, аналогичных первой генерации этого минерала на Качкарском месторождении. Указываемый А. Л. Воробьевым (1929) смальтин из Ишкининского проявления в змеевиках в виде октаэдров в эритрине с 29,75 %  $\text{CoO}$  и 7,72 %  $\text{NiO}$ , скорее всего, является джулукулитом (Крутов, 1937).

Смальтин, по Д. Н. Литошко (устное сообщение), указывается А. Д. Машовцом и Е. Н. Волковым при описании руд Предгорного рудопроявления (Полярный Урал) без приведения диагностических признаков. Последующими детальными исследованиями Л. С. Шишаковой и О. А. Яковлевой не подтвержден.

### 1.2.9. Кобальтин — CoAsS, куб. с. (Cobaltine)

Определен Г. М. Мазаевым в 1934 г. в Покровском скарновом месторождении; изучался Г. А. Крутовым (1937) и А. П. Переляевым (1941). В настоящее время установлен в ряде месторождений: в дифференцированных диабазах, в скарновых, регенерированных колчеданных, медно-молибденовых, в зонах сульфидизации серпентинитов и кварцевых, в том числе, хрусталеносных жилах.

В дифференцированных силлах Пай-Хоя (Остащенко, 1979) кобальтин располагается по периферии шлиров халькопирита, пирротина, пентландита и силикатной массы в изометрических зернах и кристалликах до 75 мкм. Белый, изотропный. По составу относится в джулукулиту. Кристаллохимическая формула  $(\text{Co}_{0,63}\text{Ni}_{0,28}\text{Fe}_{0,12})_{1,03}\text{AsS}_{0,95}$ .

В контактово-метасоматических месторождениях установлен в Покровском, Первом Северном и Турьинских рудниках. Из Покровского рудника детально изучался Г. М. Мазаевым и описан Г. А. Крутовым (1937) и А. П. Переляевым (1941). По М. А. Карасику (1947), кобальтин присутствует среди гранат-магнетитового и эпидотового скарна в зоне сброса близ дайки диоритового порфирита, в виде мелких гнездообразных скоплений и прожилков мощностью до 10—15 см, а также жилок в смятых плейчатых магнетитах, выделений неправильной формы в эпидот-гранатовом скарне и в полостях до 30—40 см с актинолитом, пиритом, кварцем, магнетитом, кальцитом, хлоритом. Кобальтин образует крупнозернистый агрегат, друзы и кристаллы от 1 до 15 мм в виде кубов, октаэдров, комбинаций куба с октаэдром и пентагон-додекаэдром, с гранями {100}, {111}, {110}, {120}, {121}. Кристаллы зональные. Подтвержден микрохимически, рентгеноструктурно и двумя химическими анализами (табл. I.5 и I.6). Содержит включения глаукодота, магнетита, актинолита и эпидота. Г. М. Мазаев предположительно указывает кобальтин во Фроловском месторождении в мелкозернистом агрегате по трещинам в халькопирите. Установлен Н. А. Ярош во включениях по периферии зерен пирита из руд Первого Северного рудника (Овчинников, 1960).

Близ д. Ишкининой (Халиловский массив) кобальтин встречен Г. А. Крутовым (Крутов, Петрова, 1956) в сульфидизированных зонах в альпийских серпентинитах, превращенных в тальк-карбонатные породы с линзами пентландит-кубанит-магнетит-хромитового состава и линзами и гнездами кобальтовых минералов в брекчированных аподунитовых серпентинитах близ контакта с силурийскими сланцами. Кобальтин — преобладающий минерал в ассоциации с пиритом, халькопиритом и сфалеритом. В полировках — идиоморфный белый, с розовым оттенком и включениями хромита и никелина, изотропный. По составу никелистый (см. табл. I.5);  $a_0 = 5,58 \pm 0,01 \text{ \AA}$ . В хлоритовых

Таблица I.5

## Химический состав кобальтина, мас. %

№ анализа	Co	Ni	Fe	Cu	As	S	Sb	Нераств. остаток	Сумма
1*	30,34	1,66	5,31	Сл.	41,53	20,25	—	0,05	99,14
2	30,34	0,88	4,34	—	41,79	18,05	—	4,05	99,45
3	28,88	5,32	3,26	0,01	43,75	18,81	—	2,52	99,52
4	28,55	2,32	2,49	0,56	41,71	21,76	0,39	—	97,78
5	24,55	6,02	4,01	0,00	38,10	21,06	6,14	—	99,88
6	25,79	5,04	2,43	0,00	38,36	19,84	8,87	—	100,33
7	29,14	3,01	3,62	—	44,96	19,36	—	—	100,04
8	29,56	2,27	3,85	—	42,89	20,53	—	—	99,10
9	26,44	4,26	4,52	—	42,89	20,19	—	—	98,30
10	25,83	2,93	4,99	—	42,18	21,40	—	—	97,33

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Co}_{0,84}\text{Fe}_{0,16}\text{Ni}_{0,05})_{1,05}\text{As}_{0,91}\text{S}_{1,04}$
2.  $(\text{Co}_{0,89}\text{Fe}_{0,13}\text{Ni}_{0,03})_{1,05}\text{As}_{0,97}\text{S}_{0,98}$
3.  $(\text{Co}_{0,81}\text{Ni}_{0,15}\text{Fe}_{0,10})_{1,06}\text{As}_{0,97}\text{S}_{0,97}$
4.  $(\text{Co}_{0,80}\text{Ni}_{0,07}\text{Fe}_{0,07}\text{Cu}_{0,02})_{0,96}(\text{As}_{0,92}\text{Sb}_{0,01})_{0,93}\text{S}_{1,12}$
5.  $(\text{Co}_{0,71}\text{Ni}_{0,17}\text{Fe}_{0,12})_{1,00}(\text{As}_{0,86}\text{Sb}_{0,03})_{0,89}\text{S}_{1,11}$
6.  $(\text{Co}_{0,74}\text{Ni}_{0,18}\text{Fe}_{0,07})_{0,96}(\text{As}_{0,87}\text{Sb}_{0,12})_{0,99}\text{S}_{1,05}$
7.  $(\text{Co}_{0,82}\text{Fe}_{0,11}\text{Ni}_{0,09})_{1,02}\text{As}_{0,98}\text{S}_{1,00}$
8.  $(\text{Co}_{0,83}\text{Fe}_{0,11}\text{Ni}_{0,06})_{1,00}\text{As}_{0,94}\text{S}_{1,05}$
9.  $(\text{Co}_{0,74}\text{Fe}_{0,14}\text{Ni}_{0,12})_{1,00}\text{As}_{0,98}\text{S}_{1,08}$
10.  $(\text{Co}_{0,75}\text{Fe}_{0,18}\text{Ni}_{0,08})_{0,96}\text{As}_{0,93}\text{S}_{1,13}$

\* Месторождения: 1, 2 — Покровское (Переляев, 1941). 3 — Ишкининское (Переляев, 1941), 4 — 6 — Харбейское (данные О. А. Яковлевой), 7 — 10 — хрусталеносные кварцевые жилы Приполярного Урала (данные Е. В. Буракова).

Таблица I.6

## Расчет рентгенограммы кобальтина из хрусталеносных жил (1) и эталонного (2)

1		2 (Михеев, 1957)		1		2 (Михеев, 1957)	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
1	3,26	2	3,249	3	1,874	3	1,852
3	3,08	3	3,090			2	1,704
5	2,82	2	2,794	9	1,691	9	1,680
10	2,52	10	2,495	2	1,656	2	1,642
9	2,30	10	2,278	2	1,617	3	1,609
1	2,19	2	2,178	4	1,554	8	1,543
4	1,988	6	1,969	6	1,497	9	1,489

1		2 (Михеев, 1957)		1		2 (Михеев, 1957)	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
2	1,400	4	1,394	3	1,144	6	1,139
		2	1,371	1	1,126	2	1,123
1	1,349	2	1,352			2	1,115
		3	1,341			2	1,093
1	1,319	0,5	1,310	1	1,088	2	1,087
2	1,282	2	1,279	9	1,076	10	1,074
3	1,254	5	1,246	8	1,037	9	1,035
5	1,223	8	1,219	6	1,020	8	1,017
3	1,195	5	1,189	2	0,999		
		3	1,184	9	0,987		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-70;  $\text{FeK}_{\alpha+\beta}$ -излучение. Аналитик С. Г. Сустанов.

жилах, секущих пирротиновые линзы, образует идиоморфные октаэдры вместе с арсенопиритом, пиритом и магнетитом.

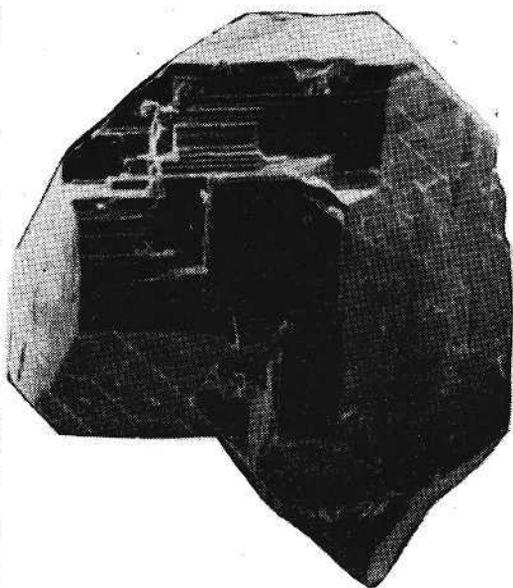
В колчеданных месторождениях установлен в Пышминско-Ключевском, Дергамышском и Озерном. В Пышминско-Ключевском регенерированном месторождении — редкий минерал отдельных жил на границе халькопирита с силикатами в изометрических зернах до 0,2 мм. Определен минераграфически и микрохимически (Малахов и др., 1941).

В Дергамышском месторождении, находящемся в Башкирии, установлен М. И. Исмагиловым (1962) в пиритовых рудах и в пирротине прожилково-гнездовых скоплений в оталькованных серпентинитах лежачего бока. Образует мелкие идиоморфные кубические включения, реже скопления в пирите, марказите, халькопирите и особенно пирротине, где наблюдаются неправильные зерна до 0,05 мм. В пирротине ассоциирует с магнетитом, халькопиротином, ильменитом и кубанитом. Определен по розовому цвету и минераграфически. В Озерном месторождении (Исмагилов и др., 1979) установлен в халькопирит-пирротиновых рудах метасоматитов лежачего бока в пирит-халькопирит-сидеритовых жилах. В скоплениях мелкозернистого пирита образует червеобразные и брусковидные зерна.

На Харбейском молибден-вольфрамовом месторождении кобальтин развивается по пирротину, образуя вместе с ульманнитом и полидимитом каемки шириной до 0,4 мм, а также в виде изолированных идиоморфных кристаллов размером 0,05—0,1 мм, в массе жильного кварца (Яковлева, Котов, 1986). Кроме кобальтина установлен никелистый кобальтин.

В слюдисто-карбонат-кварцевых метасоматитах Поповского разлома на Северном Урале кобальтин, определенный микро-

Рис. 1.4. Кристалл кобальтина из хрусталеносных жил Приполярного Урала.  
Материалы Е. В. Бурлакова.



химически (44 г/т), содержится в октаэдрах, кубооктаэдрах и пентагон-додокаэдрах (Алексеев, Попова, 1986). Установлен Д. Н. Литошко с арсенопиритом и сульфосолями кобальта в рассеянной вкрапленности в фельзитовых брекчиях по р. Гэна-Хадата на Полярном Урале.

Кобальтин отмечен Е. В. Бурлаковым в 1986 г. в кварцевых жилах Приполярного Урала, в протолочках гидротермально измененных пород вблизи хрусталеконтролирующего нарушения, в жильном кварце, а позднее — в составе гнездового парагенезиса. Образует кристаллы октаэдрического, кубооктаэдрического и тетраэдрического габитуса размером 0,1—0,4 мм, редко 0,6 мм (рис. 1.4). Цвет черный, серовато-черный до латунно-серого со своеобразным розоватым оттенком. На сколах отмечается спайность по {100}. На поверхности граней четкие, хорошо выраженные формы роста. Образует ростки с халькопиритом, сфалеритом и хлоритом, содержит включения мелких пластинчатых кристаллов ильменита размером  $3 \times 10$  мкм. По составу (табл. 1.5) отвечает никельсодержащему кобальтину.

Установлен Д. Н. Литошко в кварц-рутиловых жилах в амфиболитах на р. Хадата (Полярный Урал) в виде кристаллов кубического габитуса размером до 1,3 мм. Встречен в одном из проявлений блеклых руд и сфалерита в северо-восточном крыле Пайхойского антиклинория в виде мелких неправильных или идиоморфных кристаллов до 0,1 мм, вкрапленных в блеклых рудах, пирротине или халькопирите (Юшкин, 1980). Кобальтин из блеклых руд имеет состав  $(\text{Co}_{0,72}\text{Ni}_{0,27}\text{Cu}_{0,04}\text{Fe}_{0,03}\text{Zn}_{0,01})(\text{As}_{0,90}\text{Sb}_{0,04})_{0,94}\text{S}_{0,99}$ .

Никелистый кобальтин — джулукулит, с 5,3 % Ni, описан Г. А. Крутовым и Е. П. Петровой (1956) из Ишкининского проявления в Халиловском массиве, Б. А. Остащенко (1979) — в дифференцированных силлах Пай-Хоя, Н. П. Юшкиным (1980) — в проявлении блеклых руд Полярного Урала и О. А. Яковлевой и К. Н. Котовым (1986) — в Харбейском вольфрам-молибдено-

вом месторождении (табл. I.5) и О. А. Яковлевой в Падьягинском месторождении медистых песчаников.

Сурьмянистый джулукулит с 6,14—8,8 % Sb установлен О. А. Яковлевой в Харбейском месторождении.

### 1.3. АРСЕНИДЫ И СТИБНИДЫ НИКЕЛЯ

На Урале известны маухерит, никелин, раммельсберgit, хлоантит, герсдорфит, брейтгауптит, ульманнит.

#### 1.3.1. Маухерит — $Ni_{11}As_8$ , тетр. с. (Maucherite)

Диагностирован А. Д. Генкиным в 1963 г. в серпентинитах Кемпирская (Павлов и др., 1968), где наблюдался в зонах смятия сульфидоносных дунитов и оливинитов юго-восточной части массива в агрегатах менее 0,01 мм, выполняющих тонкие трещинки. Приведена полная дебаеграмма. Наиболее интенсивные линии: 2,71 (10); 2,37 (5); 2,02 (10); 1,908 (6); 1,716 (9); 1,454 (5); 1,214 (6); 1,110 (5).

Нами маухерит обнаружен в хлорит-диопсидовом родингите с вкрапленностью медистого золота (образец В. А. Шалагинова) из массива гипербазитов в окрестностях г. Миасса (Южный Урал). В породе минерал ассоциирует с арсенидом никеля, близким по составу к никелину, а также образует сростки с медистым золотом эквипомного состава (AuCu). Представлен изометричными или удлиненными кристаллами размером 0,05—0,1 мм, рассеянными в мелкозернистой хлорит-диопсидовой породе. Цвет его беловато-серый, оптическая анизотропия слабая;

Таблица I.7

Химический состав маухерита, мас. %

№ анализа	Ni	Co	Cu	Fe	As	S	Сумма
1	47,50	2,14	0,0	0,17	48,31	0,04	98,16
2	47,91	2,19	0,0	0,16	48,79	0,02	99,07
3	47,20	2,26	0,0	0,47	47,50	0,05	97,48
4	47,54	2,28	0,0	0,37	48,23	0,05	98,47

Кристаллохимические формулы

1.  $(Ni_{10,84}Fe_{0,02}Cu_{0,02})_{10,88}(As_{8,07}S_{0,05})_{8,12}$
2.  $(Ni_{10,84}Fe_{0,03}Cu_{0,04})_{10,91}(As_{8,08}S_{0,01})_{8,09}$
3.  $(Ni_{10,81}Fe_{0,04}Cu_{0,03})_{10,88}(As_{8,10}S_{0,02})_{8,12}$
4.  $(Ni_{10,84}Fe_{0,04}Cu_{0,04})_{10,92}(As_{8,07}S_{0,01})_{8,08}$

двуотражение не наблюдается. Химический состав, по данным рентгеноспектрального микроанализа, пересчитывается на формулу со стехиометрическими соотношениями с некоторым преобладанием (0,1—0,2 форм. ед.) мышьяка над металлами (табл. I.7).

Маухерит установлен О. А. Яковлевой в зоне экзоконтакта пирротин-халькопиритовых руд Нырдовоменшорского проявления с гипербазитами массива Рай-Из. Представлен изометричными, реже игольчатыми выделениями (размером до 5 мкм), развивающимися в виде прожилков между зернами хромшпинелидов. Образует субграфические сростания с миллеритом. Химический состав, мас. %: 50,0 Ni, 0,05 Fe, 47,6 As, 0,24 Sb, 0,28 S. Сумма 98,17.

### I.3.2. Никелин — NiAs, гекс. с. (Nickeline)

Указывается Н. И. Кураевым (1937) в тальковых породах Козьмо-Демьяновского месторождения близ г. Миасса. Достоверно установлен С. С. Боришанской в карабашских родингитах. Известен в диабазовых силлах, родингитах, сульфидизированных серпентинитах, листовенитах и сульфидных рудах близ серпентинитов. В диабазовых силлах Пай-Хоя установлен Б. А. Остащенко (1979), в средне- и крупнокристаллических диабазах сложнодифференцированных тел и в кварц-карбонат-сульфидных прожилках, в которых обычно располагается в зальбандовых частях. Выделения округлой, реже угловатой неправильной формы, до 175 мкм, ассоциирующие с герсдорфитом, пирротином, халькопиритом и пентландитом. Никелин отличается розовым цветом с характерным кремевым оттенком и сильной анизотропией. Микротвердость 420,4—487,6 кг/мм<sup>2</sup>. Состав, мас. %: Ni 43,50; As 56,50. Кристаллохимическая формула Ni<sub>0,98</sub>As<sub>1,00</sub>. Рентгенограмма соответствует эталонной. В родингитах Золотой Горы у Карабаша и в серпентинитах находится в виде мелких пластинчатых зерен. Определен С. С. Боришанской минераграфически и микрохимически (Игумнов, 1941б).

Никелин обнаружен В. В. Мурзиным в ассоциации с кобальтсодержащим маухеритом и тетрааурикупридом в хлорит-гранат-пироксеновых родингитах в окрестностях г. Миасса. Изометричные кристаллы размером 0,05—0,1 мм образуют вкрапленность в хлорите и диопсиде. Встречены сростания с тетрааурикупридом (AuCu). Цвет минерала в отраженном свете розовато-серый, анизотропия обнаруживается, но неотчетливо.

Химический состав никелина, по данным рентгеноспектрального микроанализа, приведен в табл. I.8. Характерные примеси — кобальт (0,64—0,87 %) и железо (0,43—0,68 %). Фиксируется небольшое превышение металлов над мышьяком (0,02—0,03 форм. ед.).

Таблица 18

## Химический состав никелина из хлорит-гранат-пироксеновой породы, мас. %

№ анализа	Ni	Co	Fe	As	Сумма
1	43,82	0,78	0,57	54,79	99,96
2	43,44	0,83	0,56	54,38	99,21
3	43,80	0,86	0,43	54,09	99,18
4	43,57	0,64	0,68	55,14	100,03

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Ni_{0,99}Co_{0,02}Fe_{0,01})_{1,02}As_{0,98}$
2.  $(Ni_{0,99}Co_{0,02}Fe_{0,01})_{1,02}As_{0,98}$
3.  $(Ni_{1,00}Co_{0,02}Fe_{0,01})_{1,03}As_{0,97}$
4.  $(Ni_{0,99}Co_{0,01}Fe_{0,02})_{1,02}As_{0,98}$

Примечание. Содержание серы ниже чувствительности микроанализа (0,03 %).

Таблица 1.9

## Химический состав герсдорфитов, мас. %

№ анализа	Ni	Co	Fe	Zn	Cu	As	Sb	S	Сумма
1*	30,13	1,80	2,13	0,20	—	46,07	0,47	19,20	100,00
2	30,85	1,87	1,76	Не обн.	—	45,15	0,15	19,80	99,58
3	33,85	0,94	0,13	—	0,10	45,69	—	19,82	100,53
4	15,1	17,1	3,73	—	0,07	43,8	—	19,7	99,5
5	15,0	16,5	4,98	—	0,09	43,9	—	19,9	100,37

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Ni_{0,85}Co_{0,05}Fe_{0,06}Zn_{0,01})_{0,97}As_{1,02}Sb_{0,01}S_{1,00}$
2.  $(Ni_{0,87}Co_{0,05}Fe_{0,05})_{0,97}As_{1,00}S_{1,03}$
3.  $(Ni_{0,95}Co_{0,03}Fe_{0,004})_{1,00}As_{1,00}S_{1,02}$
4.  $(Ni_{0,43}Co_{0,48}Fe_{0,11})_{1,02}As_{0,97}S_{1,02}$
5.  $(Ni_{0,42}Co_{0,46}Fe_{0,15})_{1,03}As_{0,96}S_{1,02}$

\* Месторождения: 1 — Верхнепышминское (Айзикович и др., 1974), 2 — Астафьевское (Айзикович и др., 1974), 3 — 5 — Падыгинское (Тихомирова и др., 1989).

В сульфидизированных серпентинитах близ д. Ишкинино Халиловского района указывается в виде мелких ангдральных включений в периферических частях кристаллов кобальтина (Крутов, Петрова, 1956). Определен минераграфически. Обнаружен М. И. Исмагиловым (1962) в рудах колчеданного медно-кобальтового месторождения Дергамыш, залегающего в серпентинитах Байгускарковского ультраосновного массива на Южном Урале. Встречается в изометричных радиально-лучистых агрегатах до 0,08 мм. Определен минераграфически. В отраженном свете желтовато-розовый с кремовым оттенком, анизотропен, двуотражение только в иммерсии. Анизотропия от светло-коричневого до синевато-зеленого. Твердость минерала меньше, чем у пирита и кобальтина. Требуется подтверждения.

В гидротермалитах указывается в листвёнитах, доломитовых жилах, тальковых сланцах, кварцевых жилах. В отвалах Козьмо-Демьяновских месторождений в Мулдакаевском участке Учалинского района наблюдался Н. И. Кураевым (1937) в отвалах талькового и золоторудного месторождения в тальк-серпентитовых сланцах с пластинками мелкого светлого минерала медно-красного цвета. «По цвету и отсутствию окристаллизованности он походит на купферникель или красный никелевый колчедан (NiAs)» (Кураев, 1937, с. 5).

В Березовском месторождении найден в красичной жиле шахты № 1. В образце, переданном Ю. С. Кобяшевым в отдел минералогии Уральского геологического музея, никелин присутствует в виде округлых выделений («почек») до 3 мм в диаметре в доломите, с иголками миллерита, герсдорфитом и акантитом (Чесноков и др., 1975). Почки миллерита сложены тонкозернистым агрегатом с очень сложными границами зерен и обильными полисинтетическими двойниками. Наблюдалось нарастание на никелин мелких иголок миллерита. В изломе никелин красноватый, в отраженном свете под микроскопом розово-кремовый, двуотражение слабое, оптическая анизотропия сильная.

Спектральным анализом установлены Ni и As как главные элементы, а также примеси, мас. %: Sb — более 1,0; Ag 0,3; Fe 0,05; Cu, V, Pb 0,02; Co 0,007; Bi 0,003. Главные линии на рентгенограмме: 2,65; 1,965; 1,793; 1,484; 1,325; 1,145; 1,036.

Никелин отмечен С. Н. Вахрушевым в золотополиметаллических рудах Нияюсского рудопроявления (Полярный Урал) в ассоциации с халькопиритом, блеклыми рудами, сфалеритом, кобальтином, галенитом, сильванитом.

Единичные зерна никелина отмечены Д. Н. Литошко в пирротин-халькопиритовых с теллуридами рудах южного фланга Харбейского вольфрам-медно-молибденового месторождения. Диагностирован по внешним признакам и рентгенограмме.

### 1.3.3. Раммельсбергит — $\text{NiAs}_2$ , ромб. с. (Rammelsbergite)

Описан А. М. Дымкиным (1962) из Южноадаевского и Бенкалинского скарновых месторождений магнетита. Встречен в пирротине в виде пластинок и зерен ромбовидной формы, замещающих пирротин и располагающихся большей частью незаконмерно, иногда субпараллельно. Зерна  $0,03 \times 0,005$  мм, хорошо развиты только две грани, иногда полисинтетически сдвойникован перпендикулярно удлинению. Наблюдается в ассоциации с сафлоритом, марказитом, пиритом, халькопиритом. Пластинчатые агрегаты раммельсбергита замещают пирротин, апирротиновые марказит и пирит. В полировках раммельсбергит сильно анизотропный, двуотражение отчетливое, от светло-голубого до розовато-желтого.

### 1.3.4. Хлоантит — $(\text{Ni}, \text{Co})\text{As}_{3-x}$ , куб. с. (Chloanthite)

Хлоантит указывается Е. С. Федоровым и В. В. Никитиным (1901) в Пестеревском руднике Турьинских месторождений в тонкозернистой смеси с герсдорфитом, смальтином и лёллингитом. Встречен в узкой полоске (5 см) с ленточным строением параллельно зальбандам. Указывается Т. А. Смирновой (1970) в серпентинитах Кемпирсая.

### 1.3.5. Герсдорфит — $\text{NiAsS}$ , куб. с. (Gersdorffite)

Герсдорфит обнаружен В. В. Никитиным (Федоров, Никитин, 1901) в Пестеревском месторождении, затем описан П. И. Кутюхиным (1941) из отработанного Верхнепышминского золоторудного месторождения, Г. Н. Андрющенко (1957) и В. И. Кайновым (1971, 1975) — из хрусталеносных жил Южного Урала. Сводка по герсдорфитам ряда уральских месторождений дана А. Н. Айзикович и другими (1974). В дифференцированных диабазовых силлах Пай-Хоя установлен Б. А. Осташенко (1979). Образует каемки до 40 мкм по никелину. Кристаллохимическая формула по данным микронзондового анализа  $(\text{Ni}_{0,48}\text{Co}_{0,31}\text{Fe}_{0,23})_{1,02}\text{S}_{0,89}\text{As}$ , т. е. это кобальтистый герсдорфит. В скарнах Пестеревского рудника (Федоров, Никитин, 1901) тонкозернистые агрегаты герсдорфита, смальтина, хлоантита и лёллингита в виде прожилков мощностью до 5 см залегают среди авгит-гранатовых меденосных скарнов. Диагностические признаки не приводятся.

В Верхнепышминском месторождении (8 км к северо-востоку от Березовского) выделения герсдорфита наблюдались в доломит-кварцевых жилах, среди серпентинизированных и лиственизированных ультрабазитов (Кутюхин, 1941; Айзикович и др., 1974; Грицаенко и др., 1979). Характерна приуроченность герсдорфита к границам зерен кварца и доломита, к трещинам спайности в самом доломите (рис. 1.5, 1.6, 1.7).

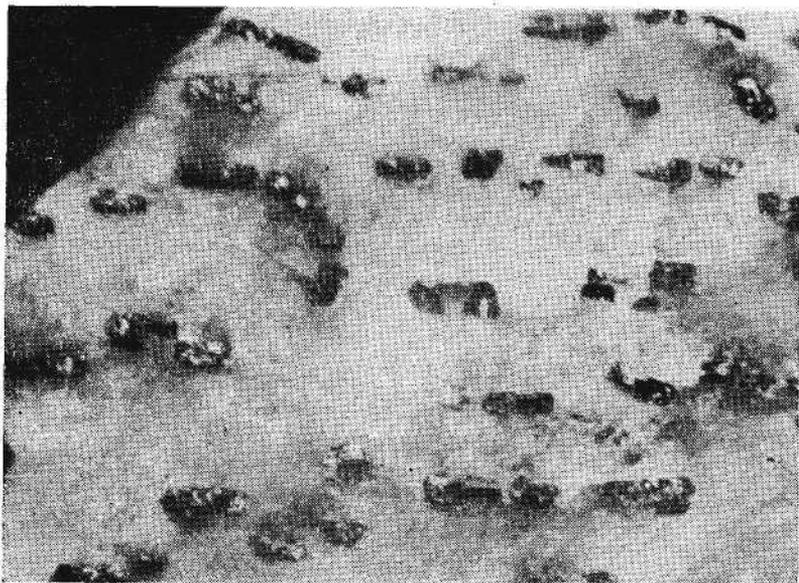


Рис. 1.5. Выделение герсдорфита по слайности в доломите.  $\times 15$ .

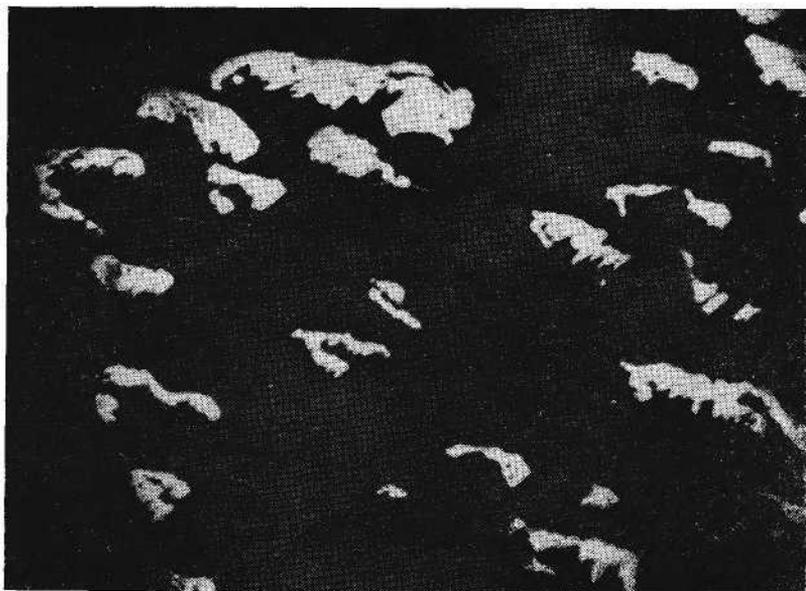


Рис. 1.6. Герсдорфит (светлое) в доломите. Анилиф.  $\times 30$ .

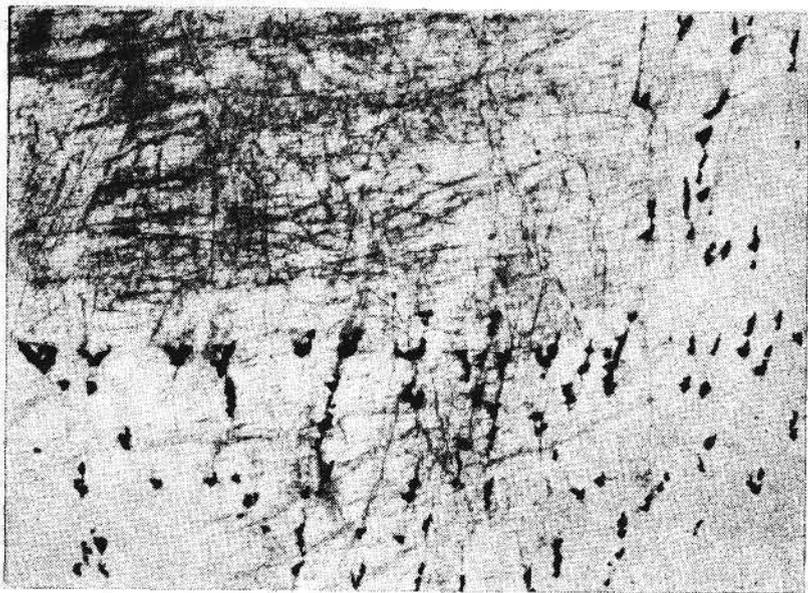


Рис. 1.7. Герсдорфит (черное) в доломите. Приполированный образец.  $\times 10$

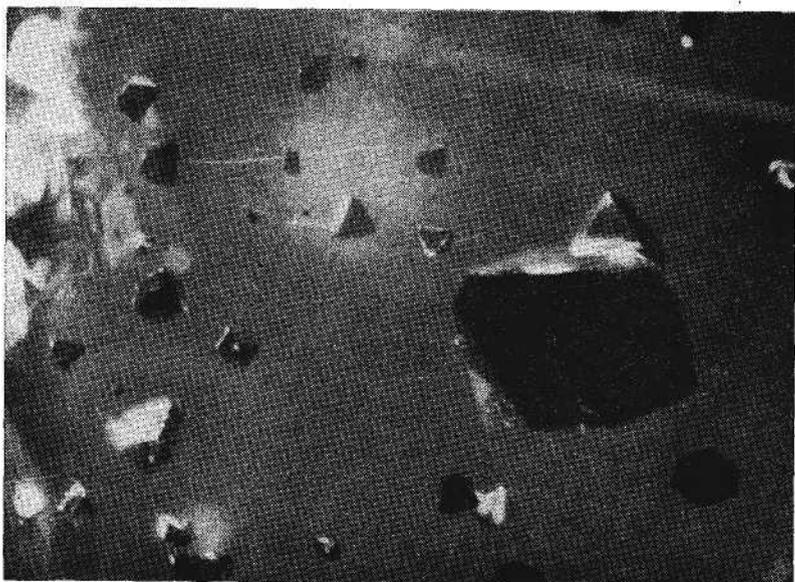


Рис. 1.8. Включения кристаллов герсдорфита в горном хрустале.  $\times 10$ .

Герсдорфит образует в анкерите равномерно распределенную цепь ориентированных выделений, по форме похожих на ихтиоглипты кварца в пегматитах, размером 1—3 мм. Мелкие призматические кристаллики хорошо огранены. В доломитовых жилах шахты № 1 мономинеральные выделения свинцово-серого герсдорфита в поперечнике до 5 см (Чесноков и др., 1975). Здесь он тесно ассоциирует с халькопиритом, галенитом, миллеритом, полидимитом, виоларитом, акантитом и золотом. Пирит, тетраэдрит и сфалерит пространственно разобщены с герсдорфитом. По составу (табл. 1.9) близок к теоретическому. Присутствие небольшого количества цинка, вероятно, следует отнести за счет механической примеси сфалерита. Кристаллохимическая формула  $Ni_{0,85}Co_{0,05}Fe_{0,06}[As_{1,02}Sb_{0,01}]S$ .

В качестве микропримесей установлены, мас. %: медь — 0,0 *n*, серебро 0, *n*. Дебаграмма герсдорфита приведена в табл. 1.10.

Параметр элементарной ячейки  $5,687 \pm 0,005 \text{ \AA}$ , плотность  $6,07 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$ , микротвердость  $516 \text{ кг/мм}^2$  при нагрузке 100 г. Вторичные минералы, тонкой корочкой покрывающие герсдорфит в зоне окисления, представлены анабергитом и герстлиитом (Ай-зикович и др., 1974).

В Астафьевских кварцевых жилах, залегающих в измененных туфогенных и эффузивных породах среднего и кислого состава, герсдорфит установлен Г. Н. Андрющенко (1957) в виде включений в кристаллах горного хрусталя (рис. 1.8), жильном кварце, а также околожилных аргиллизированных и окварцованных карбонат-альбитовых породах. Наиболее распространены включения в кристаллах кварца в виде кристалликов размером 0,05—5,0 мм. Эти включения группируются слоями (Кайнов, 1971, 1975), параллельными граням кристалла кварца и обычно имеют грани октаэдра, пентагонального додекаэдра и куба (рис. 1.9), часто с секториальным строением (рис. 1.10). Совместно с герсдорфитом наблюдаются миллерит и виоларит. Плотность  $7,11 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$ . Показатели отражения (рис. 1.11) составляют (*R*, %;  $\lambda$ , нм): 49,2 (440); 48,4 (460); 47,5 (480); 46,7 (500); 46,0 (520); 45,5 (540); 45,2 (560); 45,0 (580); 45,0 (600); 45,2 (620); 45,6 (640); 46,1 (660).

Герсдорфит и минерал типа герсдорфит-кобальтин установлен в Падьягинском месторождении медистых песчаников (Полярный Урал) в виде зерен неправильной и гипидиоморфнозернистой формы размером 0,01—0,29 мм, образующих тесные сростания с борнитом, блеклыми рудами (табл. 1.9, ан. 3—5), иногда включенными в борнит (Тихомирова и др., 1989). В незначительных количествах установлен в полиметаллически-колчеданных рудах проявления Колибри в сростании с ульманнитом и в рудопроявлении Орангское-2 в тесной ассоциации с миллеритом. В Лекунтальбейском молибден-медноколчеданном месторождении установлен герсдорфит железистый.

Таблица I.10

## Расчет рентгенограммы герсдорфита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
1	4,02	110	2	1,420	400
1	3,30	111	3	1,339	411
6	2,85	200	1p	1,306	331
7	2,55	210	4	1,271	420
6	2,32	211	7	1,240	421
4	2,010	220	3	1,215	332
4	1,891	221	5	1,161	422
2ш	1,802	310	3	1,116	510
10	1,715	311	10	1,094	511;333
3	1,636	222	9—10	1,055	520;432
7	1,576	320	9	1,037	521
8	1,516	321	10ш	1,003	440

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм; Fe-излучение.

Таблица I.11

## Расчет рентгенограммы брейтгауптита из хрусталеносных жил Приполярного Урала (1) и эталонного (2)

1			2 (Михеев, 1957)		
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>I'</i>	<i>d</i> , Å
4	(3,14)		—	0,5	3,12
10	2,85	101	10	5,0	2,840
1	2,57	002	—	0,2	2,56
3	(2,27)		—	0,3	2,26
3	(2,17)		—	0,3	2,17
9	2,05	102	9	2,0	2,052
9	1,970	110	9	2,0	1,959
1	(1,783)				
1	(1,690)				
7	1,618	201	4	1,0	1,616
4	1,562	112	2	0,3	1,561
5	1,530	103	4	1,0	1,533
7	1,421	202	3	1,0	1,415
2	(1,377)				
2	1,285	210	1	0,2	1,286
2	(1,270)				
8	1,250	211	3	0,5	1,248
4	1,208	203	2	0,2	1,206
2	(1,188)				
8	1,153	212	2	0,3	1,149
6	(1,137)	300	2	0,2	1,138
1	(1,086)				
10	1,077	114	3	0,3	1,076
3	1,040	302			
9	1,0303	213	2	0,3	1,028
10	0,9845	220	3	0,2	0,982

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм; FeK<sub>α+β</sub>-излучение. Поправки введены по снимку в смеси с Ge.

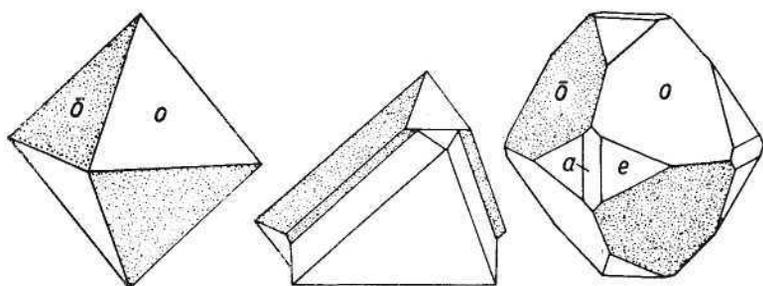


Рис. I.9. Кристаллы герцорфита из Астафьевского месторождения.  
 $a$   $\{100\}$ ,  $o$   $\{111\}$ ,  $\bar{o}$   $\{1\bar{1}1\}$ ,  $e$   $\{210\}$ . Средний кристалл — двойниковое срастание по  $\{111\}$ . Материалы В. И. Кайнова

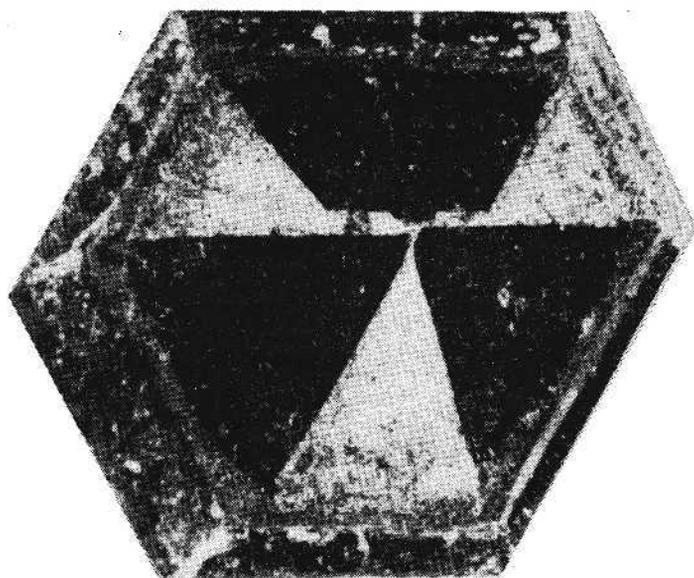


Рис. I.10. Секториальное строение кристаллов герцорфита, протравленных  $\text{HNO}_3$  с пирамидами нарастания граней кубических тетраэдров  $o\{111\}$  и  $\bar{o}\{1\bar{1}1\}$ . Астафьевское месторождение. Полированный шлиф. Материалы В. И. Кайнова.

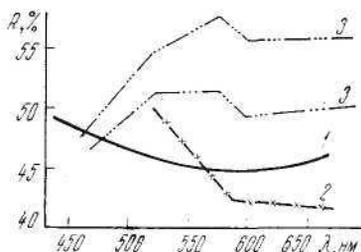


Рис. I.11. Кривые дисперсии показателей отражения герцорфита.

1 — уральские месторождения, 2 — по данным П. Рамдора, 3 — по данным Грея и Миллмана.

### 1.3.6. Брейтгауптит — NiSb, гекс. с. (Breithauptite)

Брейтгауптит определен М. П. Ложечкиным (1935) в родингитах Карабашского месторождения медистого золота в крайне редких мелких зернах с аргентитом и неопределенным минералом платиновой группы. Подтвержден С. С. Боришанской минералогически и микрохимическими реакциями на никель и сурьму (Бетехтин, 1941а). Вторая находка брейтгауптита — в хрусталеносной кварцевой жиле одного из месторождений горного хрусталя восточного склона Приполярного Урала. В составе гнездового выполнения хрусталеносной полости были встречены «шаровидный» и таблитчатый апатит, хлорит, титанит, ильменит, халькопирит, пирротин, галенит, альбит, адуляр и кальцит. В центральном занорыше найдены хорошо образованные кристаллы галенита кубического габитуса, нередко футлярообразной формы, с октаэдрической отдельностью, обусловленной повышенным содержанием висмута. В ассоциации с галенитом отмечались халькопирит, пирит и брейтгауптит в тесном сростании с халькопиритом. Брейтгауптит образует изометричные, хорошо ограненные кристаллы и сростки размером 0,1 — 0,4 мм. Часто наблюдаемая симметрия кажется близкой к тригональной. Цвет в свежем изломе медно-красный, с ясным фиолетовым оттенком. На гранях кристаллов окраска более темная. Черта красно-коричневая. Блеск металлический. Излом неровный, местами полураковистый; хрупок. Твердость 5,5. Плотность 8,67 г/см<sup>3</sup>. В отраженном свете розовый. Отражательная способность выше, чем у галенита. Сильно анизотропен. Хороший проводник электричества. Рентгенограмма брейтгауптита (табл. 1.11) хорошо соответствует эталонной. Параметры элементарной ячейки:  $a_0 = 3,938 \pm 0,001$ ,  $c_0 = 5,146 \pm 0,001$  Å,  $V = 69,112$  Å<sup>3</sup>. Рентгеноспектральным микроанализом в брейтгауптите установлены, мас. %: Ni 31,08; Co 0,61; Fe 0,13; Cu 0,06; Sb 60,10; As 0,45; Bi 4,14; S 1,04; сумма 97,61. Кристаллохимическая формула  $(\text{Ni}_{0,97}\text{Co}_{0,02})_{0,99}(\text{Sb}_{0,90}\text{Bi}_{0,04}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,06})_{1,01}$ .

Обнаружен в сурьмяно-сульфидных рудах Комсомольского рудопроявления, где образует мелкие игольчатые кристаллы, вытянутые по оси *c*, расположенные на границе с пирротинном. Образует сростания с ауристибитом, реже с ульманнитом. Химический состав, мас. %: Ni 32,7; Co 0,03; Fe 0,17; Sb 65,5; S 0,05; сумма 98,45.

### 1.3.7. Ульманнит — NiSbS, куб. с. (Ulmannite)

Установлен В. И. Силаевым в 1978 г. на Харбейском вольфрам-медно-молибденовом месторождении в виде каем по пирротину, представлен собственно ульманнитом и Со-ульманнитом. Более детальное исследование этих образцов ульманнита про-

## Химический состав минералов группы ульманнита и кобальтина, мас. %

№ анализа	Ni	Co	Fe	As	Sb	Bi	S	Сумма
1	25,33	1,25	0,11	0,15	56,50	1,14	15,22	99,70
2	20,19	6,65	0,15	0,15	56,46	0,34	16,12	100,06

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Ni}_{0,92}\text{Co}_{0,05})_{0,97}(\text{Sb}_{0,99}\text{Bi}_{0,01})_{1,00}\text{S}_{1,02}$
2.  $(\text{Ni}_{0,72}\text{Co}_{0,24}\text{Fe}_{0,01})_{0,97}\text{Sb}_{0,97}\text{S}_{1,06}$

ведены О. А. Яковлевой (Котов, Яковлева, 1986). Ею установлено, что ульманнит развивается в виде каем зонального строения толщиной до 10 мкм вокруг более ранних пирротина, пирита, халькопирита, которые, в свою очередь, обрастают каймами кобальтина шириной до 5 мкм. Выделены две разновидности ульманнита: собственно ульманнит (табл. 1.12, ан. 1) и кобальт-таульманнит (табл. 1.12, ан. 2), развивающиеся в виде каем зонального строения толщиной до 10 мкм вокруг более ранних пирротина, пирита, халькопирита (рис. 1.12) и обрастающие кобальтиновыми каймами до 5 мкм.

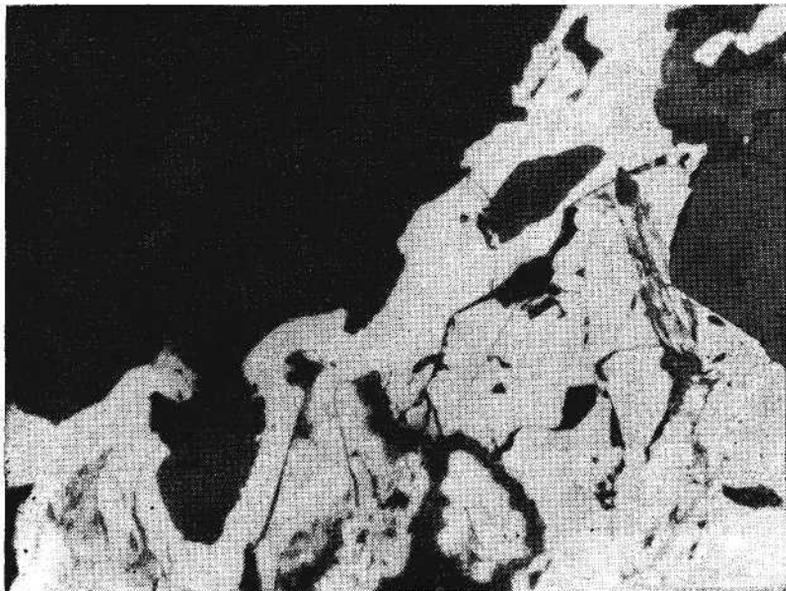


Рис 1.12. Зональное строение ульманнит-кобальтиновых каем, развивающихся по пирротин-пиритовому агрегату.  $\times 240$ .

Установлен О. А. Яковлевой и Е. В. Бурлаковым в хрусталеносных жилах на Приполярном Урале в виде мелких удлиненных выделений, находящихся в сростании с брейтгауптитом. Отмечен на Комсомольском рудопроявлении в сростании с галенитом и пирротинном, а также на рудопроявлении Колибри в ассоциации с блеклыми рудами.

#### **14. АРСЕНИДЫ, СТИБНИДЫ, СУЛЬФОАРСЕНИДЫ И СУЛЬФОСТИБНИДЫ МЕДИ И ЗОЛОТА**

На Урале известны энаргит, люционит, теннантит, тетраэдрит, зелигманит, купростибит, ауростибит, фаматинит, халькостибит, акташит.

##### **1.4.1. Энаргит — $Cu_3AsS_4$ , ромб. с. (Enargite)**

На Урале впервые отмечен А. А. Амираслановым (1937) в Бакрузьякском и Карабашском месторождениях. Встречается в колчеданных месторождениях и в кварц-карбонатных жилах. В большинстве случаев диагностирован минераграфически. Единственная находка макроскопически видимых образований энаргита принадлежит Ю. С. Кобяшеву (образец в Уральском геологическом музее), обнаружившему минерал в виде отдельных монокристалльных выделений (до 0,5 см) в небольших пустотах в кварцевых жилах альпийского типа на Гайском колчеданном месторождении.

По А. А. Амирасланову (1937), энаргит в чисто серноколчеданных залежах не встречается, но установлен в рудных агрегатах месторождений Бакр-Узяк (Баймакского) и Северопервомайского (Карабашская группа) на участках с повышенным развитием блеклых руд. Энаргит наблюдался в отдельных шлифах в виде разрозненных мелких (0,13 мм) выделений, обнаруживающих при травлении KCN полизернистое сложение. Выделения энаргита окаймлены халькозином, образующим просечки внутри зерен.

В медноколчеданных рудах Блявинского рудника (Роговер, 1939), в пределах Северной линзы, энаргит распространен более широко в виде неправильной формы выделений или мельчайших включений в зернах пирита и халькопирита; иногда вместе с халькопиритом цементирует агрегат раздробленных зерен пирита и марказита. В зоне окисления замещается ковеллином.

Е. К. Лазаренко (1947) энаргит встречен в составе борнитовых руд месторождений группы Сан-Дonato (Шмидта, 15-й годовщины Октября) и Левихи-П, где он развит в виде мелких выделений (менее 1 мм) между зернами пирита с борнитом, халькозином, блеклой рудой и галенитом. Отмечается ассоциация энаргита с кальцитом и определенная его связь с халькозином, замещающим борнит. В месторождении Шмидта энаргит

обнаружен в кальцитовый жилке в составе почковидных натечных образований (до 2 см), где им сложена внутренняя часть, отороченная тонкой каймой борнита, окруженного халькопиритом и кальцитом.

Часто наблюдаемое в колчеданных рудах гипогенное замещение энаргита теннантитом (явление развития «зеленого энаргита» по розовому, как считали ранее) рассматривают как возможную причину ограниченного распространения этого минерала (Шадлун, 1941; Лазаренко, 1947 и др.).

Энаргит обнаружен также в кварцево-карбонатных и карбонатных жилах Пай-Хоя (р. Силоваяха), приуроченные к разрывным нарушениям в карбонатно-терригенной толще ( $C_{It-v}$ ), вне видимой связи с магматическими образованиями. Встречается вместе с пиритом, халькопиритом, галенитом, сульванитом и люционитом, общее количество которых в жилах не превышает 2—4 %. Отмечается тесная связь энаргита с сульванитом: пересечение более крупных зерен энаргита тонкими сульванит-карбонатными прожилками, а также наличие его включений в сульваните. Предполагается метаморфогенное происхождение жил с заимствованием части рудного вещества из вмещающей толщи (Юшкин, 1980; Смирнов, Премыслер, 1967). Энаргит установлен О. А. Яковлевой в рудах рудопроявления Предгорного (Полярный Урал).

#### 1.4.2. Люционит — $Cu_3AsS_4$ , тетраг. с. (Luzonite)

Минерал, по составу близкий к люциониту, указывался Е. Е. Захаровым и С. А. Юшко (1935) в теннантит-борнитовых рудах Карпушинского месторождения и как «оранжевый борнит» на месторождении им. III Интернационала. Встречается в виде очень мелких округлых зерен в борните, реже в сфалерите и теннантите. Обнаружен только под микроскопом. Более розово-желтый, чем борнит, слабо анизотропный. Указывается П. Я. Ярошем (1951) в Карабашских месторождениях. Требуется подтверждения.

Встречен в проявлениях кальцит-кварц-целестин-барит-флюорит-сфалерит-сульванитовой формации на северо-восточном крыле Пайхойского антиклинария в тесной ассоциации с сульванитом и энаргитом (Юшкин, 1980).

Стибиолуционит установлен О. А. Яковлевой в рудах Нижнеталотинского барит-полиметаллического рудопроявления. Встречается в виде ксеноморфных зерен, мирмекитоподобных выделений, каемок (размером до 0,1 мм) в тесном сростании с блеклой рудой и сфалеритом. Обычно располагается в краевых частях блеклорудных агрегатов или на контакте со сфалеритом. Химический состав, мас. %: Cu 45,6; Ag 0,43; Fe 0,43; Zn 0,18; As 12,9; Sb 9,60; S 30,8; сумма 99,94. Кристаллохимическая формула  $(Cu_{2,95}Fe_{0,03}Ag_{0,02}Zn_{0,01})_{3,01}(As_{0,71}Sb_{0,32})_{1,03}S_{3,96}$ .

### 1.4.3. Теннантит — тетраэдрит $(As, Zn, Cu)_{13}(AsSb)_4S_{13}$ , куб. с. (Tennantite — Tetrahedrite)

Минералы сложного состава с несколькими сериями изоморфных замещений и большой изоморфной емкостью. Некоторые химические разновидности получили названия, многие из которых синонимы. Наиболее употребляемые — теннантит и тетраэдрит — относятся к широко распространенным в природе мышьяковистому и сурьмянистому, соответственно, крайним членам блеклорудной системы.

До настоящего времени нет единого мнения относительно соотношения отдельных фаз, объединяемых в эту группу: считать ли их химическими разновидностями одного минерала или рассматривать как совокупность нескольких минералов разного состава, образующих несколько непрерывных (а в некоторых условиях дискретных) серий твердых растворов. Недостаточно ясны многие вопросы их кристаллохимии и изоморфизма.

Согласно новым данным (Мозгова, Цепин, 1983), блеклые руды относятся к нестехиометрическим соединениям со среднеарифметической формулой  $Me_{12}PMe_4S_{13}$  и переменным количеством основных формулообразующих групп элементов (P — полуметалл, Me — металл). Позиции металла, максимальное количество которых в гомогенной области 14 атомов, заняты медью, а также двухвалентными элементами Zn, Fe, Hg, Cd, Co, Sn, редко Pb, и одновалентными — главным образом Ag, содержание которого может быть очень высоким (до 10 атомов), редко — Au. Главное направление изоморфизма в блеклых рудах определяется «полуметаллами» Sb, As, Bi и Te, максимальное количество которых составляет четыре атома. Количество серы также переменное, но для большинства природных блеклых руд близко к 13.

В соответствии с новыми кристаллохимическими представлениями об изоморфизме, Н. Н. Мозговой и А. И. Цепиным разработана классификация блеклых руд и предложена рациональная номенклатура, отражающая все направления изоморфных замещений. Выделено пять минеральных видов; четыре из них определяются типом полуметалла при его содержании 3-4 атома; кроме теннантита и тетраэдрита, выделяют голдфилдит (Te) и аннивит (Bi); для промежуточных разновидностей используются соответствующие двойные или тройные названия. Пятый минеральный вид фрейбергит целесообразно выделять при содержании серебра более четырех атомов, что связано с появлением в этом случае его второй структурной позиции, обладающей иной изоморфной емкостью. При содержании двухвалентных металлов более одного атома выделяются соответствующие разновидности, например, Fe — тетраэдрит (аргенто-разновидности выделяются при содержании Ag от одного до четырех атомов); присутствие металлов в количестве менее

одного атома отмечается соответствующим прилагательным типа «Fe-содержащий», «Ag-содержащий» и т. д. Далее при описании блеклых руд будут использованы названия, употребленные в цитированной литературе, а в общем обзоре химических разновидностей — приведенная номенклатура.

История изучения блеклых руд на Урале насчитывает более 200 лет. Упомянутая П. С. Палласом (1770) в работе по полевым наблюдениям «светло-серая тяжелая руда», пронизанная кварцем и известковым шпатом, найденная в Васильевском руднике, из 1 ц которой добыто «5,5 лотов серебра и 24 фунта меди», относится, по мнению В. В. Никитина (Федотов, Никитин, 1899), к блеклой руде. Термин «блеклая руда» для того же светло-серого минерала из Васильевского рудника употреблен впервые И. Германом (Hermann, 1784, 1789), по словам которого, этот минерал добывался здесь прежде в больших количествах. Описание блеклой руды из Березовского золоторудного месторождения содержится в работах Розе (Rose, 1837, 1842), который приводит химический анализ минерала. Первые кристаллографические сведения о блеклых рудах дает Н. И. Кокшаров (1862). Подробное описание кристаллов тетраэдрита Березовского месторождения с определением кристаллических форм на гониометре принадлежит П. В. Еремееву (1884, 1885). Е. С. Федоров и В. В. Никитин (1901) указывали, что блеклая руда существенно сурьмянистого состава — распространенный минерал Пестеровского и Башмаковского рудников — присутствует в виде мелкозернистых выделений обычно с кварцем и кальцитом, реже образует лучистые агрегаты. Первое описание блеклых руд под микроскопом выполнено А. Н. Заварицким (1929). Сводки по уральским блеклым рудам составлены Н. А. Ярош («Минералогия Урала», 1941), Н. Н. Мозговой (1985), Н. Н. Мозговой и А. И. Цепиным (1983).

Блеклые руды установлены на многих, преимущественно гидротермальных сульфидных объектах Урала в количестве от аксессуарных до главных рудных минералов. Известные в регионе блеклорудные проявления можно объединить в следующие группы. 1. Генетически связанные с гранитоидами, кварцево-жильные и прожилково-вкрапленные, разнообразные по вещественному составу (медно-, золото-, оловорудные, молибден-вольфрамовые, сурьмяные, ртутные, полиметаллические). Особо следует выделить контактово-метасоматические скарновые объекты, связанные с гранитоидами различных формационных типов (медно-скарновые, шеелитово-скарновые, касситерит-полиметаллически-скарновые). 2. Генетически связанные с вулканогенными сериями в тектонически различных структурах (колчеданные, стратиформные, полиметаллические). 3. Объекты магматического типа.

Медно-скарновые месторождения представлены группой Турьинских рудников, с которыми связана история открытия

блеклых руд на Урале. Формирование сульфидно-блеклорудной ассоциации в них сопровождалось разрушением ранних скарновых минералов (Заварицкий, 1929). К шеелит-скарновым относится Балканское месторождение (Гумбейская группа), в котором тетраэдрит установлен в ассоциации с шеелитом, пиритом, галенитом, молибденитом, кальцитом и апатитом.

Близкая по составу минеральная ассоциация, включающая тетраэдрит и теннантит (а также пирротин, айкинит, борнит), найдена в кварцевых жилах Бурановского месторождения, локализованном в самом Гумбейском гранитном массиве (Степанов, 1954). В небольшом количестве блеклые руды установлены в Немурьюганском касситерит-полиметаллически-скарновом рудопроявлении (Полярный Урал) в виде вкрапленности в гематит-магнетитовом скарне и гнездовых выделениях в зоне дробления доломитов. Блеклые руды нарастают на кристаллы магнетита и цементируются халькозином, борнитом; по составу относятся к Fe — Zn и Zn — Fe теннантит-тетраэдритам.

В Березовском месторождении (Кутюхин, 1948, 1954; Переляев, 1948) блеклые руды в количественном отношении занимают второе после пирита место (2—3%) и образуют обычно массивные скопления вместе с другими сульфидами или вкрапленность в кварце и карбонате. Обособленные агрегаты блеклых руд заполняют друзовые пустоты в жилах. Здесь встречаются крупные (до 5 см) кристаллы, нарастающие на стенках пустот, кристаллах пирита и кварца. Изученные П. Е. Еремеевым на гониометре кристаллы тетраэдрита изображены на рис. 1.13. Преимущественно развиты на месторождении сурьмянистые и смешанные, мышьяково-сурьмянистые, разности, которые макроскопически отчетливо различимы — обычно темно-серая, богатая сурьмой блеклая руда с увеличением содержания мышьяка приобретает более светлую окраску. Теннантит встречается реже. Характерны тесные срастания тетраэдрита с галенитом (иногда графической структуры), халькопиритом, реже

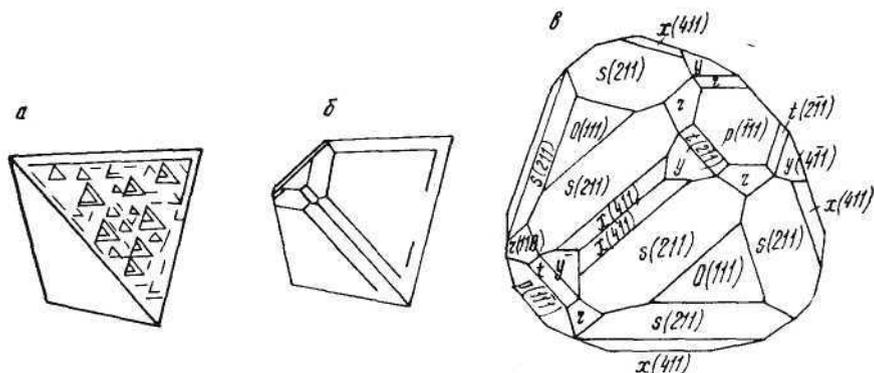
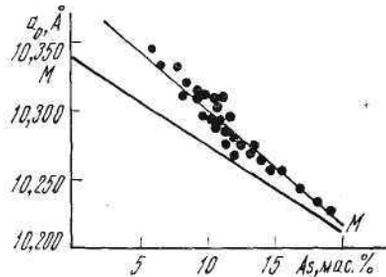


Рис. 1.13. Кристаллы блеклой руды из Березовского месторождения (а, б) и тетраэдрита (в) из Преображенской шахты (Еремеев, 1885).

Рис. 1.14. График зависимости  $a_0$  блеклых руд Березовского месторождения от содержания в них мышьяка (по Чеснокову, Поповой, 1973).  
Кривая М — М — по Ф. Махачки.



сфалеритом, айкинитом и корродированные агрегатом этих минералов зерен пирита. Последний иногда содержит тетраэдрит в виде изометричных аллотриоморфных включений. В ассоциации часто присутствует самородное золото.

При изучении вариаций химического состава блеклых руд Березовского рудного поля Б. В. Чесноковым (1973) выявлена единая эндогенная зональность, выраженная в закономерном обогащении блеклых руд мышьяком от периферии к центру рудного поля. Для блеклых руд этого объекта им была подтверждена известная ранее линейная зависимость снижения параметра «а» элементарной ячейки с увеличением содержания мышьяка (рис. 1.14). В кварц-сульфидных жилах Богатых месторождений блеклорудная минерализация (тетраэдрит, редко теннантит и смешанные разности) получила развитие в ограниченном диапазоне глубин (50—150 м); в рудных телах распространена неравномерно и локализована в наиболее богатых сульфидами участках жил (Заварицкий, 1929). Блеклые руды близки по времени выделения к халькопириту и галениту, с которыми образуют тесные сростания, иногда графической структуры; цементируют и корродируют зерна пирита и сфалерита.

В кварц-карбонатных жилах с золотоарсенопиритовой минерализацией в Кочкарском районе, по данным П. В. Покровского (1939), широко распространен тетраэдрит, образующий прожилки, скопления, гнезда, масса одного из которых на глубине 70 м составила 5 кг. В сульфидном агрегате тетраэдрит выполняет интерстиции халькопирита и арсенопирита; обнаружены мелкие включения золота и висмутсодержащего минерала (не диагностирован). Тетраэдрит обогащен серебром, в отдельных случаях отнесен к фрейбергиту.

На других проявлениях сульфидно-кварцевого типа в ассоциации с блеклыми рудами (которые преимущественно представлены тетраэдритом), помимо типичных пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, В. П. Трифоновым (1948) отмечались молибденит (Масловское), киноварь (Травянское), а С. Г. Заводчиковым (1948)—пирротин и арсенопирит (Пановская Ляга). На Осиновском месторождении блеклые руды (Заводчиков, 1948) представлены теннантитом (железо-черного цвета), а на месторождении Невьянская Середовина в рудах присутствуют тетраэдрит и теннантит, образующие сростки.

В сульфидно-кварцевых жилах и сопутствующих метасоматитах (березитах, эйситах, гумбеитах) Шарташского массива (Куруленко и др., 1985) блеклые руды образуют мелкую вкрапленность и сплошные выделения (гнезда, прожилки) в жильном кварце и метасоматитах; зафиксированы в количестве до 8 % Характерны тесные сростания (иногда графические) с сульфидами и наличие в блеклых рудах сфалерит-борнитовых «капель». Порядок кристаллизации соответствует последовательности: пирит — сфалерит — тетраэдрит — борнит — халькопирит — галенит. Состав блеклой руды отвечает серебросодержащему Zn-тетраэдриту.

Блеклые руды в качестве аксессуарных минералов встречаются в кварцевых жилах вольфрам-медно-молибденовых месторождений и рудопроявлений Полярного Урала: Харбейском, Лонготьюганском, Ханмейском (Литошко, 1988; Котов, Яковлева, 1986); образуют рассеянную вкрапленность в кварце, обычный размер зерен 0,1—0,3, редко 1—1,5 мм. Для них характерна ассоциация с халькопиритом, галенитом, борнитом, халькозином, сульфосолями и теллуридами висмута; реже устанавливаются сфалерит, антимонит, арсенопирит, ульманнит, серебро-свинцово-висмутовые сульфосоли, золото и серебро-золотые амальгамы. Блеклые руды обрастают зерна сфалерита и сульфосолей, образуют сростания с алтаитом, гесситом, жозеитом-В, верлитом (Лонготьюганское проявление). Состав их в Харбейском месторождении отвечает Ag — Fe-тетраэдриту, в Лонготьюганском — близок к аннивиту.

В шеелит-молибденитовом Троговском месторождении (Приполярный Урал) тетраэдрит встречается как аксессуарный минерал в виде единичных зерен в массе жильного кварца и в виде тонких прожилков (Фишман и др., 1968). Здесь установлена также ртутьсодержащая разность блеклых руд (данные Н. П. Юшкина). Тетраэдрит известен также в кварцевых прожилках р. Силоваяха (Пай-Хой) в ассоциации с джулукулитом, марганцовистым сфалеритом, халькопиритом, айкинитом. В кварц-кальцитовых жилах, секущих каменноугольные сланцы на юго-западном крыле Пайхойского антиклинария, установлен теннантит, который распространен в Полярноуральской провинции значительно шире, чем сурьмянистая блеклая руда (Юшкин, 1980). По указанным в публикации пределам содержания мышьяка (2,1—2,5%) и приведенному химическому анализу (табл. 1.13) блеклая руда соответствует переходной между тетраэдритом и теннантитом разности.

Тетраэдрит и теннантит отмечены в шеелит-сульфидно-кварцевых жилах, связанных с Айдырлинским гранитным массивом (Рукавишников, 1939).

Установлено, что блеклые руды в кварцево-жильных телах с различной минерализацией занимают определенное место в рудно-метасоматической зональности. По данным А. Г. Баран-

Таблица I.13

## Химический состав и кристаллохимические формулы блеклых руд, мас. %

№ анализа	As	Sb	Cu	S	Fe	Zn	Ag	Hg	Cd	Bi	Te	Pb	Сумма
1	1,7— 11,8	9,4—25,7	38,6—42,9	25,1—26,4	0,06— 3,60	2,4— 7,2	0,07— 0,15	0— 0,50	0— 0,27	0,06— 6,00	—	—	—
2	18,41	1,12	41,89	27,03	3,62	8,81	—	—	—	—	—	—	100,88
3	12,91	9,79	39,12	27,01	3,75	6,08	0,27	—	—	—	—	0,32	99,25
4	10,39	12,52	39,52	26,94	4,14	6,18	0,37	—	—	0,005	—	0,62	100,69
5	7,38	18,21	37,70	26,28	3,86	4,95	0,89	—	—	—	—	—	99,27
6	5,61	19,65	35,60	26,10	4,76	5,75	0,88	—	—	—	—	—	98,35
7	8,32	12,78	43,68	25,32	4,8	2,88	—	—	—	—	—	—	97,74
8	2,42	21,47	40,57	26,10	2,92	5,07	—	—	—	—	—	—	98,55
9	3,3	26,4	36,8	24,6	0,8	7,1	—	—	—	—	—	—	99,5
10	—	31,4—32,8	36,6—36,9	23,4—24,4	6,2—6,5	—	1,6—1,7	—	—	0,2—0,4	—	—	—
11	16,0	5,12	40,69	27,98	1,00	6,64	0,21	0,71	—	—	—	—	98,35
12	17,41	2,47	42,11	27,93	2,02	6,02	0,17	—	—	—	—	—	98,13
13	15,46	5,01	40,60	28,41	3,62	4,24	0,70	—	—	—	—	—	98,04
14	7,58	16,09	38,96	26,24	1,90	5,90	0,50	—	—	—	—	—	97,17
15	8,83	14,73	39,59	26,23	3,46	4,23	0,48	—	—	—	—	—	97,55
16	8,68	14,58	39,66	27,15	3,33	4,13	0,58	—	—	—	—	—	98,11
17	11,93	11,14	39,69	27,23	7,69	0,42	0,54	—	—	—	—	—	98,64
18	4,87	23,90	37,83	24,79	0,51	6,75	0,44	0,87	—	—	—	—	99,96
19	0,45	27,84	32,83	24,45	5,25	1,83	4,59	—	0,12	—	—	—	97,36
20	4,96	22,91	28,60	26,50	1,25	7,62	8,29	—	0,42	—	—	—	100,63
21	1,91	26,43	28,71	21,58	0,11	6,29	13,73	—	0,14	—	—	—	98,90
22	0,68	27,13	30,34	23,27	2,28	6,35	9,24	—	0,19	—	—	—	99,48
23	0,86	27,76	24,13	22,24	—	7,21	15,21	—	—	—	—	—	97,42
24	1,14	25,74	22,42	20,63	1,82	5,76	22,54	—	0,25	—	—	—	100,30
25	—	28,53	34,04	22,63	1,99	5,20	6,19	0,08	0,17	—	—	—	98,83
26	—	29,34	22,51	21,37	4,29	1,72	18,41	—	—	—	—	—	97,65
27	5,41	21,98	36,79	25,49	1,65	5,54	3,02	—	—	—	—	—	99,87

Продолжение табл. I.13

№ анализа	As	Sb	Cu	S	Fe	Zn	Ag	Hg	Cd	Bi	Te	Pb	Сумма
28	6,27	20,64	35,20	25,46	2,78	4,79	3,27	—	—	—	—	—	98,41
29	4,57	25,38	34,28	24,15	3,10	3,86	2,41	—	—	—	—	—	97,75
30	2,83	25,36	34,36	24,38	3,01	3,84	2,77	—	—	—	—	—	96,55
31	4,43	25,60	33,99	24,80	2,61	3,73	2,65	—	—	—	—	—	97,81
32	20,00	0,96	41,22	28,11	6,02	6,15	0,08	—	—	—	—	—	102,54
33	12,37	12,23	41,03	26,00	1,68	6,95	—	—	—	—	—	—	100,26
34	9,58	16,55	39,49	26,35	2,37	7,15	—	—	—	—	—	—	101,49
35	20,85	1,14	42,21	28,47	2,66	6,39	—	—	—	—	—	—	101,72
36	19,55	2,42	40,91	28,26	2,58	6,69	—	—	—	—	—	—	100,41
37	18,62	4,30	41,83	28,11	2,59	6,69	—	—	—	—	—	—	102,14
38	21,67	0,36	43,19	27,50	4,78	5,58	0,07	—	—	—	—	—	103,15
39	20,69	0,68	43,20	28,56	2,46	6,94	—	—	—	—	—	—	102,53
40	20,13	0,59	42,76	28,86	2,54	7,14	—	—	—	—	—	—	102,02
41	22,02	0,32	42,48	28,55	4,42	4,83	0,09	—	—	—	—	—	102,71
42	13,08	9,03	45,48	24,78	0,08	8,05	—	—	—	—	—	—	100,61
43	19,73	1,42	43,20	28,91	0,20	8,47	—	—	—	—	0,18	—	102,11
44	20,79	0,13	43,23	29,34	0,23	8,50	—	—	—	—	0,09	—	102,36
45	20,00	1,48	43,01	29,22	0,22	8,53	—	—	—	—	0,07	—	102,65
46	1,4	23,1	36,7	25,5	2,3	5,2	6,0	—	—	—	—	—	100,2
47	5,60	22,26	35,98	24,88	0,10	7,91	2,84	—	1,62	—	—	—	101,19
48	8,87	17,58	36,58	25,50	0,24	8,05	2,28	—	1,62	—	—	—	100,70
49	11,56	13,02	38,38	26,64	0,42	7,47	1,39	—	1,79	—	—	—	100,67
50	20,05	0,05	41,74	28,18	1,60	7,27	0,07	—	1,12	—	—	—	100,08
51	20,24	—	41,54	28 11	1,19	7,11	0,09	—	1,11	—	—	—	99,39
52	20,37	—	41,25	28,21	1,34	7,10	—	—	1,35	—	—	—	99,62
53	4,54	22,52	38,38	25,52	5,50	1,63	0,14	—	1,40	—	—	—	100,03
54	3,83	23,46	38,47	25,51	6,58	1,41	0,13	—	1,50	—	—	—	100,89
55	12,08	12,11	39,06	26,60	1,77	7,17	0,45	—	1,19	—	—	—	100,43
56	18,05	3,16	41,30	27,69	0,79	7,47	0,08	—	0,06	—	—	—	99,79

№ анализа	As	Sb	Cu	S	Fe	Zn	Ag	Hg	Cd	Bi	Te	Pb	Сумма
57	17,65	4,18	41,13	27,42	1,01	7,97	0,08	—	1,25	—	—	—	100,69
58	20,63	0,30	41,30	28,25	1,45	7,54	0,09	—	1,25	—	—	—	100,81
59	18,30	2,99	40,84	27,88	1,06	8,00	0,07	—	1,50	—	—	—	100,64
60	19,93	1,39	40,29	28,08	1,01	8,15	0,01	—	1,38	—	—	—	100,33
61	19,66	0,19	40,83	27,54	5,15	3,33	0,10	—	1,02	—	—	—	97,85
62	18,1	1,4	40,0	28,0	4,5	7,8	—	—	—	—	—	—	99,8
63	3,0	24,6	36,6	26,0	—	4,6	5,4	—	—	—	—	—	96,2
64	19,18	1,90	39,76	27,82	2,20	6,24	—	—	—	—	—	—	97,1

Кристаллохимические формулы (в пересчете на 29 атомов)

2.  $\text{Cu}_{9,77}(\text{Fe}_{0,99}\text{Zn}_{2,00})_{2,99}(\text{As}_{3,64}\text{Sb}_{0,14})_{3,78}\text{S}_{12,49}$ .
3.  $(\text{Cu}_{9,53}\text{Ag}_{0,04})_{9,57}(\text{Pb}_{0,02}\text{Fe}_{1,09}\text{Zn}_{1,44})_{2,53}(\text{As}_{2,67}\text{Sb}_{1,24})_{3,91}\text{S}_{13,04}$ .
4.  $(\text{Cu}_{9,6}\text{Ag}_{0,05})_{9,65}(\text{Pb}_{0,05}\text{Fe}_{1,14}\text{Zn}_{1,46})_{2,65}(\text{As}_{2,14}\text{Sb}_{1,59})_{3,73}\text{S}_{12,97}$ .
5.  $(\text{Cu}_{9,48}\text{Ag}_{0,13})_{9,61}(\text{Fe}_{1,1}\text{Zn}_{1,24})_{2,34}(\text{As}_{1,57}\text{Sb}_{2,39})\text{S}_{13,1}$ .
6.  $(\text{Cu}_{9,07}\text{Ag}_{0,13})_{9,20}(\text{Fe}_{1,42}\text{Zn}_{1,42})_{2,84}(\text{As}_{1,12}\text{Sb}_{2,61})_{3,73}\text{S}_{13,17}$ .
7.  $\text{Cu}_{10,94}(\text{Fe}_{1,37}\text{Zn}_{0,70})_{2,07}(\text{As}_{1,77}\text{Sb}_{1,66})_{3,43}\text{S}_{12,56}$ .
8.  $\text{Cu}_{10,34}(\text{Zn}_{1,25}\text{Fe}_{0,84})_{2,09}(\text{Sb}_{2,86}\text{As}_{0,52})_{3,38}\text{S}_{13,18}$ .
9.  $\text{Cu}_{9,68}(\text{Zn}_{1,82}\text{Fe}_{0,24})_{2,06}(\text{As}_{0,74}\text{Sb}_{3,62}\text{B}_{0,01})_{4,37}\text{S}_{12,83}$ .
10.  $(\text{Cu}_{8,36}\text{Ag}_{1,79})_{10,15}(\text{Fe}_{1,27}\text{Zn}_{0,52}\text{Cd}_{0,02})_{1,81}(\text{Sb}_{4,04}\text{Bi}_{0,06})_{4,10}\text{S}_{12,85}$ .
11.  $(\text{Cu}_{9,81}\text{Ag}_{0,03})_{9,84}(\text{Zn}_{1,55}\text{Fe}_{0,28}\text{Hg}_{0,05})_{1,88}(\text{Sb}_{0,64}\text{As}_{3,27})_{3,91}\text{S}_{13,37}$ .
12.  $(\text{Cu}_{10,02}\text{Ag}_{0,02})_{10,04}(\text{Zn}_{1,39}\text{Fe}_{0,55})_{1,94}(\text{Sb}_{0,31}\text{As}_{3,52})_{3,83}\text{S}_{13,19}$ .
13.  $(\text{Cu}_{9,77}\text{Ag}_{0,10})_{9,81}(\text{Zn}_{0,98}\text{Fe}_{0,98})_{0,96}(\text{Sb}_{0,62}\text{As}_{3,14})_{3,76}\text{S}_{13,47}$ .
14.  $(\text{Cu}_{9,92}\text{Ag}_{0,07})_{9,99}(\text{Zn}_{1,46}\text{Fe}_{0,55})_{2,01}(\text{Sb}_{2,14}\text{As}_{1,63})_{3,77}\text{S}_{13,23}$ .

15.  $(\text{Cu}_{9,97}\text{Ag}_{0,07})_{10,04}(\text{Zn}_{1,04}\text{Fe}_{0,99})_{2,03}(\text{Sb}_{1,94}\text{As}_{1,89})_{3,83} \text{S}_{13,10}$ .
16.  $(\text{Cu}_{9,87}\text{Ag}_{0,08})_{9,95}(\text{Zn}_{1,00}\text{Fe}_{0,94})_{1,94}(\text{Sb}_{1,89}\text{As}_{1,83})_{3,72} \text{S}_{13,39}$ .
17.  $(\text{Cu}_{9,67}\text{Ag}_{0,08})_{9,75}(\text{Zn}_{0,10}\text{Fe}_{2,13})_{2,23}(\text{Sb}_{1,41}\text{As}_{2,46})_{3,87} \text{S}_{13,15}$ .
18.  $(\text{Cu}_{9,86}\text{Ag}_{0,07})_{9,93}(\text{Zn}_{1,71}\text{Fe}_{0,15}\text{Hg}_{0,07})_{1,93}(\text{Sb}_{3,25}\text{As}_{1,08})_{4,33} \text{S}_{12,81}$ .
19.  $(\text{Cu}_{8,93}\text{Ag}_{0,73})_{9,66}(\text{Zn}_{0,48}\text{Fe}_{1,62}\text{Cd}_{0,02})_{2,12}(\text{Sb}_{3,95}\text{As}_{0,10})_{4,05} \text{S}_{13,17}$ .
20.  $(\text{Cu}_{7,46}\text{Ag}_{1,28})_{8,74}(\text{Zn}_{1,92}\text{Fe}_{0,37}\text{Cd}_{0,06})_{2,35}(\text{Sb}_{3,11}\text{As}_{1,10})_{4,21} \text{S}_{13,70}$ .
21.  $(\text{Cu}_{8,22}\text{Ag}_{2,31})_{10,53}(\text{Zn}_{1,75}\text{Fe}_{0,03}\text{Cd}_{0,02})_{1,80}(\text{Sb}_{3,95}\text{As}_{0,46})_{4,41} \text{S}_{12,26}$ .
22.  $(\text{Cu}_{8,34}\text{Ag}_{1,50})_{9,84}(\text{Zn}_{1,70}\text{Fe}_{0,71}\text{Cd}_{0,03})_{2,44}(\text{Sb}_{3,89}\text{As}_{0,15})_{4,04} \text{S}_{12,68}$ .
23.  $(\text{Cu}_{7,05}\text{Ag}_{2,61})_{9,66}(\text{Zn}_{2,04}(\text{Sb}_{4,22}\text{As}_{0,21})_{4,43}) \text{S}_{12,87}$ .
24.  $(\text{Cu}_{6,58}\text{Ag}_{3,90})_{10,48}(\text{Zn}_{1,64}\text{Fe}_{0,61}\text{Cd}_{0,04})_{2,29}(\text{Sb}_{3,94}\text{As}_{0,28})_{4,22} \text{S}_{12,01}$ .
25.  $(\text{Cu}_{9,42}\text{Ag}_{1,01})_{10,43}(\text{Zn}_{1,40}\text{Fe}_{0,62}\text{Cd}_{0,03})_{2,05}\text{Sb}_{4,11} \text{S}_{12,41}$ .
26.  $(\text{Cu}_{6,69}\text{Ag}_{3,22})_{9,91}(\text{Zn}_{0,50}\text{Fe}_{1,45})_{1,95}\text{Sb}_{4,56} \text{S}_{12,59}$ .
27.  $(\text{Cu}_{9,50}\text{Ag}_{0,46})_{9,96}(\text{Zn}_{1,39}\text{Fe}_{0,48})_{1,87}(\text{Sb}_{2,96}\text{As}_{1,18})_{4,14} \text{S}_{13,03}$ .
28.  $(\text{Cu}_{9,16}\text{Ag}_{0,50})_{9,69}(\text{Zn}_{1,21}\text{Fe}_{0,82})_{2,03}(\text{Sb}_{2,80}\text{As}_{1,38})_{4,18} \text{S}_{13,13}$ .
29.  $(\text{Cu}_{9,21}\text{Ag}_{0,38})_{9,59}(\text{Zn}_{1,01}\text{Fe}_{0,95})_{1,96}(\text{Sb}_{3,55}\text{As}_{1,04})_{4,59} \text{S}_{12,86}$ .
30.  $(\text{Cu}_{9,30}\text{Ag}_{0,44})_{9,74}(\text{Zn}_{1,01}\text{Fe}_{0,93})_{1,94}(\text{Sb}_{3,58}\text{As}_{0,65})_{4,23} \text{S}_{13,09}$ .
31.  $(\text{Cu}_{9,09}\text{Ag}_{0,43})_{9,52}(\text{Zn}_{0,97}\text{Fe}_{0,79})_{1,76}(\text{Sb}_{3,57}\text{As}_{1,00})_{4,57} \text{S}_{13,15}$ .
32.  $(\text{Cu}_{9,38}\text{Ag}_{0,01})_{9,39}(\text{Fe}_{1,56}\text{Zn}_{1,36})_{2,92}(\text{As}_{3,86}\text{Sb}_{0,11})_{3,97} \text{S}_{12,71}$ .
33.  $\text{Cu}_{10,06}(\text{Fe}_{0,47}\text{Zn}_{1,66})_{2,13}(\text{As}_{2,58}\text{Sb}_{1,57})_{4,15} \text{S}_{12,66}$ .
34.  $\text{Cu}_{9,70}(\text{Zn}_{1,70}\text{Fe}_{0,66})_{2,36}(\text{As}_{1,99}\text{Sb}_{2,12})_{4,11} \text{S}_{12,82}$ .
35.  $\text{Cu}_{9,70}(\text{Zn}_{1,43}\text{Fe}_{0,69})_{2,12}(\text{As}_{4,06}\text{Sb}_{0,01})_{4,07} \text{S}_{12,97}$ .
36.  $\text{Cu}_{9,55}(\text{Zn}_{1,52}\text{Fe}_{0,68})_{2,20}(\text{As}_{3,87}\text{Sb}_{0,30})_{4,17} \text{S}_{13,08}$ .
37.  $(\text{Cu}_{9,70})(\text{Zn}_{1,51}\text{Fe}_{0,68})_{2,19}(\text{As}_{3,66}\text{Sb}_{0,52})_{4,18} \text{S}_{12,92}$ .
38.  $\text{Cu}_{9,85}(\text{Zn}_{1,24}\text{Fe}_{1,24})_{2,48}(\text{As}_{4,19}\text{Sb}_{0,04})_{4,23} \text{S}_{12,43}$ .

39.  $\text{Cu}_9,84(\text{Zn}_{1,54}\text{Fe}_{0,64})_2,18(\text{As}_{3,97}\text{Sb}_{0,08})_4,05 \text{S}_{12,90}$   
 40.  $\text{Cu}_9,75(\text{Fe}_{0,66}\text{Zn}_{1,58})_2,24(\text{As}_{3,89}\text{Sb}_{0,07})_3,97 \text{S}_{13,04}$   
 41.  $\text{Cu}_9,65(\text{Fe}_{1,14}\text{Zn}_{1,07})_2,21(\text{As}_{4,24}\text{Sb}_{0,04})_4,28 \text{S}_{12,85}$   
 42.  $\text{Cu}_{11,15}(\text{Zn}_{1,92}\text{Fe}_{0,02})_1,94(\text{As}_{2,72}\text{Sb}_{1,16})_3,88 \text{S}_{12,03}$   
 43.  $\text{Cu}_9,91(\text{Zn}_{1,89}\text{Fe}_{0,05})_1,94(\text{As}_{3,84}\text{Sb}_{0,17}\text{Te}_{0,02})_4,03 \text{S}_{13,14}$   
 44.  $\text{Cu}_9,82(\text{Zn}_{1,88}\text{Fe}_{0,06})_1,94(\text{As}_{4,01}\text{Sb}_{0,02}\text{Te}_{0,01})_4 \text{S}_{13,21}$   
 45.  $\text{Cu}_9,78(\text{Zn}_{1,89}\text{Fe}_{0,06})_1,95(\text{As}_{3,86}\text{Sb}_{0,018})_4,04 \text{S}_{13,16}$   
 46.  $(\text{Cu}_9,54\text{Ag}_0,89)_{10,43}(\text{Zn}_{1,13}\text{Fe}_{0,68})_1,81(\text{As}_{0,31}\text{Sb}_{3,13})_3,44 \text{S}_{13,14}$   
 47.  $(\text{Cu}_9,31\text{Ag}_0,43)_{9,74}(\text{Fe}_{0,03}\text{Zn}_{1,99}\text{Cd}_{0,24})_2,26(\text{As}_{1,23}\text{Sb}_{3,01})_4,24 \text{S}_{12,76}$   
 48.  $(\text{Cu}_9,29\text{Ag}_0,34)_{9,63}(\text{Fe}_{0,07}\text{Zn}_{1,99}\text{Cd}_{0,23})_2,29(\text{As}_{1,91}\text{Sb}_{2,33})_4,24 \text{S}_{12,84}$   
 49.  $(\text{Cu}_9,48\text{Ag}_0,20)_{9,68}(\text{Fe}_{0,12}\text{Zn}_{1,80}\text{Cd}_{0,25})_2,17(\text{As}_{2,42}\text{Sb}_{1,68})_4,10 \text{S}_{13,05}$   
 50.  $(\text{Cu}_9,75\text{Ag}_0,01)_{9,76}(\text{Fe}_{0,42}\text{Zn}_{1,65}\text{Cd}_{0,15})_2,22\text{As}_{3,97} \text{S}_{13,05}$   
 51.  $(\text{Cu}_9,76\text{Ag}_0,01)_{9,77}(\text{Fe}_{0,32}\text{Zn}_{1,63}\text{Cd}_{0,5})_2,10\text{As}_{4,04} \text{S}_{13,10}$   
 52.  $\text{Cu}_9,68(\text{Fe}_{0,36}\text{Zn}_{1,62}\text{Cd}_{0,18})_2,16\text{As}_{4,05} \text{S}_{13,11}$   
 53.  $(\text{Cu}_9,81\text{Ag}_0,02)_{9,83}(\text{Fe}_{1,60}\text{Zn}_{0,40}\text{Cd}_{0,20})_2,20(\text{As}_{0,98}\text{Sb}_{3,08})_4,04 \text{S}_{12,93}$   
 54.  $(\text{Cu}_9,76\text{Ag}_0,02)_{9,78}(\text{Fe}_{1,90}\text{Zn}_{0,35}\text{Cd}_{0,21})_2,46(\text{As}_{0,82}\text{Sb}_{3,11})_3,93 \text{S}_{12,83}$   
 55.  $(\text{Cu}_9,58\text{Ag}_0,07)_{9,65}(\text{Fe}_{0,49}\text{Zn}_{1,71}\text{Cd}_{0,17})_2,37(\text{As}_{2,51}\text{Sb}_{1,55})_4,06 \text{S}_{12,93}$   
 56.  $(\text{Cu}_9,81\text{Ag}_0,01)_{9,82}(\text{Fe}_{0,21}\text{Zn}_{1,73}\text{Cd}_{0,17})_2,11(\text{As}_{3,64}\text{Sb}_{0,39})_4,03 \text{S}_{13,04}$   
 57.  $(\text{Cu}_9,75\text{Ag}_0,01)_{9,76}(\text{Fe}_{0,27}\text{Zn}_{1,84}\text{Cd}_{0,17})_2,28(\text{As}_{3,55}\text{Sb}_{0,52})_4,07 \text{S}_{12,89}$   
 58.  $(\text{Cu}_9,62\text{Ag}_0,01)_{9,63}(\text{Fe}_{0,38}\text{Zn}_{1,70}\text{Cd}_{0,16})_2,24(\text{As}_{4,07}\text{Sb}_{0,04})_4,11 \text{S}_{13,02}$   
 59.  $(\text{Cu}_9,63\text{Ag}_0,01)_{9,64}(\text{Fe}_{0,28}\text{Zn}_{1,83}\text{Cd}_{0,20})_2,31(\text{As}_{3,66}\text{Sb}_{0,37})_4,03 \text{S}_{13,02}$   
 60.  $\text{Cu}_9,46(\text{Fe}_{0,30}\text{Zn}_{1,86}\text{Cd}_{0,18})_2,34(\text{As}_{3,97}\text{Sb}_{0,17})_4,14 \text{S}_{13,07}$   
 61.  $(\text{Cu}_9,72\text{Ag}_0,01)_{9,73}(\text{Fe}_{1,39}\text{Zn}_{0,77}\text{Cd}_{0,14})_2,30(\text{As}_{2,97}\text{Sb}_{0,02})_3,09 \text{S}_{12,98}$   
 62.  $\text{Cu}_9,33(\text{Fe}_{1,20}\text{Zn}_{1,77})_2,97(\text{As}_{3,58}\text{Sb}_{0,17})_3,75 \text{S}_{12,95}$   
 63.  $(\text{Cu}_8,82\text{Ag}_0,86)_{9,68}\text{Zn}_{1,21}(\text{As}_{0,69}\text{Sb}_{3,47})_4,16 \text{S}_{13,94}$   
 64.  $\text{Cu}_9,56(\text{Zn}_{1,45}\text{Fe}_{0,60})_2,05(\text{As}_{3,91}\text{Sb}_{0,22})_4,13 \text{S}_{13,25}$

\*1 — Немурьяганское месторождение (Литошко, 1988); 2—7 — Березовское месторождение (Чесноков, Попова, 1972); 8 — то же (Rose, 1837); 9 — Шарташский массив (Куруленко и др., 1985); 10 — Харбийское месторождение (Котов, Яковлева, 1986); 11—26 — Аузбаховское (данные В. В. Мурзина); 27—31 — Спелтинское (данные В. В. Мурзина); 32—41 — Уэльгинское (Ярош, Буслав, 1985); 42—45 — Гайское (Молошаг, 1978); 46—61 — Сафьяновское (данные Т. И. Шнробоковой и В. В. Мурзина); 62 — Кыштымское (Заварицкий, 1929); 63 — Новосибайское (Юшко-Захарова и др., 1981); 64 — Юлалинское (данные Т. Н. Шадлун).

никова (1986), в обрамлении многофазного гранитоидного массива длительного формирования  $D_3 - C_3$  (мурзинско-адуийский комплекс) максимум ее развития, представленный золото-галенит-блеклорудно-кварцевыми телами, приходится на удаленные (несколько километров) от контактов массива зоны. По периферии ареалов развития кварцево-жильной минерализации (более 10 км) отмечены золото-антимонит-кварцевые тела, в которых блеклые руды (сурьмянистого состава) входят в ассоциацию второго, более низкотемпературного подэтапа с борнитом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, антимонитом.

В прожилково-вкрапленных рудах Мелентьевского месторождения, где поздняя полиметаллическая минерализация, генетически связанная с гранитами, наложена на колчеданное оруденение, блеклые руды (Рожков, Абдрахимов, 1948) развиты в виде тонкозернистого агрегата (от 3 до 7 %); представлены теннантитом, образующим сростки со сфалеритом, халькопиритом, кварцем.

Блеклорудная минерализация характерна для стратиформного полиметаллического оруденения, приуроченного к карбонатно-терригенным толщам и генетически связанного с вулканогенными сериями. По данным Т. И. Широковой (1984), в колчеданно-полиметаллическом типе (Амурское месторождение), развитом среди карбонатно-черносланцевой толщи, блеклая руда, представленная теннантитом, встречается в небольшом количестве в полосчатых рудах в ассоциации с пиритом, пирротинном, сфалеритом, галенитом. В барит-полиметаллическом типе (Саурейское, Надежное, Новое, Гладкинское, Бойцовское) блеклые руды, представленные серебристым тетраэдритом, присутствуют в составе существенно галенитовых руд со сфалеритом, бурнонитом, халькопиритом. Эти типы стратиформного оруденения по условиям рудоотложения относятся к гидротермально-осадочным, синхронным осадконакоплению, а присутствие блеклых руд указывает на глубинный источник минерализации. Обычны в колчеданных месторождениях (Амирасланов, 1937; Цепини др., 1978).

Вне связи с магматогенными образованиями блеклые руды установлены в Ауэрбаховском рудном поле и Пластовском районе, где они импрегнируют окварцованные, серицитизированные, карбонатизированные известняки, туфоалевролиты и локализируются в прожилках доломита. Блеклые руды обрастают зерна халькопирита, сфалерита, образуют сростания с галенитом и вроски неправильной формы в нем. В ассоциацию также входит пирит, арсенопирит, буланжерит и другие свинцово-сурьмяные сульфосоли. Состав блеклых руд зонально меняется от теннантита до тетраэдрита и, как правило, отвечает их цинкистым (реже железистым) разновидностям. Характерно наличие в их составе переменных количеств серебра. Минерализация Пластовского района представлена зоной сульфидной вкрапленно-

сти в приразломных метаморфогенных образованиях кварц-биотитового и кварц-серицитового составов. Блеклые руды тетраэдрит- и теннантит-тетраэдритового типов образуют каплевидные и угловатые включения (0,01—0,05 мм) в метакристаллах пирита, встречены в ассоциации с теллуридами в кварцевых прожилках в кварц-биотитовых метасоматитах. Мелкие (до 0,1 мм) кристаллики блеклой руды приурочены к трещинкам в жильном кварце, где они ассоциируют с теллуридами. В составе блеклых руд этого проявления также присутствует серебро.

Выявление типохимических особенностей блеклых руд Урала затруднено, поскольку химически охарактеризованы лишь немногие из рассмотренных генетических типов. Тем не менее в распределении наиболее распространенных мышьяковистой и сурьмянистой разностей намечается общая закономерность преимущественного развития первых на колчеданных и полиметаллических месторождениях Урала, а вторых — на месторождениях, генетически связанных с гранитоидами. Химических анализов, отвечающих чисто медистым разностям, нет. Из двухвалентных металлов в составе блеклых руд всех исследованных объектов постоянно присутствует и, как правило, преобладает Zn, на отдельных объектах, наряду с цинкистыми разновидностями, встречаются железистые (Учалинское, Узельгинское, Березовское, Харбейское), но обычно присутствуют оба компонента в переменных количествах с преобладанием Zn. Богатые железом разновидности блеклых руд тяготеют к мышьяковистым составам (теннантиты, тетраэдрит-теннантиты), для цинкистых такой избирательности не наблюдается. Другие двухвалентные металлы в составе блеклых руд редки и, как правило, составляют специфику отдельных месторождений. В Сафьяновском колчеданном месторождении наряду с Zn и Fe присутствует Cd (один атом), на Левихинском — Zn. Кадмийсодержащие Zn-теннантит и теннантит-тетраэдрит встречены также на Березовском месторождении. Отдельными анализами в блеклых рудах зафиксирована Hg (один атом; Березовское, Ауэрбаховское, Учалинское месторождения). Единственная находка богатой ртутью разновидности на Троговском месторождении требует уточнения. Еще более редок Pb. Он обнаружен в Учалинском месторождении в составе Zn-теннантита, обогащенного Ag и Te. Свинец встречается также в блеклых рудах Березовского месторождения.

Из одновалентных металлов серебро — широко распространенный изоморфный компонент блеклых руд Урала. Серебри-

---

<sup>1</sup> При обзоре химических разновидностей использованы данные табл. 1 и анализы блеклых руд колчеданных, полиметаллических и Березовского золоторудного месторождения Урала из публикации Н. Н. Мозговой, А. И. Цепина (1983), которые здесь не цитируются ввиду большого объема (~250 анализов).

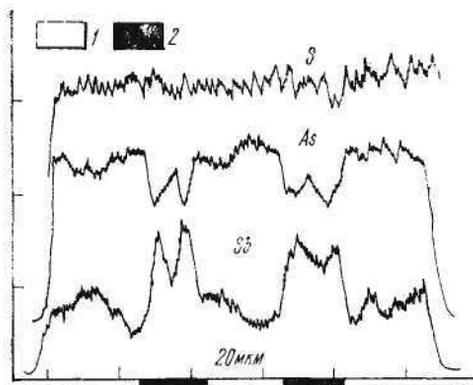


Рис. 1.15. Кривые концентраций сурьмы, мышьяка и серы вдоль профиля, пересекающего кристалл зональной серебросодержащей блеклой руды, представленной теннантитом (1) и теннантит-тетраэдритом (2).

морфных компонентов: встречаются обогащенные серебром цинкистые, железистые, смешанные (и содержащие другие примеси) разновидности тетраэдритов, теннантитов, переходных сурьмяно-мышьяковых составов (рис. 1.15 и 1.16). В больших количествах (более одного атома) серебро присутствует в составе тетраэдритов в минерализации Пластовского района (цинкистая разновидность аргентотетраэдрита) и в Ауэрбаховском рудном поле (цинкистая и железистая разновидности). Состав блеклой руды последнего объекта с содержанием Ag 22,54 % (3,9 атома) может быть отнесен к фрейбергиту.

Примеси Te зафиксированы в количестве от 0, *n* до 1 % в блеклых рудах некоторых колчеданных (Гайское, Учалинское, Узельгинское) и колчеданно-полиметаллических месторождений (Таш-Тау, Майское).

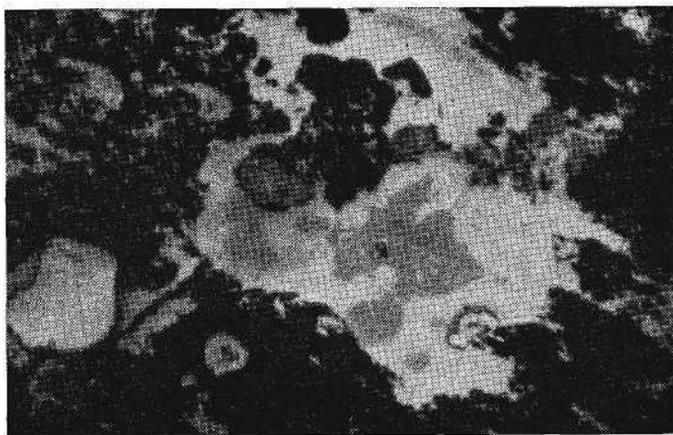


Рис. 1.16. Выделения серебросодержащего цинк-тетраэдрита (серое) в галените среди кварц-карбонатного метасоматита.  $\times 180$ .

Показатели отражений купростибита, %

λ, нм	1	2	λ, нм	1	2
440	57,0	59,1	600	47,1	48,5
460	55,2	57,2	620	51,2	50,1
480	52,0	56,6	640	54,4	53,5
500	49,1	53,1	660	57,0	54,0
520	45,2	49,8	680	57,5	56,1
540	41,0	41,5	700	59,1	58,0
560	42,2	46,9	720	60,0	80,0
580	44,2	46,1	740	62,0	62,2

Наиболее редкий из полуметаллов в уральских блеклых рудах — висмут. Висмутистые разности установлены на Гайском, Узельгинском, им. XIX Партсъезда, Березовском месторождениях. В месторождениях Харбейского антиклинория (Немурьюганское, Харбейское, Лонготьюганское) висмут — типоморфный элемент блеклых руд, содержание его варьирует от 0,3 до 6 % (данные Д. Н. Литовско, О. А. Яковлевой). Максимальное из зафиксированных здесь содержаний 17,6 % (~1,5 атомов), близко к наиболее богатой аннивитовой составляющей природной блеклой руды (1,69 атомов); чистый аннивит в природе не известен (Мозгова, Цепин, 1983).

Аргентотетраэдрит цинкистый (Ag до 31 мас.%) отмечен О. А. Яковлевой в полиметаллических рудах Комсомольского и Сульфидного рудопроявлений на Полярном Урале.

Тетраэдрит ртутистый, по данным О. А. Яковлевой, присутствует в рудах Минисейского полиметаллического рудопроявления (Полярный Урал, вместе со швацитом). Содержания ртути в блеклой руде 7,6—12,5 мас. %.

#### 1.4.4. Зелигманнит — $PbCuAsS_3$ , ромб. с. (Seligmannite)

Зелигманнит указывается С. С. Смирновым (1925, 1927) в отвалах Каменно-Павловского прииска в Кочкарском районе, где он обнаружен в 1921 г. в виде обильной вкрапленности в тонкозернистом известняке. Зелигманнит представлен зернами до 2—3 мм прямоугольно-таблитчатой формы, сильно выветрелых, с ореолом медной зелени и сини и превращенных в темный продукт. В центральных частях некоторых зерен сохранились неизменные участки, обладающие свинцово-серым цветом и металлическим блеском. Паяльной трубкой выявлены Pb, Cu, As, S, что позволило отнести минерал к зелигманниту. Требуется подтверждения.

#### 1.4.5. Купростибит — $\text{Cu}_2\text{Sb}$ , тетра. с. (Cuprostibite)

Купростибит впервые в СССР обнаружен М. Н. Новгородовой (1980) в Кумак-Котансуйской зоне смятия на Южном Урале. Встречен в кварц-карбонатных жилах в единичных зернах до  $50 \times 70$  мкм в сростании со свинцовистым стистаитом, свинцом, оловянно-цинкистой медью, кубанитом. В верхних горизонтах рудных зон купростибит располагается по трещинам в жильном кварце; на нижних горизонтах образует вкрапленность в минерализованных карбонатизированных и фельдшпатизированных туфах среднего состава, где образует каймы вокруг порфиробластических кристаллов анкерита. Состав, мас. %: Cu 47,20; Zn 7,38; Sb 41,32; Pb 2,20; сумма 98,10. Кристаллохимическая формула  $(\text{Cu}_{1,92}\text{Sn}_{0,15})_{2,07}(\text{Sb}_{0,87}\text{Pb}_{0,3})_{0,90}$ .

Характерные линии дебаеграммы: 2,82 (4) (110); 2,57 (5) (111); 2,09 (10) (112); 1,99 (4) (200); 1,43 (3) (104); параметры элементарной ячейки:  $a_0 = 3,99 \pm 0,01$ ,  $c_0 = 6,09 \pm 0,01$  Å,  $c/a = 1,53$ ; рентгеновская плотность 8,42 г/см<sup>3</sup>. Микротвердость при нагрузке 10 г составляет 200—210 кг/мм<sup>2</sup> (по пяти замерам в трех зернах). В отраженном свете под микроскопом розовато-коричневого цвета, со слабым двуотражением и сильной анизотропией (Новгородова, 1983); дисперсия отражения приведена в табл. I.14.

#### 1.4.6. Ауростибит — $\text{AuSb}_2$ , куб. с. (Aurostibite)

Установлен в рудах Комсомольского рудопроявления О. А. Яковлевой в ассоциации с гудмундитом, пирротинном, сульфосолями. Образует сростания с таблитчатыми кристаллами брейтгауптита на границе более крупных выделений пирротина. Размер зерен ауростибита 0,5—1 мкм. Диагностирован по качественному составу.

#### 1.4.7. Фаматинит — $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$ , тетраг. с. (Famatinite)

Фаматинит указывался Е. Е. Захаровым и С. А. Юшко (1935) в колчеданном месторождении им. III Интернационала и золоторудном Аятско-Арамашевском; А. А. Амираслановым (1937) — в Южной линзе рудника Левиха IX и в Карлушинском месторождении; предположительно указывался Софроновым в рудах Васильевского рудника (Овчинников, 1948) Турьинской группы месторождений. Б. В. Мерлич предположительно определил его в баритовых рудах месторождения Шмидта (Лазаренко, 1947).

Фаматинит в рудах месторождений им. III Интернационала наблюдался Е. Е. Захаровым и С. А. Юшко (1935) под микроскопом в виде мелких зерен и каемок на теннантите, включений в ковеллине, сфалерите и жильном минерале. Встречались ос-

разцы руды с содержанием (до 3%) фаматинита. Качественными реакциями в описываемом минерале обнаружены медь, сурьма и олово (до 2%).

Присутствие фаматинита в Аятско-Арамашевском месторождении установлено микроскопически Е. Е. Захаровым и С. А. Юшко (1935) среди низкотемпературных образований в ассоциации с тетраэдритом и антимонитом. Фаматинит из Левихинского и Карпушинского месторождений (Амирасланов, 1937) наблюдался в шлифах в виде розоватых ксеноморфных зерен, в которых качественно определена сурьма. Требуется подтверждения.

Фаматинит предположительно указывается в редкометаллических альбититах Полярного Урала в сростках с пирохлором. Диагностирован по рентгенограмме (Калиновский, Игнатов, 1987).

#### 1.4.8. Халькостибит — $\text{CuSbS}_2$ , ромб. с. (Calcostibite)

Установлен Т. И. Широковой и другими (1987) в сульфидных стратиформных полиметаллических руд в карбонатных рифейских толщах Башкирского мегантиклинория в виде микровключений. Наблюдался в пирите и сфалерите из руд Кужинского месторождения в виде тончайших удлиненных пластинок, диагностированных рентгенографически, и в сфалерите Верхнеаршинского колчеданно-полиметаллического месторождения. В первом случае с халькостибитом идентифицированы отражения  $3,13 \text{ \AA}$  (5),  $2,30$  (1),  $2,25$  (0,5),  $1,840$  (0,5),  $1,764$  (0,5). Сульфиды в этих рудах, судя по изотопным характеристикам серы и их структурным особенностям, отлагались при неравновесных условиях и низких температурах (ниже  $150^\circ\text{C}$ ). Халькостибит выявлен также в виде микровключений в пирите из брекчированных руд Сафьяновского цинково-медного колчеданного месторождения в Восточно-Уральском поднятии. Диагностирован рентгенографически и по дифракции электронов, отвечающей плоскости (220) обратной решетки этого минерала.

#### 1.4.9. Акташит — $\text{Cu}_6\text{Hg}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$ , триг. с. (Aktashite)

Обнаружен в зонах окварцевания и сульфидизации известняков и туфоалевролитов Ауэрбаховского скарнового месторождения. Ассоциирует с сульфидами и сульфосолями мышьяка, сурьмы, ртути, образующими скопления в окварцованных и пиритизированных туфоалевролитах или брекчированных известняках. В составе минерального парагенезиса установлены реальгар, киноварь, аурипигмент, сульфосоли свинца, ртутистый сфалерит (до 23 мас. % ртути).

Выделения акташита до  $0,05$  мм имеют неправильную, реже овально-изометричную форму и располагаются обычно в межзерновых пространствах карбоната. Цвет минерала светло-

Таблица 1.15

## Химический состав акташита, мас. %

№ анализа	Cu	Ag	Hg	Fe	Zn	Cd	As	Sb	S	Сумма
1	22,63	0,39	30,28	0,48	1,98	0,42	17,10	1,19	23,85	98,32
2	24,14	0,0	31,45	0,31	1,66	1,09	16,57	2,62	23,95	101,79
3	23,62	0,0	33,68	0,44	1,48	0,94	16,76	2,17	23,30	102,29

## Кристаллохимические формулы

- $(\text{Cu}_{5,80}\text{Ag}_{0,06})_{5,86}(\text{Hg}_{2,46}\text{Zn}_{0,40}\text{Fe}_{0,14}\text{Cd}_{0,06})_{3,15}(\text{As}_{3,72}\text{Sb}_{0,16})_{3,88}\text{S}_{12,11}$
- $\text{Cu}_{6,06}(\text{Hg}_{2,50}\text{Zn}_{0,41}\text{Fe}_{0,09}\text{Cd}_{0,15})_{3,15}(\text{As}_{3,53}\text{Sb}_{0,34})_{3,87}\text{S}_{11,92}$
- $\text{Cu}_{6,01}(\text{Hg}_{2,70}\text{Zn}_{0,36}\text{Fe}_{0,13}\text{Cd}_{0,14})_{3,33}(\text{As}_{3,62}\text{Sb}_{0,29})_{3,91}\text{S}_{11,75}$

Таблица 1.16

## Расчет рентгенограммы Нижнетагильского (1) и эталонного (2) сперрилита

1		2 (Михеев, 1957)		
<i>l</i>	<i>d</i> , Å	<i>l</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
3	3,455	6	3,38	111
4	2,98	8	2,94	200
2	2,68	6	2,64	210
2	2,455	6	2,41	211
4	2,11	8	2,10	220
10	1,801	10	1,788	311
2	1,7255	4	1,720	222
2	1,652	4	1,65	320
2	1,597	6	1,59	321
3	1,370	6	1,37	331
4	1,335	8	1,33	420
1	1,303	4	1,30	421
1/2	1,275	3	1,272	332
4	1,218	9	1,220	422
10	1,150	10	1,144	511, 333
2	1,108	6	1,105	520, 432
1	1,089	6	1,088	521
6	1,055	9	1,050	440
6	1,008	7	1,005	531
8	0,994	3	0,990	660, 442

$a=5,969 \text{ \AA}$

$a=5,950 \text{ \AA}$

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57, 3 мм;  $\text{FeK}\alpha$  - излучение; препарат — поликристаллическое зерно размером около 0,1 мм. При расчете вводили поправки на поглощение (толщину) препарата.

серый. Оптическая анизотропия проявлена очень слабо. Химический состав трех изученных рентгеноспектральным методом выделений акташита достаточно хорошо пересчитывается на формулу  $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$  (табл. I.15). Характерная особенность состава уральского акташита в отличие от акташита из месторождений Гал-Хая (Якутия) и Чаувай (Ср. Азия) — присутствие значительных примесей цинка (до 0,49 форм. ед.) и кадмия (до 0,15 форм. ед.). Основная часть примесных и основных компонентов распределена в выделениях равномерно. Лишь в крайних частях — в зоне шириной 5—7 мкм — наблюдается повышенные концентрации железа до 2,7 %, сопровождающееся соответствующим падением содержания меди.

## 15 АРСЕНИДЫ, СТИБНИДЫ И СУЛЬФОАРСЕНИДЫ ПЛАТИНОИДОВ

На Урале установлены или указываются сперрилит, холингвортит, ирарсит, атенеит, геверсит, мертиит, изомертит, стибипалладинит и стиллуотерит, рутенарсенит, иридарсенит и толовкит.

### 1.5.1. Сперрилит — $PtAs_2$ , куб. с. (Sperrylite)

Сперрилит отмечался в 1953 г. М. К. Тимошенко и В. Ф. Мезенцевой в виде очень мелких включений в нерудных минералах северо-западного участка Волковского габбрового массива, но без указания диагностических признаков. Достоверно определен в самородках из Бисерской дачи (Верхнеисовские россыпи) Штумпфлем и Таркианом (Stumpfl, Tarkian, 1976) в кристаллах удлиненной формы с неправильными и кристаллографическими ограничениями размером 0,2—0,4 мм. В них обнаружены в виде включений зерна пирротина, халькопирита, золота, майченерита, холингвортита и, возможно, теларггалита.

В образцах из коренных пород Нижнетагильского ультраосновного массива нами встречены выделения и кристаллы сперрилита размером от 0,01 до 1 мм в поперечнике. Форма выделений сперрилита слегка удлиненная, реже изометричная, неправильная (рис. 1.17). В сростании со сперрилитом обнаружены изоферроплатина, платина, эрликманит, пирротин, золото, куперит, ирарсит (рис. 1.18). С ирарситом сперрилит иногда образует структуры типа распада твердых растворов.

В отраженном свете под микроскопом сперрилит выглядит светло-серым с голубоватым оттенком, в скрещенных николях изотропный, двуотражение отсутствует. Твердость довольно высокая, минерал хрупкий. Химический состав, определенный на рентгеновском микроанализаторе, мас. %: Pt 56,4; As 44,3; сумма 100,7. Примеси практически отсутствуют. Рентгенограмма нижнетагильского сперрилита приведена в табл. I.16.

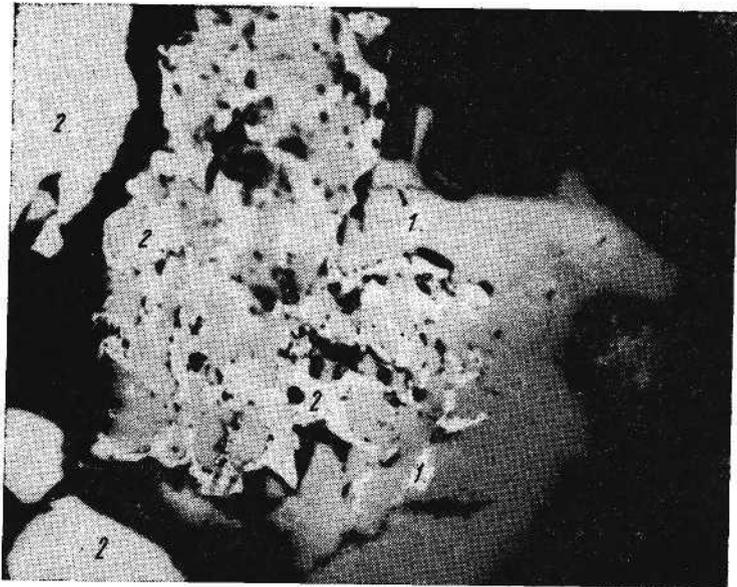


Рис. 1.17. Срастание спериллита (1) с изоферроплатиной (2). Черное — пластмасса.  $\times 400$ .

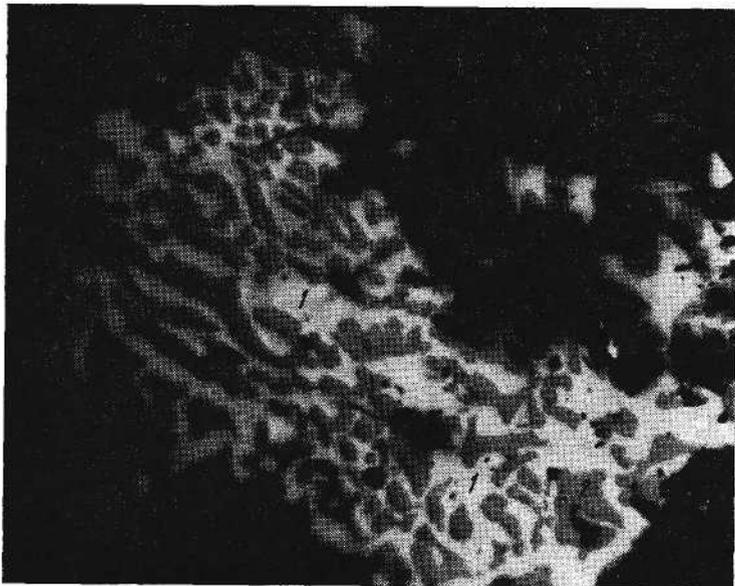


Рис. 1.18. Срастание спериллита (1) с ирарситом (2). Черное — пластмасса.  $\times 600$ .

### 1.5.2. Стиллиотерит — $\text{Pd}_8\text{As}_3$ , триг. с. (Stillwaterite)

Указывается Ю. А. Волченко и А. А. Малюгиным (1986) в стратиформных хромитовых комплексах западного склона Урала (вероятно, Сарановский рудник) в метаморфизованных хромитовых рудах с порпечитом, сульфидами, арсенидами и теллуридами палладия и сульфидами железа, никеля и кобальта. Диагностические признаки не приводятся.

### 1.5.3. Атенеит — $(\text{Pb}, \text{Hg})_3\text{As}$ , гекс. с. (Atheneite)

Предположительно указывается Ю. А. Волченко и другими (1975) для Гусевогорского титаномагнетитового месторождения, затем в аллювиальных россыпях золота одного из районов зоны рифтогенеза (Малюгин, Вилисов, 1982) и в Сарановской расслоенной интрузии (Волченко, Малюгин, 1986). В рудах Гусевогорского месторождения атенеит находится в парагенезисе с вусоцкитом, брэггитом, мертиитом, сперрилитом, стибнопалладиитом, котульскитом. Реже отмечаются палладистые золото, платина и потарит. Размер зерен атенеита и сростков их от 1—5 до 100—200 мкм. Выделения минералов обычно монофазны.

Состав атенеита из Гусевогорского и Приполярноуральского месторождений соответственно следующий, мас. %: Pb 62,6 и 69,57; Cu 0,1 и 0,2, Pt 0,3 и не обн., Fe 1,1 и не обн., Ni 0,2 и не обн., Au — не опр. и 0,2, Hg 21,1 и 12,0, Sb — не опр. и 0,2, As 15,5 и 17,4, сумма 100,9 и 99,57. Кристаллохимические формулы: 1.  $(\text{Pd}_{2,54}\text{Pt}_{0,01}\text{Fe}_{0,09}\text{Cu}_{0,01}\text{Ni}_{0,01}\text{Hg}_{0,45})_{3,11}\text{As}_{0,89}$ ; 2.  $(\text{Pd}_{2,75}\text{Cu}_{0,01}\text{Hg}_{0,25})_{3,01}\text{As}_{0,98}\text{Sb}_{0,01}$ .

В хромититах Сарановской расслоенной интрузии атенеит установлен в парагенезисе с осмиевым лауритом, брэггитом, эрликманитом, стиллюотеритом, сперрилитом и порпечитом (Волченко, 1986). Свойства и состав минерала не описываются. В россыпях зоны рифтогенеза Приполярного Урала атенеит обнаружен (Малюгин и др., 1980) в сростании с золотом пробыности ~ 850, содержит, кроме серебра, повышенные количества меди (0,9 %), ртути (0,6 %) и палладий (1,1 %). Выделения атенеита округлой или шестиугольной формы, размер их от 2—5 до 10 мкм. Они беспорядочно рассеяны в золотине. Цвет минерала светло-серый с голубоватым оттенком. Отражательная способность средняя ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм): 24,5 (425); 29,7 (450); 32,8 (475); 35,2 (500); 38,1 (525); 39,9 (550); 41,4 (575); 45,4 (600); 46,4 (625); 46,9 (650); 49,2 (675). Полученные значения ниже приводимых в литературе (Clarke et al., 1974). Не исключено, что это связано, с одной стороны, с особенностями состава атенеита, а с другой, — с малыми размерами выделений. Анизотропия слабая, двукратное увеличение в среднем 6 %. Микротвердость, измеренная на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 25 г, 638 кг/мм<sup>2</sup>.

Химический состав уральского атенеита отличается более низким содержанием мышьяка и присутствием платины, железа и никеля; различия имеются и между самими уральскими атенеитами, в чем, по-видимому, выражается их генетическая разнородность. В одном случае образование минерала связывается с гидротермально-метасоматическим воздействием габбро-норитовых интрузий на клинопироксениты зональных комплексов (Волченко и др., 1975; Волченко, 1986), в другом — кристаллизация атенеита тесно связана с отложением ртути-палладийсодержащего золота, установленного, кроме россыпей, в кварцсерицитовых метасоматитах в экзоконтактовой зоне субинтрузивного тела кварцевых порфиров рифтогенного комплекса.

#### 1.5.4. Холлингвортит — $RhAsS$ , куб. с. (Hollingworthite)

Холлингвортит определен В. Д. Бегизовым и другими (1976) в шлиховом материале из уральских платиновых россыпей и Штумпфелем и Таркианом (Stumpfl, Tarkian, 1976) в виде мельчайших включений в сперрилите из Верхнеисовских россыпей. В. Д. Бегизовым и другими (1976) холлингвортит наблюдался в зернах платины в виде неравномерно распределенных вростков, вытянутых и изометричных кристаллов до  $30 \times 50$  мкм, чаще располагающихся на периферии зерен платины. Обнаружены сростания холлингвортита с эрликманитом, иногда в виде камки холлингвортита вокруг зерен эрликманита. В отраженном свете — светло-серый, в скрещенных николях — изотропный, дисперсия коэффициентов отражения имеет слабо выраженный аномальный характер (табл. I.17). Состав, мас. %: Ru 4,2; Ir 3,8; Rh 37,5; Pt 6,4; S 15,6; As 34,5; сумма 102,0. Кристаллохимическая формула  $(Rh_{0,77}Ru_{0,09}Pt_{0,07}Ir_{0,04})_{0,97}As_{0,97}S_{1,03}$ . Подтвержден рентгенометрически (табл. I.18).

Холлингвортит в Верхнеисовских россыпях (Stumpfl, Tarkian, 1976) встречен в самородке платины в виде мельчайших включений в сперрилите, размером до  $35 \times 25$  мкм с округлыми очертаниями. Кроме холлингвортита, в сперрилите определены халькопирит, пирротин, майченерит ( $PdBiTe$ ), минерал состава  $Pd_2Bi(Te, Sb)$ , серебросодержащее золото и  $Pd-Ag-Te$ -минерал.

#### 1.5.5. Ирарсит — $IrAsS$ , куб. с. (Irsite)

Впервые в СССР установлен А. Д. Генкиным и другими (1974) в полировках из Нижнетагильского дунитового массива (коллекция А. Г. Бетехтина) и В. Д. Бегизовым и другими (1976) в шлиховом материале из уральских платиновых россыпей.

В Нижнетагильском массиве ирарсит (Генкин и др., 1974) встречен в периферической части скопления платины в хромите,

Таблица I.17

## Показатели отражения минералов ряда холлингвортит — ирарсит

$\lambda$ , нм	1	2	$\lambda$ , нм	1	2
430	49,1	52,7	580	50,7	50,0
460	48,7	52,8	610	50,6	49,4
490	49,7	52,3	640	50,3	48,5
520	50,8	51,1	670	50,8	48,9
550	50,9	50,4	700	—	48,2

Примечание. Измерения производили в воздухе, ПООС-1, объектив 21, апертура 0,40; эталон — кремний.

Таблица I.18

## Расчет рентгенограмм минералов ряда холлингвортит — ирарсит (1) и эрликманит — лаурит (2)

1		2	
$l$	$d$ , Å	$l$	$d$ , Å
10	3,37	1	3,33*
4	3,24**	10	3,25
10	2,91	1	2,88*
2	2,83**	9	2,82
3	2,60	1/2	2,57*
		1/2	2,53
4	2,37	1/2	2,35
5	1,985**	3	1,989
8	1,754	2	1,742*
2	1,690	4	1,696
1	1,719	1/2	1,657
1	1,558	1/2	1,627
1/2	1,301	2	1,292
1/2	1,250	2	1,259
1/2	1,187	1/2	1,226
1	1,143**	1	1,140
3	1,119	1/2	1,109*
2	1,079	1	1,082
1	1,027		
1/2	0,992**		

$$a_0 = 5,816 \pm 0,006 \text{ Å}$$

$$a_0 = 5,628 \pm 0,006 \text{ Å}$$

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}\alpha$  - излучение. Звездочкой отмечены линии холлингвортита ( $a_0 = 5,765 \pm 0,006 \text{ Å}$ ), двумя — линии лаурита ( $a_0 = 5,609 \pm 0,006 \text{ Å}$ ).

среди миллерита. Представлен изометричными и вытянутыми кристалликами до 60 мкм. Встречается в ассоциации с измененными минералами платиновой группы, хромитом, миллеритом, медью, никелистым железом и серпентином. Состав ирарсита близок к теоретическому, мас. %: Ir 63,6; Ru 0,1; Rh 0,65; Ni 0,36; S 10,9; As 24,7; сумма 100,31. Кристаллохимическая формула  $\text{Ir}_{0,97}\text{Rh}_{0,02}\text{Ni}_{0,02}\text{As}_{0,97}\text{S}_{1,00}$ .

Источником рутения, родия и иридия могли служить подвергавшиеся серпентинизации изоферроплатина и другие минералы платиновой группы, содержащие родий, рутений и иридий, а никель мог поступать из первичных сульфидов и оливина.

Ирарсит из платиновых россыпей (Бегизов и др., 1976) обнаружен в периферических частях мелких зерен платины. Зернышки его имеют удлиненную форму, прямолинейные и плавные очертания, размер их  $(20-30) \times 50$  мкм. В ассоциации с ирарситом установлены эрликманит, лаурит и холлингвортит. Вне поликсеновой матрицы сульфоарсениды не наблюдались. По составу относится к платино-родиевой разновидности, мас. %: Os 10,6; Ru 3,1; Ir 24,8; Rh 8,0; Pt 17,0; S 14,2; As 23,9; сумма 101,6. Кристаллохимическая формула  $(\text{Ir}_{0,34}\text{Pt}_{0,23}\text{Rh}_{0,20}\text{Os}_{0,15}\text{Ru}_{0,08})_{1,00}\text{As}_{0,84}\text{S}_{1,16}$  (табл. I.18).

#### 1.5.6. Геверсит — $\text{PtSb}_2$ , куб. с. (Geversite)

Геверсит упоминается Штумпфелем и Таркианом (Stumpfl, Tarjian, 1976) вместе со спериллитом из уральских россыпей. Диагностические признаки не приводятся.

#### 1.5.7. Мертиит — $\text{Pd}_5\text{Sb}_2$ , псевдогекс. (Mertieite)

Мертиит предположительно указывается Ю. А. Волченко и другими (1975) в списке минералов из сульфидных концентратов гусевогорских титаномагнетитов. Приводится микронзондовое определение состава (табл. I.19., ан. 1). Установлен А. А. Малюгиным и В. А. Вилисовым (1982) в виде включений в золоте из аллювия Полярного Урала. Подтвержден рентгенограммой ( $a=7,57$ ,  $c=43,41$  Å) и микронзондовым анализом (см. табл. I. 19, ан. 2—4).

#### 1.5.8. Изомертиит — $\text{Pd}_5(\text{As}, \text{Sb})_2$ , куб. с. (Isomertieite)

На Урале изомертиит впервые обнаружен в россыпях золота и определен как мартиит-II (Малюгин и др., 1980; Малюгин, Вилисов, 1982). Последующее детальное изучение минерала позволило уточнить его свойства и отнести к изомертииту. Кроме того, в сростках с золотом он был установлен в протоочках из зон серицит-кварцевых метасоматитов с густой вкрап-

Таблица 1.19

## Химический состав мергитов, мас. %

№ анализа	Pd	Pt	Hg	Cu	Fe	Ni	Au	As	Sb	S	Сумма
1	71,6	0,3	—	0,4	0,3	0,01	—	4,1	22,7	0,1	99,5
2	71,5	—	—	1,73	—	—	He обн.	9,7	15,18	—	98,36
3	72,48	—	—	1,50	—	—	0,21	8,3	16,72	—	99,21
4	64,22	—	3,92	4,45	—	—	1,65	7,5	15,69	—	97,43

## Кристаллохимические формулы

1.  $Pd_{5,06}Pt_{0,01}Cu_{0,05}Fe_{0,04}Sb_{1,4}As_{0,41}S_{0,3}$ .
2.  $Pd_{4,94}Cu_{0,20}Sb_{0,91}As_{0,95}$ .
3.  $Pd_{5,00}Cu_{0,17}Au_{0,01}Sb_{1,01}As_{0,81}$ .
4.  $Pd_{1,54}Cu_{0,53}Au_{0,06}Hg_{0,15}Sb_{0,97}As_{0,75}$ .

Таблица 1.20

## Химический состав изомергита из россыпей зоны рифтогенеза, мас. %

№ анализа	Pd	Au	Cu	As	Sb	Сумма
1	72,64	0,0	0,09	10,80	14,77	98,30
2	71,94	0,0	0,75	10,79	16,93	100,41
3	71,75	0,0	1,73	9,70	15,25	98,40
4	72,48	0,2	1,50	8,30	16,70	99,18

## Кристаллохимические формулы

1.  $Pd_{5,03}Cu_{0,01}(As_{1,06}Sb_{0,90})_{1,96}$ .
2.  $Pd_{4,89}Cu_{0,08}(As_{1,04}Sb_{1,00})_{2,0}$ .
3.  $Pd_{4,93}Cu_{0,20}(As_{0,95}Sb_{0,98})_{1,87}$ .
4.  $Pd_{5,00}Cu_{0,17}Au_{0,01}(As_{0,81}Sb_{1,01})_{1,82}$ .

Таблица 1.21

## Химический состав стибнопалладинита из четвертичных россыпей, мас. %

№ анализа	Pd	Au	Ag	Cu	Pt	Sb	As	Сумма
1	67,26	0,13	0,0	2,83	0,0	25,33	2,14	97,69
2	70,41	0,0	0,0	0,16	0,0	26,61	4,02	101,20
3	70,62	0,0	0,39	0,45	0,0	25,60	3,37	100,43

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Pd_{2,77}Cu_{0,19})_{2,95}(Sb_{0,91}As_{0,13})_{1,04}$ .
2.  $(Pd_{2,88}Cu_{0,01})_{2,84}(Sb_{0,93}As_{0,23})_{1,16}$ .
3.  $(Pd_{2,86}Ag_{0,02}Cu_{0,03})_{2,91}(Sb_{0,90}As_{0,19})_{1,09}$ .



Рис. 1.19. Внешний вид сростаний изомертнита (темно-серое) и самородного золота в четвертичной россыпи на Полярном Урале.  $\times 25$ .

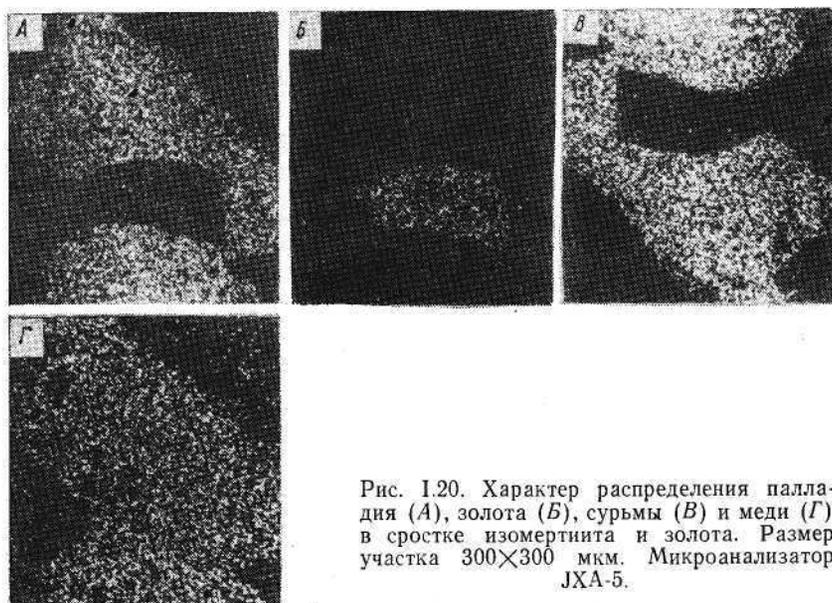


Рис. 1.20. Характер распределения палладия (А), золота (Б), сурьмы (В) и меди (Г) в сростке изомертнита и золота. Размер участка  $300 \times 300$  мкм. Микроанализатор JXA-5.

ленностью сульфидов (пирит, пирротин), служивших одним из коренных источников россыпного золота. В обоих случаях минерал находился в сростании с низкопробным (746—838) золотом, содержащим, кроме серебра, примеси меди (0,1—2,6 %), ртуть (до 0,4 %) и палладий (0,5—2,0 %). Форма выделений изомертинита неправильная, редко округлая (рис. 1.19), лишь в одном случае наблюдались кристаллики изомертинита сложной формы размером 10—15 мкм, нарастающие на концы веточек дендритовидной золотины. Размер включений минерала варьирует от долей микрометра до полумиллиметра. Непродолжительным травлением (10—15 с) в парах царской водки установлена зернистая структура самых крупных выделений: размер микрозерен от 25 до 100 мкм, некоторые из них сдвойникованы.

Цвет минерала черный, темно-серый со слабым фиолетовым оттенком; блеск полуметаллический, что, видимо, связано с наличием тонкой (менее 3 мкм) пленки PdO на поверхности зерен. В полировках изомертинит имеет светло-серый цвет с легким голубоватым оттенком (на фоне светло-желтого золота) при высокой, отражательной способности, величина которой близка к приводимой в литературе (Clarke et al, 1974; Clarke, Criddle, 1982) и составляет ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм): 44,0 (400); 49,8 (450); 51,5 (500); 54,9 (550); 56,2 (600); 58,1 (650); 59,7 (700).

Химический состав полярноуральского изомертинита сходен с описанными ранее находками (табл. 1.20). Минерал однороден (рис. 1.20). Основные линии дебаеграммы, полученные для проб 3 и 4 (см. табл. 1.20), идентичны опубликованным: 2,26 (10); 2,18 (4); 1,447 (5); 1,232 (7); 0,82 (4); 0,798 (5). Микротвердость изомертинита чуть ниже приводимой в справочной литературе («Минералы...», 1986) и незначительно изменяется в пределах зерна от 494,1 до 536,4 кг/см<sup>2</sup>.

Изомертинит гидротермальный, низкотемпературный. Температуры кристаллизации минерала, близкодновременного с палладийсодержащим золотом, видимо, не превышали 200 °С, что согласуется с данными парагенетического анализа для медно-никелевых месторождений.

### 1.5.9. Стибиопалладинит — Pd<sub>3</sub>Sb, гекс. с. (Stibiopalladinite)

На Урале стибиопалладинит установлен В. Д. Бегизовым в породах Нижнетагильского ультраосновного массива, в клинопироксенитах Платиноносного пояса (Волченко и др., 1975; Волченко, Малюгин, 1986), а также в россыпях (Малюгин, Вилисов, 1982). В последнем случае стибиопалладинит обнаружен в виде включений в золоте из четвертичных аллювиальных отложений. Размеры включений не превышают 20 мкм, что затрудняет его диагностику. По этой же причине не удалось получить дебаеграмму минерала.

Форма выделений стибнопалладинита обычно изометричная, округлая (в золоте низкой пробы) или неправильная, угловатая (в высокопробном золоте). Цвет серый, светло-серый со слабым голубоватым оттенком. Отражательная способность средняя, для зерна 1 она составляет ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм): 31,2 (400); 35,7 (450); 41,4 (500); 46,0 (550); 48,2 (600); 52,6 (650). Анизотропия не отмечена, двуотражение очень слабое.

Химический состав уральского стибнопалладинита по соотношению основных компонентов близок к описанным в литературе, однако отличается повышенным содержанием мышьяка, предельно низкими концентрациями сурьмы, отсутствием примесей серы и платины (табл. I.21).

Образование минерала в парагенезисе с другими арсеноантимонидами палладия связывается с метасоматическими или автосоматическими изменениями и серпентинизацией гипербазитов (Бегизов, 1985). В золотосодержащих рудах, служивших источником золота для четвертичных россыпей в одном из районов Урала, отложение стибнопалладинита происходило, по-видимому, при пониженных (порядка 200 °С) температурах синхронно с кристаллизацией низкопробного палладийсодержащего золота или чуть раньше последнего.

#### I.5.10. Рутенарсенит — RuAs, ромб. с. (Ruthenarsenite)

В уральских образцах рутенарсенит впервые обнаружен нами в шлиховом материале из Нижнемиассовского прииска, хранящемся в Минералогическом музее Московского геологоразведочного института (обр. 7290). Рутенарсенит находится в виде включений в зерне рутениридосмина в ассоциации с иридарсенитом, лауритом, ирарситом, родиево-рутениевым пентландитом, бреггитом, куперитом, изоферроплатиной. Выделения рутенарсенита большей частью имеют овальные и лапчатые очертания и размеры до 50 мкм в поперечнике.

В отраженном свете под микроскопом рутенарсенит выглядит желтовато-коричневым с отчетливым двуотражением от кремового до желтовато-коричневого. В скрещенных николях минерал обладает ясной анизотропией в желтовато-серых тонах. Твердость рутенарсенита ниже, чем у рутениридосмина, минерал хрупкий.

Химический состав определен на рентгеновском микроанализаторе, мас. %: Ru 51,5; Ph 3,2; Pt 2,3; Ir 1,9; As 42,5; сумма 101,4. Кристаллохимическая формула  $(Ru_{0,90}Rh_{0,06}Pt_{0,02})_{1,00}As_{1,00}$ .

#### I.5.11. Иридарсенит — IrAs<sub>2</sub>, мон. с. (Iridarsenite)

В уральских образцах иридарсенит впервые обнаружен нами в шлихах из Нижнемиассовского прииска, хранящихся в Минералогическом музее Московского геологоразведочного ин-

ститута (обр. 7290). В крупном зерне рутениридосмина отмечаются включения иридарсенита удлиненной и овальной формы размером до 30 мкм в поперечнике. В сростании с ним встречаются выделения рутенарсенита. В ассоциации с иридарсенитом наблюдаются изоферроплатина, лаурит, осмиевый лаурит, ирарсит, родиево-рутениевый пентландит, инаглиит. Иридарсенит в отраженном свете под микроскопом коричневатого-серого цвета, в скрещенных николях умеренно анизотропный, твердость средняя, минерал довольно хрупкий. Химический состав иридарсенита, определенный на рентгеновском микроанализаторе, мас. %: Ir 46,4; Ru 3,9; Pt 4,0; As 47,2; сумма 101,5. Кристаллохимическая формула  $(Ir_{0,78}Ru_{0,12}Pt_{0,07})_{0,97}As_{2,03}$ .

### 1.5.12. Толовкит — IrSbS, куб. с. (Tolovkite)

Толовкит впервые в уральских образцах обнаружен нами в коренных породах Нижнетагильского ультраосновного массива. Он встречается в виде хорошо образованных кристаллов и зерен в сростании с тетраферроплатиной и изоферроплатиной; в ассоциации с толовкитом отмечаются платиновые тиошпинели, твердые растворы родий — платина — железо. Выделения толовкита не превышают 30—40 мкм в поперечнике, границы выделений большей частью прямолинейные.

В отраженном свете под микроскопом толовкит серый, с легким коричневатым оттенком, несколько темнее лаурита; двуотражение отсутствует, в скрещенных николях минерал изотропный, твердость значительно выше, чем у тетраферроплатины. Химический состав толовкита определен на рентгеновском микроанализаторе, мас. %: Ir 37,9; Rh 10,6; Cu 1,6; Sb 39,2; S 10,4; сумма 99,7. Кристаллохимическая формула  $(Ir_{0,61}Rh_{0,32}Cu_{0,08})Sb_{0,99}S_{1,00}$ .

## 1.6. АРСЕНИДЫ, СТИБНИДЫ, СУЛЬФОАРСЕНИДЫ И СУЛЬФОСТИБНИДЫ СЕРЕБРА, СВИНЦА И РТУТИ

Среди минералов этой группы на Урале установлены или указываются прустит, пираргирит, дискразит, стефанит, фрейбергит, андорит, ливингстонит, фрейслебенит, рутьерит.

### 1.6.1. Прустит — $Ag_3AsS_3$ , триг. с. (Proustite)

Упомянут Г. Касперовичем (1907) в тонкозернистых агрегатах в ассоциации с пираргиритом в Благодатных рудниках. По данным Н. К. Высоцкого (1925), прустит с пираргиритом встречен в мощной (~9 м) гранит-порфировой жиле в районе р. Серебрянки на Северном Урале (приток р. Лобвы). Гранит-порфировая жила, состоящая из кварца, серицитизированного

плагиоклаза и карбоната, залегает в кварцевом диорите и проникнута вкрапленностью колчедана, в котором, кроме Au, Ag и Fe, содержится в отдельных штуфах до 16 % Cu. В контактах дайки указываются сульфидно-кварцевые жилы, разрабатывавшиеся в 1911—1914 гг. на золото. Встречен Ю. С. Кобышевым в 1988 г. в Соколовско-Сарбайском месторождении в кристаллах до 1,5×0,9×0,8 см, массой до 4 г, в парагенезисе с пирсентом, аргентопиритом, акантитом, мышьяком и кальцитом.

Прустит медьсодержащий обнаружен в халькопирит-сфалеритовой ассоциации с теннантитом, галенитом и кварцем О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1981) в рудах Гайского месторождения в виде изометричного включения серого цвета размером 10 мкм. Микрондовый анализ минерала, мас. %: Ag 57,0; Cu 9,8; As 13,7; S 20,0. Кристаллохимическая формула  $Ag_{2,54}Cu_{0,74}As_{0,88}S_{3,00}$ . Минерал имеет слабый коричнево-зеленоватый оттенок, рельеф ниже теннантита, двуотражение слабое, анизотропия ясная.

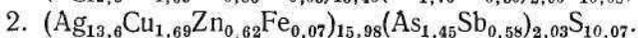
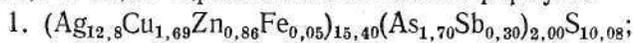
### 1.6.2 Пираргирит — $Ag_3SbS_3$ , триг. с. (Pirargyrite)

Пираргирит на Урале установлен Г. Касперовичем (1907) в Первом Благодатном руднике, затем упоминался Н. К. Высоцкий (1925) в гранит-порфировой дайке по р. Серебрянке на Северном Урале. В Первом Благодатном руднике установлен в музейных образцах, занесенных в каталог проф. Щуровского как галенит. Образец сложен тонкозернистым агрегатом прустита и пираргирита, местами с коркой стально-серых призматических кристаллов до 3 мм в длину и 1,5 мм в поперечнике (10 кристаллов) с гранями призм  $\{11\bar{2}0\}$  и  $\{10\bar{1}0\}$  и ромбоэдра  $(0\bar{1}12)$ . В основную массу вкраплены рассеянные мелкие тупые ромбоэдры анкерита (до 2 мм); мелкие столбики, предположительно штернбергита; белые и желтые «охры», местами тонким слоем покрывающие пираргирит и мелкие желтые с шелковистым блеском кристаллы неизвестного минерала. Черта пурпурно-красная. Диагностирован также испытанием перед паяльной трубкой и кипячением с NaOH. В гранит-порфировой дайке по р. Серебрянке упоминается с пруститом (Высоцкий, 1925). Требуется подтверждения.

### 1.6.3 Пирсеит — $Ag_{16}As_2S_{11}$ , мон. с. (Pearseite)

Пирсеит и сурьмянистый пирсеит (стибиопирсеит) встречен О. А. Яковлевой вместе с полибазитом в Нижнеталотинском барит-полиметаллическом проявлении на Полярном Урале. Минералы полибазит-пирсеитовой серии образуют каймы шириной до 10—15 мкм по галениту, клейофану, цинкистому теннантит-тетраэдриту и стибиолоциониту. Химический состав, мас. %: Ag 65,6; 67,2; Cu 5,11; 4,91; Fe 0,13; 0,18;

Zn 2,68; 1,83; Sb 1,73; 3,20; As 6,06; 4,97; S 17,7; 16,1; сумма 99,0 и 98,39. Кристаллохимические формулы:



Фаза, идентичная по составу пирсенту ( $Ag_{16}As_2S_{11}$  по восьми определениям), установлена К. И. Котовым, О. А. Яковлевой (1986) микрозондовым анализом в виде включений в акантите из Ясного месторождения Щучинского синклиория. Установлен Ю. С. Кобяшевым в 1988 г. в магнетитовых рудах Соколовско-Сарбайского месторождения в виде карминово-красных пластинчатых кристалликов до 3 мм в парагенезисе с пруститом, акантитом, мышьяком и пиритом.

#### 1.6.4. Полибазит — $Ag_{16}Sb_2S_{11}$ , мон. с. (Polybasite)

Полибазит-пирсентовая серия минералов развита в Нижнегалотинском барит-полиметаллическом проявлении на Полярном Урале. Образует узкие каймы (шириной до 10—15 мкм) по галениту, клейофану, цинкистому теннантит-тетраэдриту и стибнолюциониту. По содержанию меди обнаруженные минералы относятся к полибазитовой серии ( $Cu < 7,6$  мас.%), а по отношению As:Sb — к арсенполибазиту. Химический состав, мас. %: Ag 67,6; Cu 6,75; Zn 0,55; Fe 0,13; Sb 7,06; As 2,61; S 14,8; сумма 99,5. Кристаллохимическая формула  $(Ag_{13,7}Cu_{2,32}Zn_{0,18}Fe_{0,05})_{16,25}(Sb_{1,27}As_{0,76})_{2,03}S_{9,77}$ .

#### 1.6.5. Анимикит — $Ag_6Sb$ (Animikite)

Установлен О. А. Яковлевой в парагенезисе с дискразитом в пирротин-сфалеритовых рудах Комсомольского проявления в Текынтальбейском рудном районе Полярного Урала в ассоциации с галенитом, серебром и сульфоантимонидами Pb и Ag. Наблюдается в мелких полигональных зернах до первых микрометров и агрегатов слоистого строения, развивающихся по галениту. Химический состав, мас. %: Ag 80,4; Sb 6,12; Hg 10,2; S 0,13; сумма 96,85.

#### 1.6.6. Дискразит — $Ag_3Sb$ , ромб. с. (Dyscrasite)

На Урале дискразит выявлен Т. И. Широбоковой в виде микровключений в халькопирите и тетраэдрите в жильчатых и массивных цинково-медных рудах Сафьяновского месторождения в Восточно-Уральском прогибе (Коровко и др., 1987). Дискразит в халькопирите встречается в виде мельчайших единичных зерен или их скоплений на площади  $7 \times 7$  мкм в ассоциации со сфалеритом и скуттерудитом (рис. 1.21). От таких отдельных частиц получены дифракции электронов, отвечающие плоскостям (024) и (440) обратной решетки дискразита.

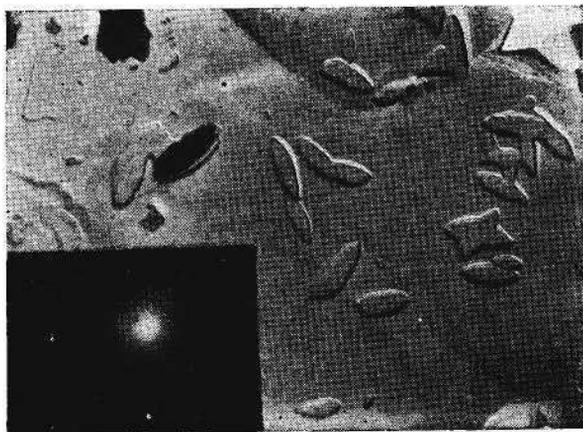


Рис. 1.21. Включения дискразита в халькопирите.  $\times 12\,000$ . На вклейке электрограмма, отвечающая плоскости (440) обратной решетки дискразита. Микроснимок получен на приборе УЭМБ-100В Л. А. Шерстобитовой.

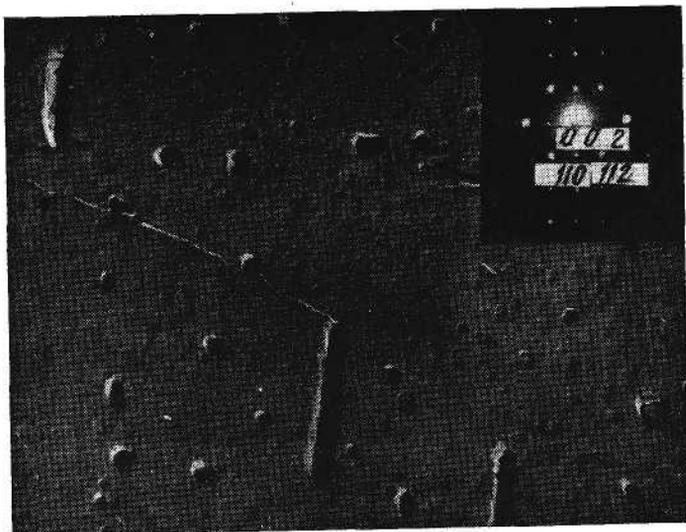


Рис. 1.22. Структура распада твердого раствора с андоритом в галените и точечная электрограмма с извлеченной на реплику частицы андорита.  $\times 8500$ . Цифры обозначают индексы плоскостей обратной решетки андорита.

Микрозондированием установлено резко неравномерное распределение Ag, Co, Ni, Sb, As в халькопирите. В тетраэдрите установлены включения до 3—4 мкм, по данным полуколичественного микрозондового анализа содержащие 23,1% Sb, значительное количество Ag при отсутствии Cu; интерпретированы как дискразит.

Дискразит установлен в пирротин-сфалеритовых рудах Комсомольского рудопроявления (Лекинтальбейский рудный район) в ассоциации с галенитом, самородным серебром и сульфоантимонитами Pb и Ag. Представлен мелкими полигональными зернами (размером первые микрометры) и агрегатами сложного строения, развивающимися по галениту. В строении таких агрегатов участвуют 3—4 фазы, различающиеся по соотношению Ag, Sb и Hg. Химический состав, мас. %: Ag 71,6; Sb 27,4; Hg 2,53; S 0,10; сумма 101,63.

#### 1.6.7. Стефанит — $\text{Ag}_3\text{SbS}_4$ , ромб. с. (Stephanite)

Стефанит встречен в виде микровключений в галените Саурейского стратиформного полиметаллического месторождения на Полярном Урале. В рудах отмечается повышенное содержание серебра, связанного с блеклыми рудами и галенитом. В галените электронно-микроскопически установлены микровключения тонкопластинчатого минерала с зазубренными краями, диагностированного как стефанит по данным рентгенофазового анализа и точечной дифракции электронов, отвечающей плоскости (020) обратной решетки этого минерала.

К стефаниту отнесены отражения: 3,59(1); 3,08(7); 2,89(2); 2,56(1); 2,48(0,5); 1,810(1) Å. В межзерновом пространстве и по трещинкам в галените развиты мелкочешуйчатые церуссит и англезит. Присутствие англезита позволяет предполагать, что стефанит образовался как продукт распада в галените в зоне вторичного обогащения.

Стефанит, по данным О. А. Яковлевой, присутствует в рудах Лекинтальбейского молибденово-медноколчеданного месторождения (Полярный Урал).

#### 1.6.8. Диафорит — $\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$ , мон. с. (Diaphorite)

Установлен О. А. Яковлевой в Комсомольском проявлении на Полярном Урале в ассоциации с овихинитом, дискразитом, анимикитом, галенитом, фрейбергитом, буланжеритом и серебром. Образует редкую мелкую вкрапленность игольчатых выделений в кварце. Размер игольчатых индивидов до  $40 \times 5$  мкм. Химический состав, мас. %: Ag 21,9; Pb 29,6; Fe 0,16; Sb 27,6; S 18,6; сумма 97,86. Кристаллохимическая формула  $\text{Ag}_{2,81}\text{Pb}_{1,98}\text{Fe}_{0,04}\text{Sb}_{3,14}\text{S}_{8,03}$ .

### 1.6.9. Овихиит — $\text{AgPb}_5\text{Sb}_6\text{S}_{15}$ , ромб. с. (Owyheeite)

Установлен О. А. Яковлевой в Комсомольском проявлении на Полярном Урале. Встречен в тесной ассоциации с диафоритом, дискразитом, анимикитом, галенитом, фрейбергитом, буланжеритом и серебром. Образует редкую мелкую вкрапленность в кварце. Индивиды игольчатые, до  $40 \times 5$  мкм. Химический состав овихиита, мас. %: Ag 4,22; Pb 52,0; Cu 0,17; Sb 23,2; S 17,5; сумма 97,09. Кристаллохимическая формула  $\text{Ag}_{1,01}\text{Pb}_{6,44}\text{Cu}_{0,07}\text{Sb}_{4,88}\text{S}_{14,0}$

### 1.6.10. Андорит — $\text{AgPbSb}_3\text{S}_6$ , ромб. с. (Andorite)

Обнаружен в сульфидно-кварцевых жилах Шарташского гранитного карьера в г. Свердловске (Куруленко и др., 1986). Участок представляет систему параллельных, крутопадающих, широтно ориентированных сульфидно-кварцевых жил, пересекающих средне- и мелкозернистые адамеллиты. Околорудные изменения — гумбеитизация и эйситизация. Выделяются четыре стадии последовательного образования рудных минералов: пиритовая, сфалерит-тетраэдритовая, борнит-халькопиритовая и галенитовая, наблюдаемые в виде прожилков, вкраплений и сингенетичных включений. Галенит цементирует все ранее образовавшиеся минералы.

Андорит обнаружен в галените в виде ламелл длиной 1 мкм, образующих структуру распада твердого раствора (рис. 1.22), диагностированных методом реплик с микродифракцией. Извлеченные на реплику призматические кристаллы-ламеллы при дифракции электронов дают точечную электронограмму, соответствующую плоскости (022) обратной решетки андорита (рис. 1.22). Электронограмма получена с трех ориентировок частиц относительно электронного луча. Межплоскостные расстояния: 3,7; 3,2; 2,7; 1,9; 1,4 Å. Эти же значения с основными линиями: 3,74 (5); 3,45 (60); 3,29 (20); 2,81 (20); 2,36 (3); 2,27 (2); 2,16 (10); 2,06 (80) и т. д. зафиксированы рентгенографически, что подтверждает определение андорита. В тонкодисперсной фазе галенита с глобулями в сотые доли микрометра по межплоскостным расстояниям (3,2; 2,7; 2,3; 1,9; 1,6) предполагается крукесит. Спектральный анализ галенита, содержащего включения (аналитик Ю. П. Любимцева), показал присутствие, %: Sb, Bi, Fe 0,0 n; Ag, Cu, Zn, Tl, Mg 0,0 n, As 0—0,0 n; Mn, Al — следы.

### 1.6.11. Фрейбергит — $\text{Ag}_{10}\text{Zn}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , куб. с. (Freibergite)

Предположительно указывался П. В. Покровским (1939, 1941) в жиле Зеленой Кочкарского месторождения, однако его присутствие пока не подтвердилось. По данным О. А. Яковле-

вой, отмечается в рудах Комсомольского рудопоявления на Полярном Урале в парагенезисе с гудmundитом, сфалеритом, пирротинном, галенитом, джемсонитом и бертьеритом.

### 1.6.12. Ливингстонит — $\text{HgSb}_4\text{S}_8$ , мон. с. (Livingstonite)

Ливингстонит рентгеноструктурно определен Харкоуртом (Harcourt, 1942) из коллекции Мёрдоcha с указанием на г. Березовск (Урал). Требуется подтверждения, так как других указаний на его присутствие нет.

### 1.6.13. Рутьерит — $\text{TlHgAsS}_3$ , тетра. с. (Routhierite)

Обнаружен в брекчированных известняках северной части Тагильского синклинария. Минерал редок. Присутствует в тесной ассоциации с реальгаром, ртутистым сфалеритом, мышьяковым пиритом, а также свинцово-таллиевой сульфосолюю в обломках перекристаллизованного известняка. Цемент брекчий представлен туфогенным материалом, окварцованным и пиритизированным. Наиболее крупные выделения рутьерита (до 0,5 мм) имеют неправильную форму, выделения помельче представлены изометричными или овальными вростками в реальгаре и свинцово-таллиевой сульфосоли. В виде вросток в рутьерите присутствуют мышьяковый пирит и ртутистый сфалерит (6—10 % ртути). В отраженном свете рутьерит светло-серый, с голубым оттенком; хорошо просвечивает, внутренние рефлексы темно-красные. Анизотропия минерала отчетливая, в серо-белых тонах. Часты полисинтетические двойники, реже — простые. Спектры отражения рутьерита исследованы Т. Н. Чвилевой на двухлучевом микроспектрорефлектометре конструкции ГОИ (эталон — металлический кремний) и приведены в табл. 1.22.

Минерал хорошо полируется. Относительный рельеф заметно выше, чем у реальгара, ниже, чем у сфалерита. Микротвердость рутьерита (ПМТ-3, навеска 20 г) измерена С. И. Лебедевой, 195—217 кг/мм<sup>2</sup> (средняя из трех определений  $207 \pm \pm 2$  кг/мм<sup>2</sup>). Эти величины значительно выше микротвердости рутьерита из месторождения Жа-Ру, варьирующей от 133 до 157 кг/мм<sup>2</sup> (навеска 25 г).

Химический состав рутьерита, по данным рентгеноспектрального микроанализа, имеет выдержанное соотношение  $\text{Tl}/(\text{Ag} + \text{Cu})$ , близкое к 1. Рутьерит из месторождения Жа-Ру, находящийся в ассоциации с серебряными минералами (смитит  $\text{AgAsS}_2$ , лаффитит  $\text{AgHgAsS}_3$  и др.), значительно богаче серебром и беднее медью, чем уральский, что, по-видимому, и определяет его пониженную микротвердость. В пределах отдельных выделений рутьерита все основные компоненты распределены равномерно. Состав, мас. %:  $\text{Cu}$  5,86 и 3,9;  $\text{Ag}$  0,32 и 3,8;  $\text{Tl}$  19,10 и 20,4;  $\text{Hg}$  40,40 и 34,7;  $\text{Zn}$  0,62 и 2,0;  $\text{As}$  13,26 и 13,2;

Таблица 1.22

## Показатели отражения рутьерита

$\lambda$ , нм	$R_g$ , %	$R_p$ , %	$\lambda$ , нм	$R_g$ , %	$R_p$ , %
400	32,2	30,0	560	30,2	28,4
420	32,2	30,0	580	29,2	27,5
440	32,1	29,9	600	28,2	26,6
460	31,9	29,9	620	27,5	26,0
480	31,8	29,8	640	27,4	25,9
500	31,5	29,6	660	27,4	25,9
520	31,2	29,4	680	27,4	25,9
540	30,7	29,1	700	27,4	25,9

Таблица 1.23

## Расчет рентгенограммы уральского (1) и эталонного (2) рутьерита

1			2 (Johan et al., 1974)		
$I$	$d$ , Å	$hkl$	$I$	$d$ , Å	$d_{расч}$ , Å
		101	3	7,49	7,49
		002	1	5,62	5,64
1	4,99	200	4	4,995	4,990
		112	2	4,414	4,408
10	4,13	211	10	4,146	4,152
6	3,52	220	8	3,525	3,529
3	3,14	310	4	3,149	3,156
10	2,98	222	10	2,989	2,991
2	2,88	213	2	2,884	2,887
		004	2	2,831	2,823
3	2,75	312	3	2,758	2,754
		321	4	2,682	2,687
3	2,63	114	5	2,625	2,621
9	2,48	400	9	2,495	2,494
1	2,34	330	5	2,353	2,352
1	2,22	420	4	2,233	2,231
		224	4	2,208	2,204
2	2,16	332	4	2,170	2,171
1	2,10	314	3	2,106	2,104
1	2,03	413	5	2,037	2,035
		215	5	2,020	2,015
		501	3	1,962	1,965
4	1,870	404	7	1,870	1,870
4	1,815	521	6	1,827	1,828
3	1,755	440	7	1,763	1,764
2	1,662	600	5	1,663	1,663
2	1,611	611	5	1,620	1,623

Sb 1,09 и 2,6; S 18,12 и 19,6; сумма 98,77 и 100,2. Кристаллохимические формулы: 1.  $(\text{Cu}_{0,48}\text{Ag}_{0,02}\text{Ti}_{0,49})_{0,99}(\text{Hg}_{1,04}\text{X}\times\text{Zn}_{0,05})_{1,09}(\text{As}_{0,92}\text{Sb}_{0,05})_{0,97}\text{S}_{2,95}$ ; 2.  $(\text{Cu}_{0,304}\text{Ag}_{0,175}\text{Ti}_{0,495})_{0,974}(\text{Hg}_{0,859}\text{X}\times\text{Zn}_{0,152})_{1,011}(\text{As}_{0,875}\text{Sb}_{0,106})_{0,981}\text{S}_{3,034}$ .

Дебаеграмма уральского рутьерита (камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}_{\alpha+\beta}$ -излучение) хорошо соответствует рентгенограмме минерала из месторождения Жа-Ру, отличаясь несколько меньшей интенсивностью линий (табл. I.23). Рассчитанные параметры кристаллической решетки:  $a_0 = 9,96 \pm 0,01$ ,  $c_0 = 11,20$  Å; рентгеновская плотность  $\rho = 6,15$  г/см<sup>3</sup>.

#### 1.6.14. Швацит — $\text{Cu}_{10}\text{Hg}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , куб. с. (Schwazite)

Швацит обнаружен на Минисейском барит-сульфидном рудопоявлении (Оченьрдский район). Совместно с галенитом халькопиритом, карролит-линнеитом, кобальтином и пиритом выполняет сульфидные прожилки в барите. Размер выделений блеклой руды в сростании с галенитом не превышает десятых долей миллиметра.

Содержание ртути в составах различных зерен швацита (табл. I.24) варьирует от 7,6 до 12,5 мас. %; серебра — от 1,3 до 2,3 мас. %. Из остального количества двухвалентных металлов цинк преобладает над железом; есть примеси Pb и Cd.

Отражение ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм): 31,4 (440); 30,7 (480); 30,3 (520); 30,7 (560); 30,9 (600); 30,4 (640); 29,5 (680); 29,2 (700).

### 1.7. СУЛЬФОАРСЕНИДЫ И СУЛЬФОСТИБНИДЫ СВИНЦА С МЕДЬЮ, ЖЕЛЕЗОМ И ОЛОВОМ

На Урале указываются или установлены иорданит, веенит, геокронит, буланжерит, плагионит, цинкениит, менегинит, бурнонит, джемсонит, сахароваит, кобеллит, франкеит, стистаит.

#### 1.7.1. Иорданит — $\text{Pb}_4\text{As}_2\text{S}_7$ , мон. с. (Jordanite)

Иорданит найден С. С. Смирновым в 1921 г. (1925, 1927) в рудах Андреевского полиметаллического месторождения Кочкарского района (Южный Урал), где он в ассоциации с пиритом, галенитом, сфалеритом, слюдой, тремолитом и турмалином наблюдается в мраморизованном известняке в виде вкрапленности и в сплошных агрегатах. Иногда в виде неправильных изогнутых пластинчатых зерен проникает в известняк. Часто имеет спайность в одном направлении и штриховку на плоскостях спайности. Минерал мягкий (чертится медной иглой), хрупкий, светлее галенита. Не травится стандартными реагентами. Анизотропен, иногда полисинтетически sdвойникован. Химический состав, мас. %: Pb 69,85; S 17,80; As 9,46; Sb 2,10;

Таблица 1.24

## Химический состав швацита

№ анализа	Cu	Ag	Fe	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Sb	S	Сумма
1	35,3	2,33	0,45	2,86	0,28	9,39	He	4,59	21,2	22,6	99,00
2	38,4	1,20	0,81	3,27	0,19	7,55	He обн.	5,27	20,5	23,7	100,89
3	36,6	1,27	0,25	2,27	0,11	12,5	He обн.	0,07	4,72	24,6	102,79

## Кристаллохимические формулы

- $(\text{Cu}_{0,95}\text{Ag}_{0,05})_{10,31} (\text{Hg}_{0,81}\text{Zn}_{0,78}\text{Fe}_{0,14}\text{Cd}_{0,05})_{1,51} (\text{As}_{1,10}\text{Sb}_{3,12})_{4,22}\text{S}_{12,6}$ .
- $(\text{Cu}_{10,3}\text{Ag}_{1,19})_{10,43} (\text{Zn}_{0,83}\text{Hg}_{0,61}\text{Fe}_{0,23}\text{Cd}_{0,03})_{1,77} (\text{As}_{1,20}\text{Sb}_{2,88})_{4,08}\text{S}_{12,6}$ .
- $(\text{Cu}_{0,88}\text{Ag}_{1,20})_{10,08} (\text{Hg}_{1,07}\text{Zn}_{0,60}\text{Fe}_{0,08}\text{Cd}_{0,02}\text{Pb}_{0,01})_{1,78} (\text{As}_{1,08}\text{Sb}_{2,88})_{3,96}\text{S}_{13,2}$ .

Таблица 1.25

## Расчет рентгенограммы норданита из Андреевского рудника

<i>I</i>	$d_{\text{эксп.}}$ Å	<i>hkl</i>	$d_{\text{выч.}}$ Å	<i>I</i>	$d_{\text{эксп.}}$ Å	<i>hkl</i>	$d_{\text{выч.}}$ Å
1	7,01	120	7,03	2	2,086	113	2,084
1	6,68	021	6,72	4	2,040	1.15.0	2,041
1	6,28	130	6,30	4	2,032	104	2,032
1	6,08	031	6,07	2	1,969	144	1,968
1	5,41	041	5,42	6	1,939	482	1,939
1	4,928	150	4,932	1	1,913	2.15.1	1,909
1	4,822	051	4,819	4	1,882	492	1,880
3	4,428	101	4,439	4	1,840	024	1,840
3	3,804	220	3,807	9	1,832	460	1,833
7	3,685	012	3,681			391	1,832
9	3,517	240	3,516	7	1,828	2.15.0	1,828
7	3,366	042	3,358	2	1,807	4.10.2	1,807
8	3,187	191	3,183	5	1,762	322	1,764
10	3,041	262	3,038	3	1,729	533	1,730
6	2,977	270	2,965	3	1,594	125	1,594
9	2,883	221	2,888	1	1,487	594	1,488
6	2,796	280	2,787	1	1,467	412	1,467
5	2,714	282	2,710	1	1,446	642	1,446
2	2,616	352	2,617	1	1,425	363	1,423
		300	2,614	1	1,399	521	1,400
2	2,585	2.10.1	2,582	1	1,383	264	1,383
		320	2,580	2	1,366	274	1,366
1	2,479	303	2,476	1	1,354	492	1,355
3	2,386	1.11.2	2,379	1	1,341	3.10.3	1,340
2	2,324	2.11.0	2,323	1	1,328	5.15.1	1,328
6	2,235	0.6.3	2,238			294	1,327
8	2,219	202	2,218	2	1,295	5.12.5	1,295
5	2,112	0.15.0	2,114	1	1,251	324	1,252

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2.0;  $\text{CuK}_{\alpha}$ -излучение. Аналитик Н. И. Кашигина (лаборатория Ильменского заповедника).



Рис. 1.23. Включения иорданита в пирите.  $\times 10\ 000$ . На вклейке — дифракция электронов с  $d=4-3,5-2,2$ . Микроснимок получен на приборе УЭМБ-100В Л. А. Шерстобитовой.

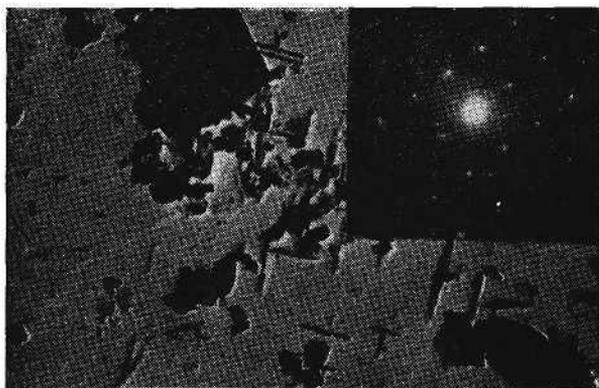


Рис. 1.24. Микровключения веенита и франкента в галените. Веенит — черные частички ромбической и неправильной формы, лежащие в плоскости рисунка. Франкент — тонкие пластиночки, параллельно ориентированные перпендикулярно плоскости рисунка.  $\times 7500$ . На вклейке электронограмма, отвечающая плоскости (012) обратной решетки веенита. Электронно-микроскопический снимок получен на приборе типа УЭМБ-100В Л. А. Шерстобитовой.

нерастворимый остаток 0,57; сумма 99,78. Аналитик Б. Г. Карпов. Кристаллохимическая формула  $Pb_{4,23}As_{1,58}Sb_{0,22}S_{6,97}$ . Подтвержден рентгенограммой (табл. I.25), проиндцированной В. Ф. Ждановым.

Установлен Т. И. Широковой в 1984 г. в массивной серноколчеданной руде Левихинского месторождения на Среднем Урале, в виде хорошо ограненных включений, часто двойников, в пирите из массивной руды и в виде колломорфных образований в агрегате галенита из вкрапленных руд (рис. I.23). Диагностирован рентгенографически (в пирите). Наиболее интенсивные линии: 3,70 (6); 3,53 (7); 3,50 (4); 3,37 (5); 3,18 (10); 3,06 (5); 3,05 (6); 2,98 (4); 2,88 (5).

### 1.7.2. Веенит — $2Pb(Sb, As)_2S_5$ , ромб. с. (Veenite)

Веенит найден Т. И. Широковой (1984) в рудопроявлении горы Медной (Средний Урал). Минерализация в рассланцованных и серицитизированных породах, сложенных в реликтах тонким чередованием карбонатного и туфового материала кремнекислого состава, представлена вкрапленностью пирита, сфалерита, галенита и халькопирита. В карбонатных (доломитовых) слоях расположены мелкие гнездообразные скопления землистого сфалерита и вюртцита. В крупном монокристалле галенита на спайках сколах под электронным микроскопом обнаружены ромбические, треугольные, квадратные и вытянутые включения около 1 мкм. Они (рис. I.24) рентгенографически диагностированы как веенит и франкеит. К веениту отнесены отражения: 3,82 (1); 3,30 (5); 3,25 (1); 2,76 (1); 2,74 (1); 2,40 (1). Дифракции электронов, полученные от частиц ромбической формы, отвечают плоскостям (012) и (014) обратной решетки веенита. В другом крупном зерне галенита микровключения имеют форму удлинненных игл или собраны в гнездообразные скопления (агрегаты) игольчатого строения. Электронограмма, полученная от игловидной частицы, отвечает также плоскости (412) обратной решетки веенита (рис. I.25). Включения листовой формы соответствуют франкеиту.

### 1.7.3. Геокронит — $Pb_5(Sb, As)_2S_8$ , мон. с. (Geocronite)

Геокронит установлен Р. О. Берзоном (1973) в галените из кварцевых жил Быньговского золоторудного месторождения. Подтвержден рентгенограммой, которая не приводится. Отражательная способность умеренная, близка к отражательной способности галенита:  $\lambda = 589$  нм,  $R_{\max} \approx 42$ ,  $R_{\min} \approx 39\%$ . В скрещенных николях геокронит отчетливо анизотропен, цветные эффекты слабые, в темных блеклых тонах; почти повсеместно выявляются полисинтетические двойники. Двуотражение в воздухе слабое.

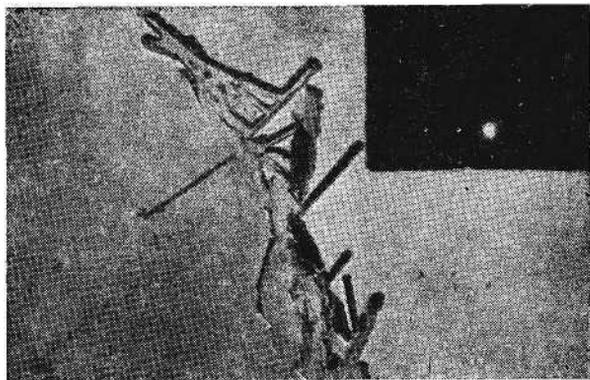


Рис. 1.25. Игольчатый везенит, развивающийся по микро-  
трещинке в галените.  $\times 16\ 000$ .

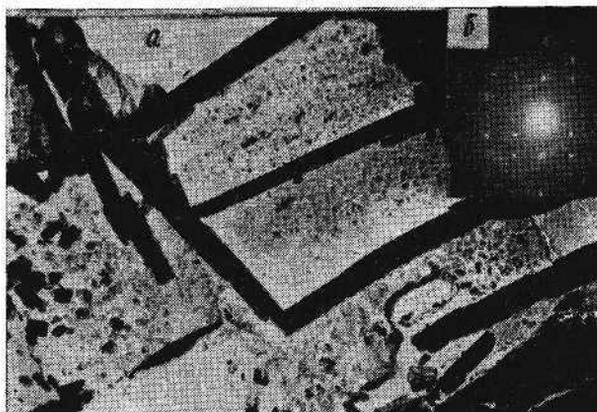


Рис. 1.26. Микровключения менегинита в пирите Ново-  
ежовского месторождения.

*a* — своеобразные сростания менегинита,  $\times 100\ 000$ ; *b* — электро-  
нограмма, полученная от извлеченной на реплику частички,  
отвечает плоскости (210) обратной решетки менегинита. Элек-  
тронный микроснимок получен на приборе типа УЭМВ-100В  
Л. А. Шерстобитовой.

В жиле Зеленой Кочкарского месторождения установлен Т. Н. Чвилевой (1973). Диагностические признаки не приводятся. Содержит 0,  $n = 0,0 n\%$  Тl и Сd. Установлен в проявлении Топографов на Полярном Урале в кварц-кальцит-сидеритовых жилах в ассоциации с галенитом, бурнонитом и цинкенинитом, в виде прожилков с семсейитом и гетероморфитом толщиной до первых миллиметров. Замещается галенитом и англезитом. Химический состав, мас. % : Pb 68,7; Sb 13,2; As 1,70; S 17,1; сумма 100,70. Кристаллохимическая формула  $Pb_{5,02}(Sb_{1,64}As_{0,34})_{1,98}S_{8,07}$ .

**1.7.4. Семсейит —  $Pb_9Sb_8S_{21}$  мон. с. (Semseyite)**  
**Гетероморфит —  $Pb_7Sb_8S_{19}$ , мон. с. (Heteromorphyte)**

Оба минерала установлены О. А. Яковлевой в кварц-кальцит-сидеритовых жилах проявления Топографов на Полярном Урале в ассоциации с галенитом, бурнонитом и цинкенинитом. Вместе с геоконитом выполняют прожилки мощностью до первых миллиметров между зернами рудных минералов. Семсейит и гетероморфит образуют сростания типа «ледяного узора» и оптически неразличимы. Оба минерала — промежуточные члены гомологического ряда семсейит — фюлеппит; имеют формулу  $Pb_{3+2x}Sb_8S_{15+2x}$ , при  $x \geq 2,75$  отвечающую семсейиту, а при  $x$  от 1,75 до 2,75 — гетероморфиту (Мозгова, 1985). Химический состав семсейита, мас. %: Pb 54,2; Sb 28,1; S 19,6; сумма 101,9. Формула  $Pb_{9,06}Sb_{8,00}S_{21,2}$ . Состав гетероморфита, мас. %: Pb 51,4; Sb 30,1; S 18,7; сумма 100,2. Формула  $Pb_{7,96}Sb_{8,00}S_{18,9}$ .

**1.7.5. Буланжерит —  $Pb_5Sb_4S_{11}$ , монокл. с. (Boulangerite)**

Указывается П. В. Покровским (1939) в жиле Зеленой на Кочкаре и С. Г. Караченцевым и другими (1975) в Комсомольском проявлении на Полярном Урале. Буланжерит в жиле Зеленой образует небольшие скопления, чаще встречается в виде отдельных зерен до 0,2 мм в джемсоните. Призматические кристаллы буланжерита серовато-белого цвета, спайность совершенная. Отражательная способность высокая; в отраженном свете белый, очень сильная анизотропия, наблюдаются полисинтетические двойники. Травится  $HNO_3$  и  $FeCl_3$ . Требуется подтверждения.

Буланжерит в Комсомольском проявлении встречается в кварцево-полевошпат-слюдисто-карбонатных породах в ассоциации с вкрапленными сульфидами: гудмундитом, сфалеритом, галенитом, пирротинном, пиритом, блеклыми рудами, джемсонитом, марказитом. По О. А. Яковлевой, содержит до 1 % Bi.

Достоверно определен Е. В. Бурлаковым в 1986 г. в кварцевых жилах Неройского района Приполярного Урала в виде включений в кристаллах горного хрусталя и в жильном кварце

Таблица 1.26

## Химический состав буланжерита, мас. %

№ анализа	Pb	Cu	Fe	Ag	Bi	S	Sb	Сумма
1*	53,11	0,01	—	—	1,19	18,21	25,32	97,83
2	54,96	0,07	—	—	1,15	19,50	25,83	101,51
3	54,39	0,27	0,06	0,02	0,83	18,70	25,10	99,37
4	53,35	He обн.	0,02	He обн.	0,59	19,57	26,88	100,41

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Pb_{4,81}Bi_{0,11})_5,02Sb_{3,98}S_{10,87}$ .
2.  $(Pb_{3,98}Bi_{0,10}Cu_{0,02})_5,05Sb_{3,95}S_{11,31}$ .
3.  $(Pb_{4,95}Cu_{0,08}Bi_{0,08}Fe_{0,02}Ag_{0,01})_5,14Sb_{3,88}S_{10,98}$ .
4.  $(Pb_{4,72}Bi_{0,05}Fe_{0,01})_4,78Sb_{4,01}S_{11,18}$ .

\* 1, 2 — из кварцевых жил Неройского района (материалы Е. В. Бурлакова и О. А. Яковлевой); 3, 4 — из проявлений Полярного Урала (материалы В. И. Силасва и О. А. Яковлевой). Аналитик О. А. Яковлева.

Таблица 1.27

## Расчет рентгенограммы неройского буланжерита (1) и эталонного (2)

1		2 (Михеев, 1957)		1		2 (Михеев, 1957)	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
2	6,6	0,5	6,74	2	2,34	0,5	2,303
		1	6,13	2	2,26	0,5	2,226
5	5,1	0,5	5,20	3	2,16	4	2,145
		0,5	4,86	3	2,06	2	2,056
		0,5	4,61	5	2,03		
3	4,37	1	4,36	1	1,973	1	1,967
3	4,13			2	1,920	4	1,932
5	3,93			9	1,867	7	1,861
10	3,77	10	3,71			0,5	1,829
2	3,59			4	1,763	6	1,757
2	3,49	1	3,43	3	1,731	2	1,726
5	3,35	3	3,32			1	1,668
6	3,22	5	3,21	2	1,645	2	1,657
2	3,13			1	1,618		
8	3,03	4	3,02	1	1,560	0,5	1,588
10	2,82	8	2,815	2	1,530	0,5	1,537
3	2,71	3	2,691			1	1,504
2	2,60	1	2,578	3	1,474	1	1,465
1	2,51	0,5	2,515	2	1,439		
2	2,44	1	2,435	3	1,411	2	1,408
3	2,38	5	2,337				

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-70;  $FeK_{\alpha}$ ,  $\beta$ -излучение. Аналитик С. Г. Сустанов.

совместно с рутилом, анатазом, брукитом, анкилитом и другими минералами гнездового выполнения. Очень часто отмечаются сростания с висмутовым галенитом. Образует спутанно-волоконистые агрегаты или беспорядочно ориентированные волоковидные кристаллы. Длина игл достигает 50 мм, толщина — от 0,005 до 0,5 мм. Цвет серый, стально-серый, блеск сильный, металлический (табл. 1.26). Возможно, что ранее буланжерит был ошибочно диагностирован и описан как козалит (Буканов, 1974). Подтвержден рентгенометрически (табл. 1.27).

Буланжерит указывается А. И. Иванченко в халькозин-борнитовых рудах Борзовского месторождения медистых песчаников на Полярном Урале.

#### 1.7.6. Плагионит — $Pb_5Sb_8S_{17}$ , мон. с. (Plagionite)

Плагионит под вопросом указывается П. В. Покровским (1939) в кварцевой жиле Зеленой Кочкарского месторождения на границе с тетраэдритом и халькопиритом. Определен микрохимически. Нуждается в подтверждении.

#### 1.7.7. Цинкенит — $PbSb_2S_4$ , ромб. с. (Zinkenite)

Цинкенит (Pb—Sb блеск) упоминается в списке В. Яркова (1914). По данным В. Н. Охотникова, установлен в конце 60-х годов в делювии ручья Топографов на Полярном Урале, диагностирован А. И. Чумаковой и подтвержден рентгенометрически. Отмечен Р. О. Берзоном среди минералов кварцевых жил Быньговского месторождения; подтвержден дебаграммой. Встречен в виде отдельных игольчато-призматических кристаллов и агрегатов шестоватых индивидов (под микроскопом) в ассоциации с гудмундитом, джемсонитом, блеклыми рудами, иногда с сульфовисмутитами. Рельеф зерен низкий, двойники отсутствуют, цвет нейтральный, часто с зеленоватым оттенком. Отражательная способность близка к таковой у галенита, двуотражение и анизотропия на воздухе хорошо распознаются. Подтвержден рентгенометрически, основные линии: 3,45; 3,40; 3,11; 2,99; 2,82; 2,71; 2,28; 2,22; 2,10; 2,02; 1,827; 1,712. Химический состав близок к теоретическому, мас. %: Fe — не обн., Pb 33,63, Cu, Zn, Ag — не обн., S 21,73, As 0,78, Sb 45,61, Bi, Se — не обн.; сумма 101,75. Кристаллохимическая формула  $Pb_{0,93}Sb_{2,14}As_{0,06}S_{3,87}$ .

#### 1.7.8. Менегинит — $Pb_4Sb_2S_7$ или $CuPb_{13}Sb_7S_{21}$ , ромб. с. (Meneghinite)

Менегинит найден Т. И. Широковой (1984) в Новоежовском, а затем в Левихинском месторождениях; в 1987 г. он обнаружен Е. В. Бурлаковым в хрусталеносных кварцевых

Расчет рентгенограммы менегинита Приполярного Урала

<i>l</i>	<i>d</i> , Å						
4	4,13	2	2,66	2	1,851	3	1,484
8	3,75	1	2,39	4	1,805	2	1,449
3	3,51	3	2,30	2	1,757	2	1,427
3	3,43	4	2,25	6	1,723	4	1,398
10	3,28	8	2,09	2	1,695	2	1,362
4	3,09	5	1,982	1	1,636	5	1,329
10	2,94	3	1,937	2	1,547	2	1,315
3	2,78	5	1,895	2	1,504		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-70;  $Fe_{\alpha+\beta}$ -излучение. Аналитик С. Г. Суставов.

жилах Приполярного Урала. В прожилковых галенит-пиритовых рудах Новоежовского медноколчеданного месторождения на Среднем Урале (Широбокова и др., 1985) менегинит в виде микровключений в пирите и галените столбчатой и игольчатой формы размером 0,5—1,5 мкм равномерно распределен в пирите или образует сростки и каркасы до 3 мкм и более (рис. 1.26). Подтвержден рентгенограммой; основные линии: 4,10 (3); 3,70 (9); 3,29 (10); 2,91 (8); 2,74 (4); 2,64 (3) и т. д., а также микродифракцией электронов, полученных от извлеченных на реплику частиц от описанных включений, отвечающих плоскостям (012) и (024) обратной решетки менегинита (рис. 1.26).

В сульфидах Левихинской группы месторождений встречен в виде мелких призматических микровключений, диагностированных рентгеноструктурно. Встречен Е. В. Бурлаковым в гидротермальных кварцевых жилах восточного склона Приполярного Урала. Наблюдался с буланжеритом в кристаллах горного хрусталя и в жильном кварце ряда жил. Развивается по галениту в виде параллельно-шестоватых агрегатов или разориентированных лучисто- друзовых агрегатов, образует тонкие сростания с галенитом. Цвет стально-серый, длина игл 2—5, толщина 0,1—0,3 мм.

Химический состав менегинита изучен на микрозонде MS-46 «Самеса», мас. %: Pb 59,66; Bi 2,41; Cu 1,19; Fe 0,04; Sb 18,53; S 17,23; сумма 99,06. Кристаллохимическая формула  $(Cu_{0,84}Fe_{0,03})_{0,87}(Pb_{12,85}Bi_{0,52})_{13,37}Sb_{6,79}S_{23,98}$ . Подтвержден рентгенометрически (табл. 1.28). ИК-спектр снят в Институте геологии Коми филиала АН СССР Л. Л. Ширяевой.

### 1.7.9. Бурнонит — $CuPbSbS_3$ , ромб. с. (Bournonite)

Определен В. И. Вернадским в образцах из Карабашского месторождения (Николаев, 1912), указывался Е. Е. Захаровым и С. А. Юшко в рудах Андреевского месторождения. Определен

## Химический состав бурнонита из месторождений Полярного Урала, мас. %

№ анализа	Fe	Pb	Cu	Zn	Ag	S	Sb	Se	Сумма
1	0,09	43,00	11,09	0,05	0,03	21,20	25,01	0,008	100,478
2	0,09	42,02	12,51	0,20	He обн.	21,16	24,98	0,008	100,968
3	0,16	41,18	12,78	0,04	He обн.	20,94	25,54	0,014	100,654
4	He обн.	42,80	12,90	He обн.	0,50	20,40	26,10	He обн.	102,70
5	He обн.	43,00	12,70	He обн.	0,40	20,20	25,90	He обн.	102,2

## Кристаллохимические формулы

1.  $Pb_{1,00}Cu_{0,84}Fe_{0,01}Sb_{0,98}S_{3,17}$ .
2.  $Pb_{0,96}Cu_{0,93}Fe_{0,01}Zn_{0,01}Sb_{0,97}S_{3,12}$ .
3.  $Pb_{0,94}Cu_{0,95}Fe_{0,02}Sb_{1,00}S_{3,09}$ .
4.  $Pb_{0,98}Cu_{0,96}Ag_{0,02}Sb_{1,02}S_{3,02}$ .
5.  $Pb_{0,99}Cu_{0,96}Ag_{0,02}Sb_{1,02}S_{3,01}$ .

П. В. Покровским (1939) в жиле Зеленой на Кочкаре и Л. Н. Овчинниковым (1948) в Богословском руднике.

В. И. Вернадский по более темному цвету теннантита из Соймоновских месторождений (Карабаш) предположил, что это бурнонит. А. В. Николаев (1912) с помощью паяльной трубки и качественных реакций подтвердил это предположение. По А. В. Николаеву (1908), бурнонит встречается в виде мелких, не имеющих правильных кристаллических очертаний зерен в пирите. Редкие кристаллы представляют комбинацию {100}, {111} и {211}, с наибольшим развитием граней {111}. Химический состав бурнонита из Конюховского рудника, мас. %: Cu 42,25; S 27,86;  $Al_2O_3$  1,00;  $Fe_2O_3 + FeO$  3,00; CaO 0,08;  $Sb_2O_3$  0,94; сумма 75,13. Химический анализ, очень неполный, как и кристаллографические формы, не позволяет отнести минерал к бурнониту. Последующие исследования не подтвердили присутствие бурнонита.

На Кочкаре в жиле Зеленой (Покровский, 1939) бурнонит встречен в ассоциации с блеклой рудой, образует графические сростки с галенитом, окаймляет зерна и участки тетраэдрита. В отраженном свете серый с голубовато-зеленоватым оттенком, ясно анизотропен, оттенок меняется от желтовато-зеленого до голубовато-фиолетового. В скрещенных николях обнаруживается полисинтетическое двойниковое строение. Царская водка дает мгновенное почернение со вскипанием,  $HNO_3$  — очень слабое побурение, остальные реактивы не действуют.

В Богословском руднике (Овчинников, 1948) бурнонит встречен в виде мелких зерен в ассоциации с блеклой рудой и лёллингитом. Там же встречен обломок призматического кри-

сталла размером 1,5 см. Цвет стально-серый, черта черная, блеск сильный металлический, излом неровный, твердость 3, непрозрачен; в отраженном свете серовато-белый, явно анизотропен, образует полисинтетические двойники; от царской водки вскипает. Спектральный анализ: Pb — очень сильные линии, Cu — очень сильные линии, Sb — сильные линии, Ag, Bi — слабые линии, Fe, Mn — очень слабые линии, Si, Ti — следы линий. Требуется подтверждения.

Бурнонит характерен для объектов медно-молибденовой и колчеданно-полиметаллической формаций Полярного Урала. Редко наблюдается в виде отдельных пластинчатых зерен, полисинтетических двойников, мирмекитовых вростков в галените и халькопирите. Цвет минерала нейтральный с голубовато-зеленоватым оттенком, отражательная способность умеренная (выше, чем у блеклых руд), двуотражение и анизотропия заметные. Особенность состава исследуемого бурнонита — присутствие цинка, серебра и селена (табл. 1.29).

#### 1.7.10. Джемсонит — $Pb_4FeSb_6S_{14}$ , мон. с. (Jamesonite)

Джемсонит обнаружен П. В. Покровским и Е. М. Клер в 1936 г. в жиле Зеленой Кочкарского месторождения на горизонте 76 м (Покровский, 1939, 1941). Образует свинцово-серые тонковолокнистые и призматические скопления в кварце до 1,5 кг. Твердость 2—3, хрупок, черта черная,  $\rho = 5,91$  г/см<sup>3</sup>. В  $HNO_3$  разлагается с выделением серы. В полировках белый, сильно анизотропный, часты полисинтетические двойники. Травится  $HNO_3$ ,  $FeCl_3$ , КОН. Химические анализы относятся к нечистому материалу с примесью буланжерита, галенита, тетраэдрита и сульфидов. Спектральный анализ минерала показал присутствие Pb, Sb, Bi, Fe, Cu и As.

Графически замещается галенитом, образует реакционную кайму с халькопиритом и галенитом. При выветривании становится войлокообразным и чернеет. Указывался в 1939 г. инженером Ноговницыным в шеелитоносных жилах Бурановского участка (Покровский, 1941), Софроновым — в рудах Васильевского рудника (Турьинская группа; Овчинников, 1948), В. И. Силаевым — в Комсомольском колчеданно-полиметаллическом проявлении на Полярном Урале.

В Верхнеаршинском полиметаллическом месторождении Т. И. Ширококовой и другими (1987) установлен джемсонит в виде игольчатых микровключений в пирите, иногда двоянникованных по удлинению или в виде овальных агрегатов тонкоигольчатого строения. Кольцевая электронограмма от тонковолокнистых агрегатов отвечает джемсониту ( $d = 5,8 - 3,4 - 2,9 - 2,4 - 1,7$  Å), точечная электронограмма от отдельных игловидных частиц также соответствует плоскости (310) обратной решетки джемсонита (рис. 1.27).



Рис. 1.27. Микровключения джемсонита в пирите. Верхнеаршинское месторождение.  $\times 12\,000$ . На вклейке — электронограмма от плоскости (310) джемсонита. Материалы Т. И. Ширококовой.



Рис. 1.28. Кобеллит (серый с неоднородной поверхностью) с золотом (белое) в жильном кварце. В левом нижнем углу — изометричные кристаллы пирита. Полировка.  $\times 12$ .

**1.7.11. Висмутовый джемсонит — сахароваит**  
**(Jamesonite — Sakharovaite bismuthoan)**  
**(Fe, Cu)<sub>1,0</sub>(Pb, Ag)<sub>4,0</sub>(Sb, Bi)<sub>6,0</sub>S<sub>14,0</sub>**

Сложные сульфосоли (система Bi—Pb—Sb—S), относящиеся, вероятно, к гомологическому ряду висмутовый джемсонит — сахароваит, установлены на Харбейском медно-вольфрамомолибденовом месторождении в составе теллуридно-сульфосольной минеральной ассоциации, охарактеризованной ранее как минералы группы галенобисмутита (Яковлева, Котов, 1986). Минералы ряда висмутовый джемсонит — сахароваит встречаются в виде единичных зерен или их скоплений (размером до 0,1 мм) и приурочены к скоплениям других минералов сурьмы: ульманниту, кобальтульманниту, сурьмяному кобальтину, тетраэдриту. Наблюдаются в зернах изометрической формы в сростаниях с пиротином, пиритом и халькопиритом, в виде скоплений тонкоигловчатых кристаллов в кварце.

По результатам количественного микрозондового анализа изученные минералы определены как сложные висмутсодержащие сульфоантимониды свинца (табл. 1.30). Результаты расчета этих анализов показывают, что по величине отношения  $Me/ПMe=0,65-0,78$  ( $Me$  — металл,  $П$  — полуметалл) и  $Sb/Bi=0,43-4,04$  изученные минералы относятся к ряду висмутового джемсонита — сахароваита ( $Me/ПMe=0,51-0,74$ ;  $Sb/Bi \geq 1,0$ ), а не к гомологическому ряду кобеллита — тинтинанта ( $Me/ПMe=0,71-0,91$ ;  $Sb/Bi=0,15-0,91$ ). По составу они ближе всего к минералам из места первой находки в Устарасае (Восточное Забайкалье). Этот вывод требует подтверждения данными рентгенометрического анализа при обнаружении более крупных скоплений этих минералов.

**1.7.12. Кобеллит — Pb<sub>3</sub>Bi<sub>6</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>17</sub>, ромб. с. (Kobellite)**

Обнаружен на юге Кочкарского рудного поля в жильном кварце Андреевской рудной зоны на глубине 350 м. Массивный светло-серый гранулированный кварц содержит вкрапленность и гнезда идиоморфнозернистого арсениопирита (~25%) и пирита (~10%). Кобеллит слагает прожилки мощностью до 7 мм и протяженностью свыше 10 см с неровными уступчатыми контактами, пересекающий кварц в области, обогащенной крупными метакристаллами пирита. Сплошной плотный агрегат кобеллита составляет не менее 90% массы прожилки и образован большим количеством беспорядочно ориентированных пучков параллельно-волокнутого строения, которые при механическом воздействии распадаются на мельчайшие иглы. Отдельные пучки и составляющие их кристаллы заметно изогнуты. Продольный излом волокуистых агрегатов занозистый, поперечный — неровный и зернистый. Преобладают пучки раз-

Химический состав минералов ряда висмутовый джемсонит—сахаровант, мас. %

№ анализа	Bi	Sb	Pb	Cu	Fe	Ag	S	Se	Сумма	Pb/ПМе	Sb/Бi	Me/ПМе
1	37,53	9,29	31,86	1,38	0,54	0,70	18,18	0,12	100,05	0,60	0,43	0,75
2	33,48	12,66	33,66	1,25	0,75	0,22	18,75	Не обн.	100,77	0,62	0,65	0,75
3	29,71	13,30	34,68	1,19	0,85	0,33	19,59	0,08	99,73	0,67	0,77	0,81
4	28,01	14,37	34,02	1,14	0,57	0,35	19,39	Не обн.	97,85	0,65	0,88	0,78
5	29,92	14,84	33,04	1,15	0,58	0,33	19,93	Не обн.	99,79	0,60	0,85	0,72
6	31,00	14,96	32,80	1,29	0,56	0,50	19,41	Не обн.	100,51	0,58	0,83	0,71
7	25,11	15,01	33,20	2,46	1,81	0,22	20,31	0,07	98,19	0,66	1,03	0,96
8	30,35	16,30	33,23	1,39	0,62	0,42	20,44	Не обн.	102,75	0,58	0,92	0,71
9	26,72	16,40	33,92	1,32	0,86	0,57	20,08	0,03	99,90	0,62	1,05	0,78
10	29,09	16,45	32,32	1,40	0,66	0,46	19,85	Не обн.	100,23	0,57	0,97	0,71
11	30,25	17,34	31,97	1,35	0,48	0,64	19,82	Не обн.	101,83	0,54	0,98	0,66
12	29,02	17,44	32,91	1,56	0,64	0,61	19,13	Не обн.	101,31	0,56	1,03	0,71
13	29,04	19,08	33,79	1,14	0,42	0,37	19,74	Не обн.	98,63	0,55	1,13	0,65
14	11,52	27,13	35,12	Не обн.	2,65	Не обн.	21,26	Не обн.	97,68	0,61	4,04	0,78

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Cu}_{0,53}\text{Fe}_{0,25})_{0,78}(\text{Pb}_{3,78}\text{Ag}_{0,15})_{3,93}(\text{Bi}_{4,43}\text{Sb}_{1,88})_{6,31}\text{S}_{14,00}$ .
2.  $(\text{Cu}_{0,47}\text{Fe}_{0,32})_{0,79}(\text{Pb}_{3,87}\text{Ag}_{0,05})_{3,92}(\text{Bi}_{3,82}\text{Sb}_{2,48})_{6,30}\text{S}_{13,93}$ .
3.  $(\text{Cu}_{0,44}\text{Fe}_{0,36})_{0,80}(\text{Pb}_{3,92}\text{Ag}_{0,07})_{3,99}(\text{Bi}_{3,33}\text{Sb}_{2,56})_{5,89}\text{S}_{14,31}$ .
4.  $(\text{Cu}_{0,44}\text{Fe}_{0,25})_{0,69}(\text{Pb}_{4,01}\text{Ag}_{0,07})_{4,08}(\text{Bi}_{3,40}\text{Sb}_{2,08})_{5,48}\text{S}_{14,76}$ .
5.  $(\text{Cu}_{0,42}\text{Fe}_{0,24})_{0,66}(\text{Pb}_{3,70}\text{Ag}_{0,07})_{3,77}(\text{Bi}_{3,32}\text{Sb}_{2,83})_{6,15}\text{S}_{14,42}$ .
6.  $(\text{Cu}_{0,47}\text{Fe}_{0,22})_{0,69}(\text{Pb}_{3,70}\text{Ag}_{0,11})_{3,81}(\text{Bi}_{3,47}\text{Sb}_{2,87})_{6,14}\text{S}_{14,45}$ .
7.  $(\text{Cu}_{0,87}\text{Fe}_{0,73})_{1,40}(\text{Pb}_{3,61}\text{Ag}_{0,05})_{3,66}(\text{Bi}_{2,70}\text{Sb}_{2,77})_{5,47}\text{S}_{14,27}$ .
8.  $(\text{Cu}_{0,49}\text{Fe}_{0,25})_{0,74}(\text{Pb}_{3,60}\text{Ag}_{0,09})_{3,69}(\text{Bi}_{3,26}\text{Sb}_{3,01})_{6,27}\text{S}_{14,31}$ .
9.  $(\text{Cu}_{0,48}\text{Fe}_{0,35})_{0,83}(\text{Pb}_{3,74}\text{Ag}_{0,12})_{3,86}(\text{Bi}_{2,92}\text{Sb}_{3,08})_{6,10}\text{S}_{14,31}$ .
10.  $(\text{Cu}_{0,51}\text{Fe}_{0,27})_{0,78}(\text{Pb}_{3,59}\text{Ag}_{0,10})_{3,69}(\text{Bi}_{3,20}\text{Sb}_{3,11})_{6,31}\text{S}_{14,23}$ .
11.  $(\text{Cu}_{0,49}\text{Fe}_{0,20})_{0,69}(\text{Pb}_{3,52}\text{Ag}_{0,14})_{3,66}(\text{Bi}_{3,31}\text{Sb}_{3,24})_{6,55}\text{S}_{14,11}$ .
12.  $(\text{Cu}_{0,57}\text{Fe}_{0,25})_{0,82}(\text{Pb}_{3,68}\text{Ag}_{0,13})_{3,71}(\text{Bi}_{3,22}\text{Sb}_{3,32})_{6,54}\text{S}_{13,83}$ .
13.  $(\text{Cu}_{0,41}\text{Fe}_{0,17})_{0,58}(\text{Pb}_{3,70}\text{Ag}_{0,08})_{3,78}(\text{Bi}_{3,15}\text{Sb}_{3,55})_{6,70}\text{S}_{13,95}$ .
14.  $\text{Fe}_{1,02}\text{Pb}_{3,66}(\text{Bi}_{1,19}\text{Sb}_{4,81})_{6,00}\text{S}_{14,32}$ .

Примечание. Анализы выполнены на MS-46 «Сатеса». При расчете формул содержания S и Se объединялись.

мером  $(1-3) \times (3-6)$  мм, лишь единичные достигают толщины 7—8 мм. В контакте с кварцем боковые поверхности пучков имеют тонкорельефный микрорельеф, а в местах окончания их видны многоглавые острозубчатые выступы.

Во вмещающем кварце содержатся включения кобеллита, особенно обильные в полосе шириной 7—8 мм, примыкающей к прожилку. Они представлены одиночными зернами и сростками игл. Индивиды (длиной до 3 мм) характеризуются отношением  $a/c \frac{1}{5} - \frac{1}{20}$ . Поверхность покрыта интенсивной продольной штриховкой, узкие грани призматического пояса столь многочисленны, что при гониометрических измерениях не различаются — дают почти непрерывный сливающийся сигнал; грани головки сглажены. Среди агрегатов кобеллита выделяются бессистемные сростания небольшого числа кристаллов, спутанно-волокнистые, параллельные и субпараллельные сростки. Последние составляют главную массу включений кобеллита в кварце. В открытых трещинах иногда наблюдаются пленочные выделения минерала.

Кобеллит тесно ассоциирует с золотом, ветвящиеся и гнездообразные обособления которого величиной до 3 мм тяготеют к контактам прожилка и сопровождают вкрапленность в приконтактной зоне (рис. 1.28). Массивный кобеллит содержит включения пирита и буровато-желтого сфалерита. В кварце наблюдаются сростания кобеллита с метакристаллами пирита и арсенипирита. По данным рентгенометрии, в массивном кобеллите из прожилка присутствует не менее 5% тонкодисперсного галенита.

Кристаллы кобеллита серого цвета с сильным металлическим блеском, черта темно-бурая. В отраженном свете белый, ясно анизотропный. Спайность совершенная вдоль удлинения, по-видимому, в одном направлении. Твердость 2,5. Полуколичественным спектральным анализом установлены следующие элементы, %:  $Pb \gg 1,0$ ;  $Sb \gg 1,0$ ;  $Bi \gg 0,1$ ;  $Fe \sim 1,0$ ;  $Zn \sim 1,0$ ;  $Cu \ 0,7$ ;  $As \ 0,3$ ;  $Mn \ 0,03$ ;  $W \ 0,01$ ;  $Au \gg 200$  г/т;  $Ag > 1000$  г/т.

Сравнение дебаграмм изученного минерала и двух эталонных образцов кобеллита (табл. 1.31) показывает сходство результатов с данными Харкорта (Михеев, 1957), хотя интенсивности отдельных отражений ближе к значениям второго эталона.

### 1.7.13. Франкеит — $Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$ , мон. с. (Franckeite)

Франкеит указывается Т. И. Широковой и другими (1985) в виде микровключений в галените полиметаллических проявлений горы Медной на Среднем Урале. Диагностирован рентгенографически по линиям: 4,35 (4); 3,49 (8); 2,91 (10); 2,07 (3); 1,93 (1); 1,84 (3) и по листовидной форме включений (рис. 1.25).

Расчет рентгенограммы кобеллита из Кочкарского (2)  
и месторождения Вэна (1)

1а		1б		2		1а		1б		2	
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å
0,5	4,20	3	4,25			1	1,912				
1	3,98	4	4,00	2	3,98	0,5	1,883				
0,5	3,72	4	3,78	2	3,78	0,5	1,840				
9	3,51	9	3,55	6	3,56	0,5	1,809	3	1,81		
10	3,39	9	3,38	10	3,43	2	1,741	4	1,74	5	1,740
2	3,26	7	3,27	1	3,30			2	1,71	3	1,710
2	3,12	4	3,14	3	3,13	2	1,693				
2	2,96	4	2,98	2	3,04	0,5	1,594				
3	2,83	10	2,86	6	2,87	0,5	1,554				
3	2,69	9	2,72	4	2,73	0,5	1,453	2	1,46	2	1,469
0,5	2,59	3	2,60					2	1,43	2	1,432
				2	2,37	1	1,382	2	1,39	1	1,393
0,5	2,29	3	2,31	2	2,32					1	1,332
0,5	2,25	3	2,25	1	2,26	1	1,316				
3	2,14	7	2,15	5	2,15	0,5	1,303				
0,5	2,08			5	2,13	0,5	1,270			1	1,281
4	2,04	7	2,02	3	2,04	0,5	1,249				
0,5	2,02			1	1,99	0,5	1,232			2	1,224
		2	1,94	1	1,949	0,5	1,214				
				2	1,929	0,5	1,194			2	1,189
						0,5	1,179				

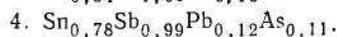
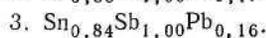
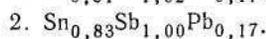
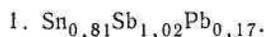
Примечание. Условия съемки: камера РКД, излучение железное нефилтрованное, образец — прессованный столбик. Поправки введены по измерениям особого снимка минерала в смеси с германием. 1а — данные Ньюфилда (Минералы, 1960); 1б — данные Харкоурта (Михеев, 1957).

Таблица 1.32

## Химический состав стиганта, мас. %

№ анализа	Sn	Sb	Pb	As	Сумма
1*	37,89	48,63	13,46	—	99,98
2	38,04	46,99	13,04	—	98,08
3	38,34	47,21	13,14	—	98,70
4	35,75	46,47	9,63	3,35	95,20

## Кристаллохимические формулы



\* 1—3 — по М. И. Новгородовой (1980); 4 — по М. И. Новгородовой (1983).

### 1.7.14. Стистаит — SnSb, куб. с. (Stistaite)

Впервые в СССР обнаружен М. И. Новгородовой (1980, 1983) в золото-кварц-карбонатных жилах в Кумак-Котансуйской зоне смятия на Южном Урале. Стистаит с купростибитом и свинцом окаймляет порфиروبласты анекриты в фельдшпацизированных и карбонатизированных туфогенных породах и встречается во включениях альбита. В тесной ассоциации и сростках с медью, цинком, свинцом, сурьмой и купростибитом образует тонкие пластинчатые выделения до десятков микрометров и примазки по трещинам в жильном кварце. Склонность минерала к образованию идиоморфных кристаллов кубического облика, нередко уплощенных, подтвердилась на примере более поздних его находок. Морфология выделений в виде правильных кубов свидетельствует о медленной скорости его кристаллизации.

В южноуральских месторождениях присутствует свинцовистая и мышьяковистая разновидности стистаита с содержанием Pb 9—13 и As около 3 % (табл. I.32). Индексирование дебаеграмм стистаита в пространственной группе  $Fm\bar{3}m$  позволило вычислить параметр элементарной ячейки  $a_0 = 6,18 \text{ \AA}$  (табл. I.33). В отраженном свете белый, изотропный. В отличие от свинца, покрывающегося на воздухе окисной пленкой побежалости, не тускнеет. Показатели отражения ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм): 74,0 (440); 76,5 (460); 78,1 (480); 80,7 (500); 81,5 (520); 81,7 (540); 81,9 (560); 82,2 (580); 82,6 (600); 82,5 (620); 82,5 (640); 82,5 (660); 82,4 (680); 82,3 (700); 82,1 (720); 82,0 (740). Микротвердость 37—44 кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 10 г.

Таблица I.33

Расчет рентгенограммы стистаита (Новгородова, 1983)

$hkl$	$I$	$d$ , $\text{\AA}$	$I$	$d$ , $\text{\AA}$
200 $\beta$	7	3,38	1	3,42
200	10	3,10	10	3,08
	1	2,64	1	2,65
220 $\beta$	1	2,41	3	2,43
220	7	2,19	4	2,18
222 $\beta$	1	1,878	—	—
222	1	1,783	—	—
400	2	1,551	1	1,548
331	1	1,523	—	—
	1	1,460	2	1,457
420	1	1,38	2	1,382
422	3	1,258	1	1,254
440 $\beta$	1	1,092	—	—
440	2	1,025	1	1,025

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. Я., Попова Л. Д. Кобальтин и кубанит из метасоматитов Поповского разлома на Северном Урале // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 150—151.
- Амирасланов А. А. Минералогическая характеристика колчеданных месторождений Урала и вторичные процессы в них. М.: ВИМС, 1937.
- Айзикович А. Н., Берзон Р. О., Нейкур Т. Л. и др. Об уральских герсдорфитах // Минералы и парагенезисы минералов гидротермальных месторождений. Л., 1974. С. 113—117.
- Андрющенко Г. Н. Включения никелевых минералов в кварце Южно-Урала // Исследования в области петрографии и минералогии нерудных ископаемых. М., 1957. С. 5—10.
- Баранников А. Г. Геохимическая зональность золото-антимонит-кварцевого типа // Минералогия и геохимия первичных и вторичных ореолов. Свердловск, 1986. С. 94—99.
- Бегизов В. Д. Платиновые минералы и их парагенезисы, связанные с Нижнетагильским ультраосновным массивом // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1985. С. 14—15.
- Бегизов Е. Д., Завьялов Е. Н., Хвостова В. П. Минералы ряда эрликманит — лаурит и холингвортит-ирарсит из уральских россыпей // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1976. Ч. 105, вып. 2. С. 213—218.
- Берзон Р. О. Некоторые редкие минералы из Бынговского золоторудного месторождения // Исследования в области рудной минералогии. М., 1973. С. 48—60.
- Берзон Р. О., Меркурьева Л. А. Теллуриды в золоторудных месторождениях Урала // Аксессуары и рудные минералы Урала. Свердловск, 1976. С. 33—39.
- Бетехтин А. Г. Брейтгауптит // Минералогия Урала. М.; Л., 1941а. Т. 2. С. 321—322.
- Бетехтин А. Г. Глаукоdot // Там же. 1941б. С. 396.
- Богомолова Л. К. Арсенопирит — новый минерал пегматитовых жил Ильменских гор // Минералогический сборник № 4. Свердловск, 1960. С. 313—315.
- Буканов В. В. Горный хрусталь Приполярного Урала. Л.: Наука, 1974.
- Буканов В. В., Шведцова И. В., Юшкин А. Л. Ильменит и гематит в хрусталоносных гнездах и кварцевых жилах Приполярного Урала // Минералогия рудных месторождений севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1976. С. 128—136.
- Бучельников С. М. Полезные ископаемые района Пермской железной дороги. Свердловск, 1926.
- Вахрушев С. Н., Макаров А. Б. Минералого-геохимические особенности руд и метасоматитов золотомышьяковых проявлений одного из районов // Геохимия и минералогия первичных и вторичных ореолов. Свердловск, 1986. С. 84—93.
- Волченко Ю. А. Новые минералы и парагенезисы МПГ в рудоносных габбро-гарцбургитовых комплексах Урала // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 12—14.
- Волченко Ю. А., Малюгин А. А. Минералы системы золото — палладий — ртуть в рудах Урала // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 17—18.
- Волченко Ю. А., Нечухин В. М., Радыгин А. И. Новый тип платиноидной минерализации в гипербазитах складчатых поясов // Докл. АН СССР. 1975. Т. 224, № 1. С. 182—185.
- Воробьев А. Л. Никелевые и кобальтовые руды Халиловского района // Минеральное сырье. 1929. № 3. С. 249—254.
- Высоцкий Н. К. Месторождения золота Кочкарской системы в Южном Урале. Спб., 1900.
- Высоцкий Н. К. Платина и районы ее добычи. Пг., 1925.
- Генкин А. Д., Лапутина И. П., Муравичка Г. Н. Рутений —

и родийсодержащий пентландит — показатель гидротермальной мобилизации платиновых металлов // Геология руд. месторождений, 1974. № 6. С. 102—106.

Голдин Б. А. Акцессорные минералы рифейско-раннепалеозойских магматических комплексов севера Урала // Магматизм и металлогения севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1975. С. 58—81.

Грицаенко Г. С., Ермилов В. В., Иванов Ю. А. Новые данные о герсдорфите из Пишминского месторождения // Новые данные о минералах СССР. М., 1979. № 28. С. 163—167.

Дымкин А. М. О метаколлоидных выделениях арсенидов в Качарском месторождении // Уч. зап. Казан. ун-та. 1957. Вып. 117, № 2. С. 269—271.

Дымкин А. М. Контактново-метасоматические месторождения железа южной части главной рудной полосы Тургая. Новосибирск: Наука, 1962.

Еремеев П. В. О блеклой медной руде Березовского рудника. Спб., 1884.

Еремеев П. В. Кристаллы блеклой медной руды из Березовского рудника на Урале // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1885. Ч. 20. С. 321—328.

Еремеев П. В. О наблюдениях над мышьяковистыми рудами Успенского рудника в Южном Урале // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1886. Ч. 22. С. 337.

Заварицкий А. Н. Геологический очерк месторождений медных руд на Урале. Пг., 1929.

Заводчиков С. Г. Месторождения Невьянского района // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск, 1948. С. 195—234.

Захаров Е. Е., Юшко С. А. Очерки по геохимии Урала. М.: ВИМС, 1935.

Иванов О. К., Гурков И. А. К минералогии пегматитов Мокруши // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 94—96.

Игумнов А. Н. Бурнонит // Минералогия Урала. М.; Л., 1941а. Т. 2. С. 292—293.

Игумнов А. Н. Никелин // Там же. 1941б. С. 321.

Игумнов А. Н. Лёллингит // Там же. 1941в. С. 396—397.

Иосса Н. А. Протоколы заседания 15 октября 1886 г. // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1887. Ч. 22, вып. 2. С. 337.

Исмагилов М. И. Некоторые черты минералогии и генезис Дергамышского медно-кобальтового месторождения // Геолого-минералогические особенности меднорудных месторождений Южного Урала. Уфа, 1962. С. 74—97.

Исмагилов М. И., Логинов В. П., Васильева Г. Л. Зональность рудоотложения на Озерном кочеданном месторождении (Южный Урал) и некоторые условия происхождения его пирротиновых руд // Проблемы физико-химической петрологии. М., 1979. Т. 2. С. 184—200.

Кайнов В. И. Включения герсдорфита в кристаллах кварца // Минералогия и минералогическая кристаллография. Свердловск, 1971. С. 65—69.

Кайнов В. И. Закономерные сростания герсдорфита и кварца из Астафьевского месторождения на Южном Урале // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1975. С. 128—130.

Калиновский А. И., Игнатов М. И. Редкометалльные топоминералогические системы района развития щелочных метасоматитов // Минералогия рудоносных территорий европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1987. С. 5—17.

Карасик М. А. О закономерности кобальтового оруденения в Покровском железорудном месторождении (Северный Урал) // Докл. АН СССР. 1947. Т. 57, № 4. С. 379—381.

Караченцев С. Г., Высоцкий К. А., Шкутова О. В. Закономерности размещения и формационные особенности вольфрамопроявлений Приполярного и Полярного Урала // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л., 1975. С. 121—126.

Касперович Г. Пираргрит из Первоблагодатского рудника на Урале // Изв. Императ. Акад. Наук. 1907. Сер. 6. Т. 1, № 6. С. 171.

Кокшаров Н. И. Материалы для минералогии России. Спб., 1862. Ч. 4; Спб., 1871. Ч. 5.

Коровко А. В., Двоглазов Д. А., Пуртов В. К. О геологической

- позиции медноколчеданного месторождения // *Металлогения Восточно-Уральского подъятия и Зауралья*. Свердловск, 1987. С. 119—121.
- Котов К. Н., Яковлева О. А. Парагенезис сульфидов и сульфидо-антимонидов кобальта Харбейского вольфрам-молибденового месторождения // *Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала*. Свердловск, 1986. С. 119—120.
- Крутов Г. А. Минералогия и генезис кобальтового оруденения в Дашкесанском контактово-метасоматическом месторождении (Закавказье). М.: МГРИ, 1937.
- Крутов Г. А., Петрова Е. А. Кобальтин в серпентинитах Халиловского района на Южном Урале // *Тр. МГРИ*. 1956. Т. 29. С. 69—72.
- Кураев Н. И. Никель в Козьмо-Демьяновском месторождении на Южном Урале // *Разведка недр*. 1937. № 1. С. 5—6.
- Куруленко Р. С., Шерстобитова Л. А., Яблонская Л. В. Об андрите и крукесите в галенитах из сульфидно-кварцевых прожилков из Шарташского массива на Среднем Урале // *Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала*. Свердловск, 1986. С. 144—145.
- Куруленко Р. С., Яблонская Л. В., Шерстобитова Л. А. Использование меднорудной минерализации для оценки условий образования сульфидно-кварцевых жил Шарташского массива // *Ежегодник-1984 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР*. Свердловск, 1985. С. 89—90.
- Кутюхин П. И. Герсдорфит // *Минералогия Урала*. М.; Л., 1941. Т. 2. С. 382—383.
- Кутюхин П. И. Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // *200 лет золотой промышленности Урала*. Свердловск, 1948. С. 249—275.
- Кутюхин П. И. Березовское золоторудное месторождение // *Минералогия Урала*. М., 1954. Т. 1. С. 303—329.
- Лазаренко Е. К. Минералогия медно-цинковых месторождений Среднего Урала. Львов, 1947.
- Литошко Д. Н. Топоминералогия медно-молибденовой рудной формации Полярного Урала. Л.: Наука, 1988.
- Ложечкин М. П. Карабашское месторождение медистого золота. Свердловск: Урал. фил. АН СССР, 1935.
- Мазаев Г. М. Кобальт в уральских контактово-метаморфических месторождениях // *Редкие металлы*. 1934. № 6. С. 3.
- Малахов А. Е., Вахромеев С. А., Опарин Ф. П., Соловьев Ю. С. Пышминско-Ключевское полиметаллическое рудное поле. Свердловск: Металлургиздат, 1941.
- Малюгин А. А., Вилисов В. А. Арсеноантимониды палладия в россыпях зоны рифтогенеза Урала // *Ежегодник-1981 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР*. Свердловск, 1982. С. 87—88.
- Малюгин А. А., Водолазская В. П., Вилисов В. А. О палладий-содержащем золоте из россыпи зоны рифтогенеза Урала // *Ежегодник-1980 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР*. Свердловск, 1980. С. 109—110.
- Минералогия Урала. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941.
- Минералы. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957.
- Мозгова Н. Н. Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей. М.: Наука, 1985.
- Мозгова Н. Н., Цепин А. И. Блеклые руды. М.: Наука, 1983.
- Молошаг В. П. Некоторые особенности химического состава блеклых руд и борнитов из Гайского месторождения // *Ежегодник-1977 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР*. Свердловск, 1978. С. 127—129.
- Мушкетов И. В. О некоторых месторождениях золота в России // *Горн. журн*. 1873. Ч. 1, кн. 1. С. 83.
- Мушкетов И. В. Краткий очерк жильных месторождений золота Кочкарской системы // *Горн. журн*. 1877. Ч. 2, кн. 4. С. 184—201.
- Николаев А. В. Коренные месторождения золота Соймановской долины

- в Кыштымской даче на Урале // *Материалы для геологии России*. Спб., 1908.
- Николаев А. В. К минералогии Кыштымского горного округа. М., 1912.
- Новгородова М. И. Новая группа природных твердых растворов и интерметаллидов // *Геохимия. Минералогия*. МГК, XXVI сессия, докл. сов. геологов. М., 1980. С. 108—113.
- Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983.
- Овчинников Л. Н. Руды турьинских скарновых месторождений меди. Свердловск: Урал. фил. АН СССР, 1948.
- Овчинников Л. Н. Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Свердловск: Урал. фил. АН СССР, 1960.
- Осташенко Б. А. Петрология и оруденение центральнопайхойского базальтоидного комплекса. Л.: Наука, 1979.
- Павлов Н. В., Кравченко Г. Г., Чупрынина И. И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968.
- Паллас П. С. Путешествие по разным местам Российского государства. Спб., 1770.
- Переляев А. П. Кобальтин // *Минералогия Урала*. М.; Л., 1941. Т. 2. С. 377—381.
- Переляев А. П. К минералогии глубоких горизонтов Березовского золоторудного месторождения // *Минералогический сборник № 1*. Свердловск, 1948. С. 5—8.
- Покровский П. В. Морфология и минералогия руд жилы Зеленой Кочкарского района // *Сов. геология*. 1939. № 2. С. 66—80.
- Покровский П. В. Джемсонит // *Минералогия Урала*. М.; Л., 1941. Т. 2. С. 288—291.
- Роговер Т. Б. Медноколчеданное месторождение Блява. М.: ГОНТИ, 1939.
- Рожков И. С., Абдурахимов К. З. Мелентьевское месторождение // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск, 1948. С. 331—341.
- Рукавишников Ф. И. Материалы к характеристике гранитов Суундукского массива (Южный Урал) // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1939. № 5. С. 141—147.
- Смертенко В. М., Корендяев Г. А., Канторович В. И., Ворожев Е. С. Геологическое строение месторождения самоцветов Мокруша на Среднем Урале // *Драгоценные и цветные камни*. М., 1980. С. 117—135.
- Смирнов С. С. Сульфоантимонит свинца близкий к иорданиту с Андреевского рудника на Южном Урале // *Зап. Российск. минерал. о-ва*. 1925. Ч. 54, вып. 1. С. 21—25.
- Смирнов С. С. Андреевский свинцово-цинковый рудник в Кочкарском золотоносном районе // *Изв. Геол. комитета*. 1927. Т. 45, № 8. С. 923—944.
- Смирнов Ф. Л., Премыслер К. М. Сульванит в кварцево-карбонатных жилах Пай-Хоя // *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва*. 1967. Ч. 96, вып. 1. С. 100—104.
- Смирнова Т. А. Теллурическое железо в ультраосновных породах Кемпирсайского плутона // *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва*. 1970. Ч. 99, № 6. С. 745—748.
- Степанов И. С. Гумбейское месторождение шеелита на Южном Урале // *Минералогия Урала*. М., 1954. Т. 1. С. 242—249.
- Суставов С. Г., Кайнов В. И. Арсенопирит Кочкарского рудного поля на Южном Урале // *Материалы по минералогии месторождения Урала*. Свердловск, 1984. С. 37—43.
- Суставов С. Г., Кайнов В. И. Закономерности изменения межплоскостных расстояний и химического состава арсенопирита Кочкарского рудного поля // *Минералы месторождений Южного и Среднего Урала*. Свердловск, 1985. С. 12—15.
- Таранина Т. И. Типы месторождений барита и эволюция баритообразования на Полярном Урале: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 1982.
- Тихомирова В. Д., Яковлева О. А., Янулова Л. А. Редкие мине-

ралы в рудах медистых песчаников Полярного Урала (на примере Падьягинского месторождения) // Минералогия Тимана и Северо-Уральского региона. Сыктывкар, 1989.

Трифонов В. П. Золоторудные месторождения северной части Среднего Урала // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск, 1948. С. 169—176.

Фальк И. П. Записки путешествия академика Фалька // Полное собрание ученых путешествий по России. Спб., 1824. Т. 6, 7.

Федоров Е. С., Никитин В. В. О минералах Богословского горного округа // Ежегодник по геологии и минералогии России. Спб., 1899. С. 79—91.

Федоров Е. С., Никитин В. В. Богословский горный округ. Спб., 1901.

Фишман М. В., Юшкин Н. П., Голдин Б. А., Калинин Е. П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана. Л.: Наука, 1968.

Цепин А. И., Морозова Н. Н., Пшеничный Г. Н. Особенности химического состава блеклых руд южноуральских месторождений колчеданной формации // Состав и структура минералов как показатели генезиса. М., 1978. С. 171—186.

Чвилева Т. Н. Редкие элементы в сульфоантимонитах свинца // Исследования в области рудной минералогии. М., 1973. С. 82—92.

Чесноков Б. В. Эндогенная зональность Березовского рудного поля на Среднем Урале // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210, № 4. С. 915—917.

Чесноков Б. В., Котыбаева Н. Н., Бушмакин А. Ф. Эндогенные минералы висмута и никеля Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1975. С. 123—126.

Чесноков Б. В., Попова В. И. Вариации химического состава блеклых руд Березовского месторождения // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1972. С. 73—83.

Чупилин И. И. Челябинская группа золото-мышьяковых месторождений // Вестник Геол. комитета. 1926. № 1.

Чупилин И. И. Арсениприт // Минералогия Урала. М.; Л., 1941. Т. 2.

Шадлун Т. Н. Энгарит // Минералогия Урала. М.; Л., 1941. Т. 2. С. 311—312.

Широбокова Т. И. Стратиформное полиметаллическое оруденение Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984.

Широбокова Т. И., Шерстобитова Л. А., Пальгуева Г. В. О находке редких сульфидов и сульфосолей свинца в полиметаллических рудопроявлениях на Среднем Урале // Ежегодник-1984 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1985. С. 81—83.

Широбокова Т. И., Шерстобитова Л. А., Пальгуева Г. В. Микровключения в сульфидах стратиформных полиметаллических руд Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987.

Юшкин Н. П. Опыт среднемасштабной топоминералогии // Пайхойско-Южновоземельская минералогическая провинция. Л.: Наука, 1980.

Юшко-Захарова О. Е., Воробьева М. С., Дубакина Л. С. Диагностика редкоземельных минералов из колчеданных руд Южного и Среднего Урала // Диагностика и диагностические свойства минералов. М., 1981. С. 119—131.

Яковлева О. А. Минералогия мышьяка, сурьмы и висмута в гидротермальных образованиях Полярноуральского мегантиклинория: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Л., 1988.

Ярков В. Список минералов и горных пород, которые встречены на Урале // Урал. техник. 1914. № 2. С. 58—66; № 3. С. 40—43; № 5. С. 40—44.

Ярош П. Я. Штроймейерит в рудах Карабашских колчеданных месторождений // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1951. Ч. 80, вып. 3. С. 210—211.

Ярош П. Я., Буслеев Ф. П. Структуры руд и история формирования рудных агрегатов Узельгинского месторождения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.

ASTM. Powder diffractoin file search manual Inorganic. Swarthmore, Pennsylvania, 1973.

Clarke A. M., Criddle A. I. Palladiumminerals from Hope—Noise, Torkey, Devon (Great Britain) // *Miner. Mag.* 1982, Vol. 45, N 340. P. 371—377.

Clarke A. M., Criddle A. I., Fejer E. E. Palladium arsenides-antimonides from Itabira, Minas Gerais, Brazil // *Miner. Mag.* 1974, Vol. 39, N 305, P. 528—543.

Harkourt C. A. Tables for the identification of ore minerals by x-ray powder patterns // *Amer. Miner.* 1942, Vol. 27, N 2. P. 63—113.

Hermann R. F. Versuch einer mineralogischen Beschreibung des Uralischen Erzgebirges. Berlin, 1789. Bd 1—2.

Johan Z., Mantienn J., Picot P. La routhiérîté  $\text{TIHgAsS}_3$  et laffittite  $\text{AgHgAsS}_3$ : deux nouvelles espèces minérales // *Bull. Soc. frans. mineral. cristallogr.* 1974, Vol. 97, N 1. P. 48—53.

Rose G. Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere. Berlin, 1837, Bd 1; 1942, Bd 2.

Stumpil E. F., Tarkian M. Platinum genesis: mineralogical evidence // *Econ. Geology.* 1976, Vol. 71, P. 1451—1460.

## II. ТЕЛЛУРИДЫ

Теллуриды (тетрадимит) на Урале открыты только в 1907 г. В. И. Вернадским и К. А. Ненадкевичем. К 1940 г. стали известны гессит и алтаит, отмечавшиеся в кварцевых жилах, скарнах и колчеданных месторождениях. К настоящему времени на Урале установлено в общей сложности более 35 теллуридов, но часть из них (эмпрессит, вейссит, боровскит, нагиаит) недостаточно строго определена. Теллуриды часто отмечаются в колчеданных месторождениях, где развиты во всех ассоциациях, но преимущественно в поздних сульфидно-кварцевых и карбонатных прожилках. Обычны они и в сульфидно-кварцевых жилах, где слагают продуктивную ассоциацию с золотом, значительно реже обнаруживаются в медно-молибденовых (Лонгот-Юганское, Харбейское) и скарновых месторождениях (Турбинские рудники). Систематика теллуридов проведена по преобладающим металлам и группам в последовательности увеличения атомного веса.

### II.1. ТЕЛЛУРИДЫ ЖЕЛЕЗА, НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Из теллуридов этой группы на Урале установлены фробергит, мелонит и незаванный теллурид состава  $(\text{Cu}, \text{Co})\text{Te}_2$ .

#### II.1.1. Фробергит — $\text{FeTe}_2$ , ромб. с. (Frohbergite)

Фробергит указывается Р. О. Берзоном и Л. А. Меркурьевой (1976) условно (на основании оптических свойств) в Быньговском месторождении. Здесь его выделения размером около 0,04 мм срastaются с висмутитом и креннеритом. Фробергит обнаружен В. В. Мурзиным и В. Ф. Рябининым в составе теллуридных ассоциаций трех месторождений Среднего и Южного Урала. В кварцевых жилах месторождения Пановская Ляга (Средний Урал) он входит в состав калаверит-халькопиритового микропарагенезиса. Выделения фробергита неправильной формы и размером 0,02—0,1 мм образуют сложные сростки с золотосеребряным теллуридом ряда петцит — гессит, золотом (проба 940—950), алтаитом, тетрадимитом. Кроме перечисленных минералов в микропарагенезис входят халькопирит, колорадоит, теллуровисмутит. Встречается фробергит значительно реже других теллуридов.

Наблюдается в составе полиметаллически-теллуридной минеральной ассоциации в прожилково-вкрапленных рудах зон кварц-серицитового метасоматоза на Среднем Урале. В ассоциацию входят халькопирит, сфалерит, галенит, сульфосоли свинца, а также теллуриды золота, серебра, висмута, изредка самородных золота и теллура. Изометричные кристаллы или ксеноморфные выделения фробергита имеют размеры 0,02—0,03 мм. Наблюдаются обрастания его гесситом; он, в свою очередь, нарастает на силъванит или образует сростки с алтаитом и теллуровисмутитом.

В метаморфогенно-гидротермальном типе оруденения близ пос. Светлого единичные выделения фробергита обнаружены в кварцевых жилах с редкой сульфидной вкрапленностью (пирит, пирротин, халькопирит). Обычно это сростания размером до 0,07 мм с теллуридом ряда петцит — гессит (рис. П.1). Кроме этих минералов, в микропарагенезис входят алтаит, мелонит, золото, а также халькопирит, сфалерит, троилит.

По оптическим свойствам фробергит напоминает креннерит. Это минерал с высокой отражательной способностью, белого или желтого цвета, с отчетливым кремовым оттенком. Двухотражение не зафиксировано. Анизотропия очень сильная с характерными цветовыми эффектами в серовато-голубовато-кремовых тонах. Рентгеновские исследования минерала не производились. Определенный на микрозонде химический состав уральских фробергитов приведен в табл. П.1. Существенных вариаций химизма не отмечено, минерал повсеместно практически стехиометричен. Обращает на себя внимание присутствие примесей никеля (0,85%) во фробергите из ассоциации с мелонитом (NiTe<sub>2</sub>).

### П.1.2. (Cu, Co)Te<sub>2</sub>

Минерал обнаружен в борнитовых вкрапленных рудах волковоского типа в дифференцированных габброидах. Его изометричные угловатые выделения размером 10—70 мкм заключены в борните или халькопирите (рис. П.2) и часто обрастают гесситом. Цвет минерала белый, отражательная способность высокая; эффекта оптической анизотропии не обнаружено. В парагенезис кроме упомянутых минералов входят меренскиит, карролит, самородное золото.

Химический состав минерала, определенный рентгеноспектральным микроанализом, приведен в табл. П.2. Поскольку медь и кобальт присутствуют во всех изученных зернах в приблизительно равных соотношениях, можно говорить о самостоятельном минерале с формулой CuCoTe<sub>4</sub>; но для окончательного решения необходимы рентгеновские исследования.



Рис. II.1. Сросток фробергита (*белое*) с теллуридом ряда петцит — гессит (*светло-серое*) в кварце.  $\times 200$ .

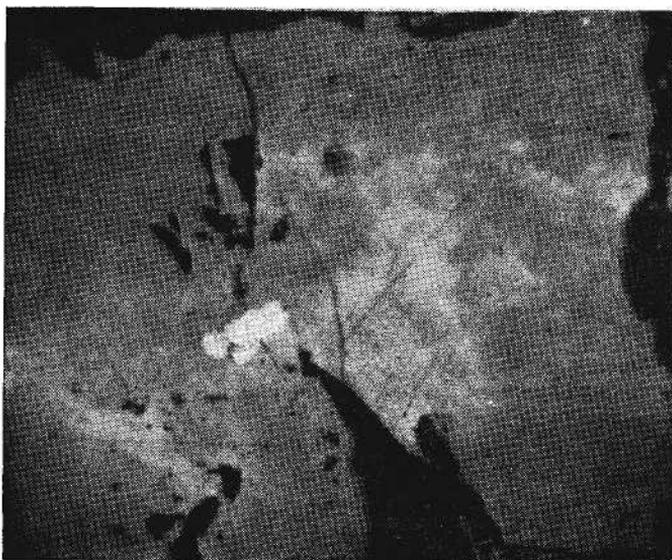


Рис. II.2. Выделение медно-кобальтового теллурида в халькопирите из вкрапленных руд волковского типа.  $\times 300$ .

Таблица II.1

## Химический состав фробергита, мас. %

№ анализа	Fe	Cu	Ag	Ag	Ni	Bi	Te	Сумма
1*	17,75	—	0,06	0,04	—	He обн.	81,20	99,05
2	17,75	—	He обн.	0,04	—	He обн.	81,96	99,75
3	17,40	0,43	He обн.	0,05	—	0,06	84,44	102,38
4	17,27	0,41	He обн.	0,09	—	0,11	82,94	100,82
5	17,59	0,45	He обн.	He обн.	—	0,05	84,10	102,19
6	16,78	0,11	He обн.	He обн.	0,85	—	81,07	98,81

## Кристаллохимические формулы

1.  $Fe_{1,00}Te_{2,00}$ .
2.  $Fe_{0,99}Te_{2,01}$ .
3.  $(Fe_{0,96}Cu_{0,02})_{0,98}Te_{2,02}$ .
4.  $(Fe_{0,96}Cu_{0,02})_{0,98}Te_{2,02}$ .
5.  $(Fe_{0,97}Cu_{0,02})_{0,99}Te_{2,01}$ .
6.  $(Fe_{0,94}Cu_{0,01}Ni_{0,05})_{1,00}Te_{2,00}$ .

\* 1, 2 — месторождение Пановская Ляга; 3 — 5 — зоны сульфидной вкрапленности в кварц-серпичитовых метасоматитах; 6 — кварцевая жила метаморфогенно-гидротермального типа оруденения.

Таблица II.2

## Химический состав медно-кобальтового теллурида из вкрапленных руд в габбро, мас. %

№ анализа	Cu	Co	Ni	Pd	Te	Сумма
1	9,93	8,91	0,0	0,0	80,61	99,61
2	9,89	10,01	0,12	0,31	80,64	100,97
3	9,13	10,34	0,0	0,09	80,38	99,94

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Cu_{0,49}Co_{0,48} \dots)_{0,98}Te_{2,02}$ .
2.  $(Cu_{0,49}Co_{0,53}Pd_{0,01})_{1,03}Te_{1,97}$ .
3.  $(Cu_{0,45}Co_{0,55} \dots)_{1,01}Te_{1,99}$ .

Примечание. Золото, платина, серебро — ниже чувствительности микроанализа (0,04%).

### II.1.3. Мелонит — $\text{NiTe}_2$ , триг. с. (Melonite)

Обнаружен в кварц-серицитовых и кварц-биотитовых метасоматитах с сульфидной вкрапленностью, а также в гидротермально-метаморфогенных кварцевых жилах из оперений тектонических швов Кочкарской гранитной интрузии. Мелонит вместе с фробергитом ( $\text{FeTe}_2$ ) и алтантом ( $\text{PbTe}$ ) является наиболее ранним минералом теллуридной ассоциации, в состав которой, кроме того, входят теллуриды сурьмы, золота, серебра, самородное золото, а также халькопирит, сфалерит и троилит. Ассоциация сформирована при температуре менее  $400^\circ\text{C}$  и давлении 0,3—0,6 кбар.

В кварцевых жилах выделения мелонита размером до 0,25 мм имеют таблитчатую форму, часто с отчетливой спайностью в одном направлении. Он образует выделения в халькопирите (рис. II.3) и кварце. Обнаружены сростки с теллуридом сурьмы и троилитом. В кварц-серицитовых метасоматитах зерна мелонита мельче (до 0,1 мм), форма их неправильная, определяется расположением в межзеренном пространстве агрегатов пирита. Цвет яркий, желтовато-кремовый. В отдельных сечениях очень сильная анизотропия.

Состав мелонита, определенный рентгеноспектральным микроанализом (табл. II.3), пересчитывается на формулу  $\text{NiTe}_2$



Рис. II.3. Кристалл мелонита (белое) в выделении халькопирита (серое) из кварцевой жилы. Урал.  $\times 250$ .

Таблица II.3

## Химический состав мелонита из сульфидоносных кварц-биотит-серицитовых метасоматитов, мас. %

№ анализа	Ni	Cu	Fe	Ag	Te	S	Сумма
1	17,09	0,70	0,22	0,20	80,40	0,20	98,81
2	17,04	0,18	0,0	0,0	83,15	0,0	100,37
3	16,79	0,73	0,0	0,0	83,84	0,0	101,36
4	17,40	0,28	0,35	0,24	79,45	0,15	97,87

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Ni}_{0,94}\text{Cu}_{0,04}\text{Fe}_{0,01}\text{Ag}_{0,01})_{1,0}(\text{Te}_{2,05}\text{S}_{0,02})_{2,07}$ .
2.  $(\text{Ni}_{0,99}\text{Cu}_{0,01})_{1,0}\text{Te}_{2,22}$ .
3.  $(\text{Ni}_{0,96}\text{Cu}_{0,04})_{1,0}\text{Te}_{2,21}$ .
4.  $(\text{Ni}_{0,96}\text{Cu}_{0,01}\text{Fe}_{0,02}\text{Ag}_{0,01})_{1,0}(\text{Te}_{2,01}\text{S}_{0,02})_{2,03}$ .

Таблица II.4

## Расчет рентгенограммы мелонита

I	d, Å	Канада (Рооб-Монтбрей)			I	d, Å	Канада (Рооб-Монтбрей)		
		hkl	I	d, Å			hkl	I	d, Å
		001	1	5,28	2	1,314	004	1	1,315
2	3,37	100	1	3,33	5	1,227	104	2	1,227
10	2,84	101	10	2,82	3	1,208	203	1	1,204
3	2,63	002	3	2,64	2	1,137	212	1/2	1,139
7	2,07	012	5	2,06			300	1/2	1,112
7	1,934	110	5	1,918	10	1,087	301	2	1,084
4	1,594	201	2	1,590	7	1,025	302	1	1,025
9	1,554	112	6	1,549	8	1,004	105	1	1,004
2	1,411	202	1	1,408					

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}_{\alpha+\beta}$ -излучение. Аналитик С. Г. Сустанов.

с некоторым дефицитом металлов (избытком теллура), примеси в значительном количестве отсутствуют.

Дебаграмма мелонита (табл. II.4) соответствует рентгенограммам этого минерала из рудника Рооб-Монтбрей и из скарнов Горного Алтая. Рассчитанные параметры элементарной ячейки:  $a_0=3,85$ ;  $c_0=5,26$  Å. Микротвердость, измеренная в девяти точках зерна мелонита размером 0,2 мм, 57—113 кг/мм<sup>2</sup>, средняя 94,6 кг/мм<sup>2</sup>.

## II.2. ТЕЛЛУРИДЫ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ

Из минералов этой группы на Урале установлены меренскиит, майченерит, боровскит и три не до конца изученные новые фазы  $\text{PdTe}_{1+x}$ ,  $\text{Pd}_2\text{Bi}(\text{Te}, \text{Sb})$  и  $\text{Pd}-\text{Ag}-\text{Te}$ .

### II.2.1. Меренскиит — $\text{PdTe}_2$ , триг. с. (Merenskyite)

Встречен во вкрапленных медно-железованадиевых рудах волковского типа в массиве дифференцированных габброидов. В благороднометалльный парагенезис, кроме меренскиита, входят карролит, неназванный медно-кобальтовый теллурид, гессит и самородное золото. Парагенезис сформирован при температурах менее  $500^\circ\text{C}$ . Найден также в залежи эпидот-гранатовых скарнов с сульфидами и магнетитом в контакте рогово-обманкового меланогаббро с известняками на Среднем Урале (рудник Медный).

В сульфидизированном габбро меренскиит присутствует в рудах в виде ярких, белых с кремовым или желтым оттенком кристаллов размером от первых микрометров до  $50-70$  мкм, заключенных в борнит, халькопирит и решетчатый халькопирит-борнитовый агрегат (рис. II.4). Оптическая анизотропия отчетливая. В скарнах он присутствует в виде кристаллических вrostков в крупных выделениях борнита. Размер выделений до  $0,1$  мм. В парагенезисе с меренскиитом обнаружены халькопирит, сфалерит, пирит и золото.

Химический состав меренскиита из обоих типов руд, определенный рентгеноспектральным микроанализом, близок к стехиометрическому  $\text{PdTe}_2$  с небольшим превышением катионов над анионами (табл. II.5). Основные примеси — висмут (до

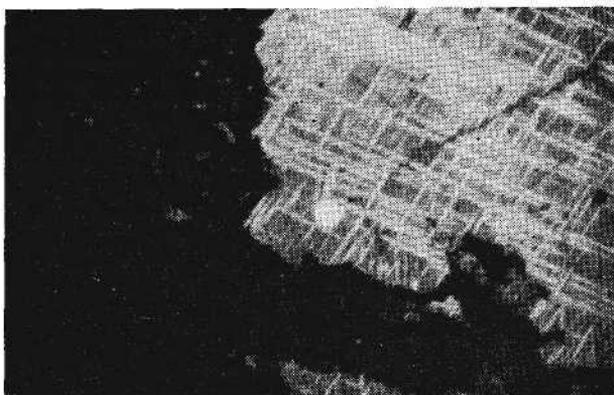


Рис. II.4. Округлое выделение меренскиита в решетчатом халькопирит-борнитовом агрегате.  $\times 150$ .

Таблица II.5

## Химический состав меренскита Волковского массива, мас. %

№ анализа	Pd	Pt	Au	Cu	Co	Fe	Hg	Ni	Te	Bi	Sb	S	Сумма
1*	26,96	0,0	0,0	1,08	0,13	0,59	0,75	0,07	68,14	0,92	0,62	0,35	99,87
2	27,54	0,0	0,0	0,83	0,16	0,55	0,69	0,07	67,90	0,98	0,65	0,17	99,67
3	29,00	0,0	0,0	0,67	0,10	0,30	0,49	0,08	67,50	1,98	0,66	0,12	101,19
4	26,19	3,31	0,29	0,38	0,13	0,10	0,67	0,07	67,88	0,12	0,64	0,12	100,17
5	26,09	2,36	0,17	0,72	0,12	0,38	0,65	0,10	68,52	0,06	0,64	0,26	100,41
6	27,58	0,0	0,53	0,78	0,13	0,19	0,80	0,74	68,40	0,11	0,55	0,09	100,03

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Pd}_{0,90}\text{Hg}_{0,01}\text{Co}_{0,01}\text{Fe}_{0,04}\dots)_{1,02}(\text{Te}_{1,89}\text{Bi}_{0,02}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,04})_{1,98}$ .
2.  $(\text{Pd}_{0,93}\text{Hg}_{0,03}\text{Co}_{0,01}\text{Cu}_{0,04}\text{Fe}_{0,04}\dots)_{1,03}(\text{Te}_{1,90}\text{Bi}_{0,02}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,02})_{1,97}$ .
3.  $(\text{Pd}_{0,96}\text{Hg}_{0,01}\text{Cu}_{0,04}\text{Fe}_{0,02}\dots)_{1,05}(\text{Te}_{1,87}\text{Bi}_{0,03}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,01})_{1,95}$ .
4.  $(\text{Pd}_{0,90}\text{Pt}_{0,06}\text{Hg}_{0,01}\text{Co}_{0,01}\text{Cu}_{0,02}\dots)_{1,02}(\text{Te}_{1,94}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,01})_{1,98}$ .
5.  $(\text{Pd}_{0,88}\text{Pt}_{0,04}\text{Hg}_{0,01}\text{Co}_{0,01}\text{Cu}_{0,04}\text{Fe}_{0,02})_{1,01}(\text{Te}_{1,92}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,02}\text{S}_{0,03})_{1,99}$ .
6.  $(\text{Pd}_{0,92}\text{Au}_{0,01}\text{Hg}_{0,01}\text{Co}_{0,01}\text{Ni}_{0,04}\text{Cu}_{0,04}\dots)_{1,06}(\text{Te}_{1,90}\text{Sb}_{0,02}\text{As}_{0,01}\text{S}_{0,01})_{1,94}$ .

\* Тип руды: 1-3 — халькопиритовый, 4-6 — борнитовая.

1,98 %) и никель (до 0,74 %). Платина (до 3,31 %) зафиксирована в меренскиите из нижних частей рудной зоны. Примеси меди, железа и серы обусловлены частично вторичным рентгеновским возбуждением вещества минерального окружения. Распределение основных и примесных компонентов в отдельных выделениях минерала равномерное. Рентгенометрические исследования минерала не производились.

### II.2.2. Теллурид палладия — PdTe<sub>1+x</sub> (Palladium telluride)

Теллурид палладия указывается Ю. А. Волченко и другими (1975) в виде микровключений до 30—70 мкм в сульфидных концентратах «из магнетитовых пироксенитов» Гусевогорского массива в ассоциации с палладием, медным палладием, его сульфидами и арсенидами. Здесь же описывается его ртутная разновидность. Состав минерала, определенный на рентгеновском микроанализаторе JXA-5 (аналитик Г. А. Сандлер), мас. %:

	1*	2		1*	2
Pd	34,1	26,5	Hg	0,1	18,3
Pt	0,1	0,1	Te	57,7	51,0
Fe	1,2	2,4	As	0,1	0,2
Cu	0,3	1,2	S	0,3	0,1
Ni	0,01	0,01			
			Сумма	94,0	99,8

\* 1 — теллурид палладия, 2 — ртутный теллурид палладия.

Кристаллохимические формулы: 1. Pd<sub>0,8</sub>Fe<sub>0,1</sub>Te<sub>1,1</sub>; 2. Pd<sub>0,6</sub>Hg<sub>0,2</sub> × Fe<sub>0,1</sub>Cu<sub>0,1</sub>Te<sub>1,0</sub>.

Рентгенометрические исследования минерала не производились.

### II.2.3. Майченерит — PdBiTe, куб. с. (Michenerite)

Майченерит определен Штумпфлем и Таркианом (Stumpfl, Tarkian, 1976) в виде включений в сперрилите и платине Бисертской дачи (Верхнеисовская россыпь). Состав, мас. %: Pd 23,5 и 24,5; Te 29,7 и 31,8; Bi 45,4 и 38,1; Sb 0,6 и 4,8 %; сумма 99,2 и 99,2 %. Кристаллохимическая формула: от Pd<sub>1,31</sub>Bi<sub>1,28</sub>Te<sub>1,38</sub>Sb<sub>0,03</sub> до Pd<sub>1,31</sub>Bi<sub>1,04</sub>Te<sub>1,42</sub>Sb<sub>0,23</sub>. Рентгенометрические исследования минерала не выполнялись.

### II.2.4. Pd — Ag — Te фаза

Указывается Штумпфлем и Таркианом (Stumpfl, Tarkian, 1976) в виде включений в сперрилите из платиновых самородков Бисертской дачи (р. Ис). Определена предварительными полуколичественными микронзондовыми анализами; иных исследований по рассматриваемой фазе не проводилось.

### II.2.5. Боровскит — $\text{Pd}_3\text{SbTe}_4$ , куб. с. (Borovskite)

Боровскит предположительно указывается Ю. А. Волченко и другими (1974) в диабазовой дайке, секущей расслоенные ультрамафиты Сарановского массива. Наблюдался в ликвационных каплях в виде желтовато-кремовато-белых изометричных микровключений до 10 мкм в никелевом пирротине и минерале группы виоларита. Состав, мас. %: Pd 30; Te 40; Sb 8; Bi 2,5; Ni 0,5 (микрозонд). Кристаллохимическая формула  $\text{Pd}_{3,3}\text{Ni}_{0,1}\text{Sb}_{0,8}\text{Te}_{3,7}\text{Bi}_{0,1}$ . Цвет желтовато-кремовато-белый, отражательная способность выше, чем у пирротина при близкой твердости. Минерал изотропный. Рентгеновские данные в цитированной работе отсутствуют.

### II.2.6. $\text{Pd}_2\text{Bi}(\text{Te}, \text{Sb})$ , гекс. с.

Установлен Штумпфлем и Таркианом (Stumpfl, Tarkian, 1976) в самородках платины из Бисертской дачи (верховье р. Ис) в виде включений в сперрилите в ассоциации с холлингвортитом. Зерна ромбовидного сечения до 60 мкм. Минерал белый, отражательная способность 60 %, сильно анизотропный, предположительно гексагональной сингонии. Состав промежуточный между котульскитом и поляритом, мас. %: Pd 37,6; Te 19,0; Bi 39,0; Sb 3,8; сумма 99,4 (микрозондовый анализ). Кристаллохимическая формула  $\text{Pd}_{2,00}\text{Bi}_{1,05}(\text{Te}_{0,84}\text{Sb}_{0,18})$ .

## II.3. ТЕЛЛУРИДЫ МЕДИ

На Урале указываются или установлены риккардит, вейссит и вулканит.

### II.3.1 Риккардит — $\text{Cu}_3\text{Te}_2$ , тетраг. с. (Rickardite)

Установлен М. С. Безсмертной и Л. Н. Вяльсовым (1973) в Восточной кварцевой жиле Быньговского рудника в волосовидных прожилках с петцитом, сивьянитом и халькопиритом, в виде дисперсных вростков с вулканитом на контакте халькопирита и петцита. Замещает вулканит. Предполагается гипергенное образование. Состав, определенный на микрозонде, мас. %: Fe 59,21; Cu 40,74; формула  $\text{Cu}_{6,96}\text{Te}_{5,04}$  недостаточно точно согласуется с официально принятой формулой минерала. Рентгенометрическое подтверждение не приводится.

### II.3.2 Вейссит — $\text{Cu}_2\text{Te}$ , псевдокуб. с. (Weissite)

Б. А. Поповым и другими (1978) указано, что вейссит встречается в виде микровключений совместно с теллуrowисмутином в борните из габбро Волковского массива. Какие-либо диагностические признаки минерала в цитированной работе не приводятся.

### II.3.3. Вулканит — $\text{CuTe}$ , ромб. с. (Vulcanite)

Установлен М. С. Безсмертной и Л. Н. Вяльсовым (1973) в Восточной жиле Быньговского месторождения (Средний Урал) в волосовидных прожилках в кварце, выполненных петцитом, сильванитом и халькопиритом. В одном из таких прожилков в контакте халькопирита и петцита обнаружены дисперсные вростки вулканита размером до 5 мкм. В белом свете очень сильно анизотропен с цветными эффектами анизотропии и двуотражения. В положении максимальной освещенности цвет бледно-желтый, в положении минимальной — голубовато-сиреневый. Состав, мас. %:  $\text{Te}$  66,76,  $\text{Cu}$  33,24. Кристаллохимическая формула  $\text{Cu}_{1,00}\text{Te}_{1,00}$ . Предполагается гипергенное образование вместе с риккардитом.

## II.4. ТЕЛЛУРИДЫ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

Среди теллуридов и сульфотеллуридов  $\text{Au}$  и  $\text{Ag}$ , а также более сложных по составу минералов на Урале указываются калаверит, нагиагит, креннерит, сильванит, петцит, гессит, эмпрессит и волинскит, а также слабо изученный сульфотеллурид серебра состава  $\text{Ag}_3\text{TeS}$ .

### II.4.1. Калаверит — $\text{AuTe}_2$ , монокл. с. (Calaverite)

Обнаружен С. А. Вахромеевым (1942) в колчеданном месторождении им. III Интернационала. К настоящему времени выявлен в колчеданных, полиметаллических и сульфидно-кварцевых месторождениях. В колчеданных месторождениях распространен достаточно широко в месторождении III Интернационала. По данным С. А. Вахромеева, калаверит присутствует в призматических зернах трапецеидального и ромбоидального сечения до 0,1 мм в халькопирите; определен по цвету, оптическим свойствам и по поведению при травлении. В месторождении Шмидта отмечен Б. В. Мерlichem в линзе 2 в виде пластинок до 0,1 мм среди халькопирита (Лазаренко, 1947). Упоминается П. Я. Ярошем (1951) в Карабашских месторождениях; в Тарньерском месторождении встречен в единичных зернах до 0,25 мм с другими теллуридами (Ершова, Семенова, 1972).

В Гайском месторождении наблюдается в неправильных зернах до 0,1 мм внутри крупных зерен пирита. Цвет зеленовато-желтый, анизотропный, с отражательной способностью выше, чем у пирита. Рентгеноспектрально установлены  $\text{Te}$  и  $\text{Au}$  (Молошаг, Буслаев, 1982). Упоминается в редкометалльных альбититах Полярного Урала (Апельцин и др., 1967). Предположительно указывается в парагенезисе с волинскитом, калаверитом и фробергитом в кварцевых жилах Пановской Ляги (Берзон, Меркурьева, 1976).

#### II.4.2. Нагиагит — $\text{AuPb}_7\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{S}_8$ , тетраг. с. (Nagyagite)

Упомянут Р. И. Ждановым в шлихах из района Манитаньрд (Полярный Урал) вблизи Нияюского арсенопиритового рудопоявления. Размер зерен нагиагита до 1 мм. Кроме того, установлен в аншлифах в ассоциации с арсенопиритом и халькопиритом. Отмечается, что он диагностирован по данным микронзондового анализа.

Установлен В. Ф. Рябиным в 1988 г. среди минералов полиметаллически-теллуридного парагенезиса в золоторудном месторождении Среднего Урала. Нагиагит ассоциирует с разнообразными теллуридами — фробергитом, теллуrowисмутитом, раклиджитом, гесситом, петцитом, креннеритом, калаверитом, менегенитом, тетрадимитом.

#### II.4.3. Креннерит $\text{Au}_3\text{AgTe}_8$ , ромб. с. (Krennerite)

Креннерит на Урале отмечен впервые М. Г. Муталовым и Г. Н. Пшеничным (1962) в медноколчеданных месторождениях. Отмечен также в сульфидно-кварцевых жилах (Берзон, Меркурьева, 1976). Наиболее широко развит в колчеданных месторождениях. Креннерит установлен в сплошных медистых колчеданах месторождений им. XIX Партсъезда, Гайского и Комсомольского. На месторождении им. XIX Партсъезда это довольно редкий минерал встречен лишь в нескольких полировках. В Гайском месторождении наблюдается в виде включений в пирите до 25 мкм в поперечнике, в тесной ассоциации с гесситом, сильванитом, золотом, халькопиритом. В рудах Комсомольского месторождения установлен в ассоциации с алтаитом, гипогенным борнитом и нерудными минералами, в зернах до 0,1 мм в мелко- и среднезернистом пирите. Под микроскопом кремово-белый, диагностируется по отражательной способности, которая выше, чем у пирита. Анизотропный, однако анизотропия улавливается с большим трудом при очень больших увеличениях микроскопа. Мягкий, полируется очень плохо. Микротвердость 43,2—65 кг/мм<sup>2</sup>.

О. Е. Юшко-Захарова и другие (1981) отмечают креннерит в медноколчеданных рудах Карабашского, Левихинского XIV и Маукского месторождений в халькопирит-сфалеритовой ассоциации с галенитом, теннантитом, золотом и теллуридами, в зернах до 0,02 мм. Состав креннерита из Карабашского месторождения, мас. %: Au 41,0; Ag 2,1; Te 56,0; сумма 99,1 %. Кристаллохимическая формула  $\text{Au}_{3,75}\text{Ag}_{0,35}\text{Te}_{7,90}$ . Упомянут с другими теллуридами в Гарньерском месторождении (Ершова, Семенова, 1972). Указывается Р. О. Берзоном (1973) в виде каймы до 0,01 мм вокруг зерен сильванита в агрегате петцита — гессита в кварцевых жилах Быньговского месторождения и среди нерудных минералов с теллуридами и блеклой рудой в зернах до 0,08 мм в кварцевых жилах Пановской Ляги.

Химический состав креннерита, мас. %

№ анализа	Te	Pb	Au	Ag	S	Сумма
1	64,68	—	28,93	5,73	—	99,34
2	64,30	—	28,87	5,67	—	98,84
3	62,52	He обн.	27,66	8,30	He обн.	98,48
4	62,71	—	27,39	8,27	—	98,37
5	60,70	1,64	30,75	7,24	0,38	100,71

## Кристаллохимические формулы

1.  $Au_{2,90}Ag_{1,05}Te_{10,00}$ .
2.  $Au_{2,90}Ag_{1,05}Te_{10,00}$ .
3.  $Au_{2,85}Ag_{1,55}Te_{10,00}$ .
4.  $Au_{3,28}Ag_{1,41}Te_{10,00}$ .
5.  $(Au_{2,55}Ag_{1,55}Pb_{0,16})(Te_{10,00}S_{0,25})$ .

Установлен В. Ф. Рябининым и В. В. Мурзиным (1987) в кварцевых жилах одного из золоторудных проявлений на Среднем Урале в полиметаллически-теллуридном парагенезисе в зернах до 0,15 мм. Состав креннерита из этого проявления приведен в табл. II.6. Микротвердость изученных зерен 104—237 кг/мм<sup>2</sup>.

II.4.4. Сильванит —  $AuAgTe_4$ , монокл. с. (Sylvanite)

Указывается М. Г. Муталовым (1958) в Межозерном колчеданном месторождении. Определен оптически Р. О. Берзоном (Берзон, 1973; Берзон, Меркурьева, 1976) в кварцевых жилах Быньговского, Северо-Коневского и Пановского месторождений в тесной ассоциации с гесситом, петцитом и золотом, в виде тонких ветвящихся прожилков и точечной вкрапленности в кварце, где все три минерала образуют взаимные прорастания, иногда с графической структурой. Часто агрегаты гессит-петцит-сильванита окружены тонкой каймой позднего халькопирита. Сильванит, помимо графических вростков, может образовывать более крупные выделения в петците. Упоминается с калаверитом в альбититах Полярного Урала (Апельцин и др., 1967).

Установлен В. Ф. Рябининым и В. В. Мурзиным (1987) в зонах кварц-альбит-серицитовых метасоматитов в кварцевых жилах Гагарского проявления на Среднем Урале в полиметаллически-теллуридном парагенезисе в зернах до 0,15 мм и сростках с другими теллуридами. Определение минерала подтверждено данными о его составе (табл. II.7), кривыми отражательной способности и микротвердостью (114,6—195,9 кг/мм<sup>2</sup>).

Таблица II.7

## Химический состав сивьянита из золоторудного проявления, мас. %

№ анализа	Te	Pb	Au	Ag	S	Сумма
1	62,32	0,41	22,55	11,93	0,05	97,26
2	62,76	1,49	24,00	12,74	0,05	101,04
3	61,20	Не обн.	24,58	12,61	Не обн.	98,39
4	61,63	—	24,36	12,72	—	98,71

## Кристаллохимические формулы

1.  $(Au_{0,94}Ag_{0,91}Pb_{0,02})(Te_{4,00}S_{0,01})$ .
2.  $(Au_{0,99}Ag_{0,96}Pb_{0,06})(Te_{4,00}S_{0,01})$ .
3.  $(Au_{1,04}Ag_{0,98})Te_{4,00}$ .
4.  $Au_{1,02}Ag_{0,98}Te_{4,00}$ .

Таблица II.8

## Расчет рентгенограммы тетраэдрита с включениями петцита

I	d, Å	Тетраэдрит		Петцит		I	d, Å	Тетраэдрит		Петцит	
		I	d, Å	I	d, Å			I	d, Å	I	d, Å
1	7,34		—	5	7,31	1	1,637	0,5	1,647		—
3	5,17	0,5	5,2		—	6	1,562	5	1,563	2	1,565
8	3,66	1	3,69	3	3,66	1	1,527		—	2	1,532
1	3,30		—	1	3,27	1,5	1,495	0,5	1,501	2	1,499
10	2,99	10	3,00	3	2,99	2	1,465	0,5	1,467	2	1,469
5	2,77	0,5	2,78	10	2,77	1	1,411	0,5	1,410		—
7	2,60	2	2,61	2	2,59	0,5	1,384	0,5	1,386		—
5,5	2,44	1	2,46	6	2,44	1	1,316		—	5	1,316
2	2,32	0,5	2,33	6	2,32	1	1,295	0,5	1,299	3	1,296
1,5	2,21		—	1	2,21	1,5	1,276	0,5	1,277	3	1,276
2	2,12	1	2,12	8	2,12	0,5	1,257	0,5	1,258		—
5	2,032	1	2,04	7	2,03	1,5	1,238	0,5	1,244		—
4,5	1,892	1	1,895	5	1,89	2	1,204	0,5	1,204		—
9	1,834	6	1,831	3	1,835	3	1,189	1	1,189		—
2	1,778	0,5	1,784		—	0,5	1,173		—	3	1,175
1	1,728	0,5	1,722		—	0,5	1,159	0,5	1,157		—
4	1,681	1	1,687	1	1,683	0,5	1,145		—	1	1,146

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-3;  $CuK_{\alpha}$ -излучение. Эталонные значения межплоскостных расстояний и интенсивностей линий для тетраэдрита и петцита взяты из картотеки ASTM (1973). Анализ выполнен Г. В. Пальгевой.

#### II.4.5. Петцит — $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$ , куб. с. (Petzite)

Впервые отмечен Э. А. Хачатурян (1958) в рудах Карабашских месторождений. К настоящему времени установлен в ряде колчеданных и сульфидно-кварцевых месторождений. В месторождении XIX Партсъезда упоминается М. И. Исмагиловым без характеристики. Указывается в Гайском месторождении (Муталов, Пшеничный, 1962) в зернах до 0,00п мм с галени-том, блеклой рудой, сфалеритом, алтаитом и гесситом. Микро-твердость 31—35 кг/мм<sup>2</sup>. Диагностика сомнительна, так как базируется лишь на ненадежных оптических признаках. Упомянут в Тарньерском месторождении (Ершова, Семенова, 1972) без микроаналитических данных.

Достоверно определен Т. И. Широковой в 1986 г. в тетраэдрите прожилковых кварц-халькопиритовых руд Сафьяновского месторождения. Под электронным микроскопом обнаружены включения пирамидальной и кубической формы размером 0,5—1,5 мкм, сгруппированные в гнездообразные скопления (рис. II.5). Рентгенометрически диагностирован как петцит (табл. II.8). Указывается в быньговских и североконовских кварцевых жилах с гесситом, сильванитом и золотом, а также образует самостоятельные жилки в кварце (Берзон, Меркурьева, 1976).

#### II.4.6. Гессит — $\text{Ag}_2\text{Te}$ , монокл. с. (Hessite)

Гессит отмечен Г. С. Касаткиным (1938) в колчеданах Турьинских рудников, обнаружен С. С. Боришанской (Боришанская, Штейнберг, 1941a) в сульфидно-кварцевых жилах Благодатных рудников, И. С. Волинским — в блеклой руде Карабашских месторождений. В настоящее время известен в скарновых, колчеданных, полиметаллических и сульфидно-кварцевых образованиях. Указание Г. С. Касаткина (1938) о присутствии гессита в сульфидах Турьинских скарновых месторождений меди не подтверждено. Отмечался в Карабашских, Гайском, Тарньерском, Комсомольском колчеданных месторождениях, а также им. III Интернационала, XIX Партсъезда.

По М. Г. Муталову и Г. Н. Пшеничному (1962), в южно-уральских месторождениях (им. XIX Партсъезда, Гайском, Комсомольском) гессит в халькопирит-сфалерит-пиритовых и сфалерит-пиритовых рудах, обогащенных галени-том и блеклыми рудами, а также в прожилково-вкрапленных рудах и секущих сульфидно-кварцевых жилках Гайского месторождения — наиболее распространенный теллурид. Наблюдается в ассоциации с алтаитом в зернах до 40Х45 мкм. Изометричный, неправильной и прожилковидной формы. В месторождении им. XIX Партсъезда встречается в виде включений в алтаите. В Гайском месторождении обнаруживаются тонкие

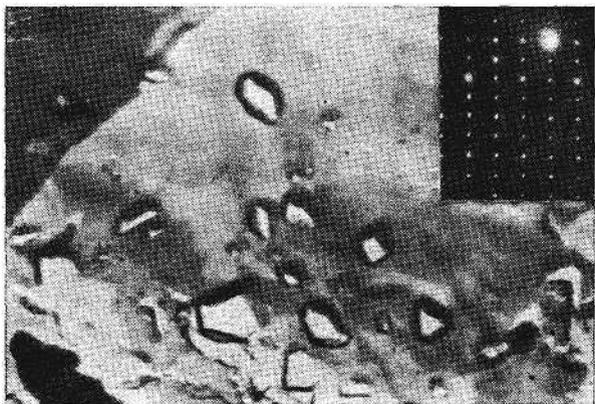


Рис. П.5. Петцит в тетраэдрите.  $\times 10\,000$ . На вклейке — электронограмма, отвечающая плоскости (220) обратной решетки петцита. Микроснимок получен на приборе УЭМБ-100В Л. А. Шерстобитовой.



Рис. П.6. Пластинчатое и таблитчатое выделения бенлеопардита в галените.  $\times 375$ .

прораствания гессита и алтаита или сраствания с галенитом и золотом в каплевидных выделениях до 0,2 мм. Состав, мас. %: Ag 62,40; Au 0,26; Cu 1,22; Pb 0,27; Fe 1,01; Te 37,67; S 0,41; сумма 103,24 (Молошаг, Вигоров, 1980). Кристаллохимическая формула  $Ag_{1,87}Cu_{0,06}Fe_{0,06}Au_{0,01}Pb_{0,01}Te_{0,95}S_{0,04}$ .

В месторождении им. III Интернационала отмечался Б. В. Мерlichem в линзах 2 и 10 в виде тонких пластинок до 0,1 мм в халькопирите и Е. К. Лазаренко (1947) — в борнит-халькопиритовой руде месторождения им. Шмидта в виде пластинчатых и игольчатых выделений по спайности халькозина.

О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1981) подтверждены находки гессита в месторождениях Карабашских, Гайском и им. III Интернационала, где он наблюдался в зернах до 0,07 мм в срастании с галенитом или в виде нитевидных прожилков с кварцем и карбонатом. Состав гессита Карабашского месторождения, мас. %: Ag 64; Te 35,4; сумма 99,4. Микротвердость 31—40 кг/мм<sup>2</sup>, цвет серый, слабо анизотропен. Показатели отражения ( $R$ , %;  $\lambda$ , нм) 32,5—31,3 (460); 33,2—33,8 (500); 33,5—37,5 (540); 33,9—38,4 (580); 34,0—39,5 (620); 36,3—44,2 (660).

Отмечен М. Г. Муталовым (1958) в Майском полиметаллическом месторождении с алтаитом, бетехтинитом и штроемейритом. Встречен Д. Н. Литошко на Лонготьюганском рудопроявлении, где выделения гессита до 15×30 мкм находятся в срастаниях с верлитом, аннивитом, жозеитом-В, алтаитом, расположенными на контакте галенита и халькопирита. В Харбейском месторождении мелкие (до 10×12 мкм) выделения гессита примыкают к крупным выделениям фридрихита. Состав, мас. %: Ag 62,5; Te 37,2; S 0,02.

В сульфидно-кварцевых жилах Благодатных рудников установлен С. С. Боришанской (Боришанская, Штейнберг, 1941) в микроскопических выделениях с галенитом, алтаитом, айкинитом, тетрадимитом и особенно с золотом. С последним часто срастается или содержит его в виде тончайших прожилков. Образует прожилки и отдельные зерна до 1 мм в халькопирите. Микроскопически установлен теллур. Подтвержден минераграфически Р. О. Берзоном (1973). Указывается в кварцевых жилах Быньговского, Северо-Коневского и месторождения Пановской Ляги (Берзон, Меркурьева, 1976), где в тесных, часто графических срастаниях с петцитом и сильванитом образует тонкие прожилки и точечные вкрапления в кварце. Агрегаты трех минералов окружены каемкой халькопирита и секутся жилками золота.

#### II.4.7. Эмпрессит — $Ag_5Te_3$ , ромб. с. (Empressite)

Эмпрессит упоминается с гесситом без какой-либо характеристики в списке минералов Гумешевского скарного месторождения (Попов и др., 1978). Требуется подтверждения.

#### II.4.8. Волюнскит — $\text{AgBiTe}_2$ , ромб. с. (?) (Volynskite)

Указывается предположительно, только на основании изучения оптических свойств Р. О. Берзоном (1973) в Быньговских кварцевых жилах в виде единичного включения до 0,01 мм в алтаите и гессите. Достоверно определен О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1981) в колчеданных рудах Сибайских месторождений, где образует кайму шириной (3—5)×20 мкм вокруг алтаита в пирите. Состав, мас. %: Ag 20,0; Bi 32,0; Te 45,0; сумма 97,0. Кристаллохимическая формула  $\text{Ag}_{1,1}\text{Bi}_{0,9}\text{Te}_{2,0}$ . Микротвердость 55—59 кг/мм<sup>2</sup>. Показатели отражения  $R$ , % ( $\lambda$ , нм): 49,1 (460); 51,5 (500); 51,3 (540); 50,8 (580); 51,9 (620); 52,9 (660). Цвет розовато-фиолетовый, анизотропен. В Старосибайском месторождении изредка отмечаются сростки волюнскита с алтаитом и раклиджитом в пирите.

#### II.4.9. $\text{Ag}_3\text{TeS}$

Сульфотеллурид серебра установлен В. П. Молошагом и Б. Л. Вигоровым (1980) и Ф. П. Буслаевым (1982) в Гайском месторождении в прожилковидных агрегатах галенита и теннантита в изометричных зернах 0,1—0,2 мм. Состав, мас. %: Au 0,10; Ag 65,42; Cu 0,85; Pb 0,27; Te 26,26; S 6,63; сумма 99,78. Кристаллохимическая формула  $\text{Ag}_{2,92}\text{TeS}_{1,00}$ . Минерал анизотропен. По свойствам близок к эмпресситу, хотя и отличается по составу.

#### II.4.10. Бенлеонардит — $\text{Ag}_8(\text{Sb, As})\text{Te}_2\text{S}_3$ (Benleonardite)

Минерал встречен в полиметаллической минерализации на западном фланге Воронцовско-Песчанской группы скарново-магнетитовых месторождений. Зона минерализации небольшой мощности представлена эпидот-актинолит-хлорит-карбонатными метасоматитами с вкрапленностью галенита, сфалерита, халькопирита, пирротина, развивающимися по известнякам (рис. II.6). Бенлеонардит вместе с пираргиритом образует пластинчатые выделения размером до 0,06 мм вдоль плоскостей спайности в галените.

Минерал серый, оптически анизотропный, обладает едва заметным двуотражением. Характеризуется избытком металлов и дефицитом серы по отношению к теоретическому составу, что, по-видимому, связано с разрушением минерала под действием электронного микронзонда. Несколько лучше состав минерала пересчитывается на формулу  $\text{Ag}_8\text{Sb}(\text{Te, S})_6$ . Состав минерала, мас. %: Ag 61,3; 64,3; 58,5; Cu 0,2; 0,2; 0,2; Sb 9,9; 10,0; 10,6; As 1,2; 1,2; 1,7; Te 19,2; 17,0; 17,1; S 9,2; 9,1; 9,1; сумма 101,0; 101,8; 97,2. Кристаллохимические формулы: 1.  $\text{Ag}_{7,15}\text{Cu}_{0,04}\text{Sb}_{1,3}\text{As}_{0,20}\text{Te}_{1,90}\text{S}_{3,63}$ . 2.  $\text{Ag}_{7,49}\text{Cu}_{0,04}\text{Sb}_{1,03}\text{As}_{0,20}\text{Te}_{1,67}\text{S}_{3,57}$ . 3.  $\text{Ag}_{7,08}\text{Cu}_{0,04}\text{Sb}_{1,14}\text{As}_{0,30}\text{Te}_{1,75}\text{S}_{3,70}$ .

Отложение полиметаллической минерализации происходило совместно с карбонатами при температуре около 400°C (определения по доломит-кальцитовому геотермобарометру А. С. Таланцева).

#### II.4.11. Штютцит — $\text{Ag}_5\text{Te}_3$ , гекс. с.

Установлен О. А. Яковлевой в рудах Лекунтальбейского месторождения. Обнаружен в составе рассеянных в халькопирите сегрегаций (размером до 0,5—1 мм), содержащих тонкие прорастания галенита, штютцита, ингодита и самородного золота. Химический состав, мас. %: Ag 58,4; Bi 0,78; Te 41,1; S 0,07; сумма 100,35. Кристаллохимическая формула  $(\text{Ag}_{4,98}\text{Bi}_{0,03})_{5,01}(\text{Te}_{2,96}\text{S}_{0,02})_{2,98}$ . Указывается в рудах Гумешевского месторождения.

### II.5. ТЕЛЛУРИДЫ СВИНЦА, ВИСМУТА И РТУТИ

Из минералов этой группы на Урале известны алтаит, раклиджит, алексит и колорадоит.

#### II.5.1. Алтаит — $\text{PbTe}$ , куб. с. (Altaite)

Алтаит определен в 1940 г. С. С. Боришанской (19416) в Богдатовых месторождениях и И. С. Волынским в Карабашских колчеданных месторождениях. В последнее время обнаружен и в полиметаллических образованиях. В колчеданных месторождениях указывается в Межозерном, Гайском, Тарньерском, Комсомольском, Учалинском, Красногвардейском, Левихинском, Маукском, Карабашском, им. III Интернационала. В месторождении им. III Интернационала отмечен М. П. Исаенко, где замещает тетрадимит и образует выделения в халькопирите (Лазаренко, 1947). В Межозерном, Комсомольском и Гайском месторождениях (Муталов, Пшеничный, 1962) наблюдается в тесной ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, теннантитом и теллуридами в сплошных и прожилково-вкрапленных рудах, редко с пиритом, в тесной ассоциации с гесситом. Выделения до 0, *n* мм, изометричные, угловатые и веретенообразные в сфалерите, теннантите и галените. Определен минералогически. В Гайском месторождении встречен в изометричных и удлинённых выделениях до 30×120 и 35×65 мкм (Пшеничный, 1975).

Алтаит из колчеданных месторождений детально изучен О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1981), в Маукском, Левихе XIV, Красногвардейском и месторождении им. III Интернационала в виде мельчайших (до 2 мкм) включений в пирите, реже на контакте с халькопиритом и галенитом. В Старосибай-

Химический состав алтаита из колчеданных месторождений  
(Юшко-Захарова и др., 1981), мас. %

№ анализа	Pb	Te	Bi	Сумма
1	64,8	36,1	—	100,8
2	58,8	36,6	—	95,4
3	56,8	37,2	—	94,0
4	62	38	—	100
5	64	35,8	—	99,8
6	63,5	34,8	2,0	100,3

## Кристаллохимические формулы

1.  $Pb_{1,05}Te_{0,95}$
2.  $Pb_{0,99}Te_{1,01}$
3.  $Pb_{0,97}Te_{1,03}$
4.  $Pb_{1,0}Te_{1,0}$
5.  $Pb_{1,05}Te_{0,95}$
6.  $Pb_{1,04}Te_{0,93}Bi_{0,03}$

ском месторождении образует сростки с вольтскимитом и раклиджитом, в Карабашском и Гайском — в халькопирит-сфалеритовом парагенезисе. Выполнены микросондовые определения состава (табл. II.9), рентгенограмма (табл. II.10), установлена отражательная способность и микротвердость 34—60 кг/мм<sup>2</sup>. Указывается в кварцевых и сульфидно-кварцевых жилах Среднеуральского, Быньговского, Благодатных рудников и в месторождении Пановской Ляги (Берзон, 1973, Меркурьева, 1976).

Установлен Д. Н. Литошко в Лонготьюганском рудопроявлении в кварцевой жиле с халькопиритом, Cd-сфалеритом, галенитом. Алтаит образует округлые выделения от 6—8 до 110×70 мкм на контакте галенита и халькопирита. Наблюдается в сростании с верлитом, жозеитом-В, гесситом, аннивитом. В отраженном свете минерал желтовато-белый. Отражение в воздухе при 590 нм 66,5%. Состав алтаита, мас. %: Pb 60,6—61,5; Te 37—39,3; Bi 0,06—0,36; Fe 0,03—0,06; Au 0,25—0,30; Ag 0,06—0,12; S 0,03—0,04.

II.5.2. Раклиджит —  $PbBi_2Te_4$ , триг. с. (Rucklidgeite)

Установлен Е. Н. Завьяловым и В. Д. Бегизовым (1977) на образцах М. И. Воина из Кочкарского месторождения, определенных как тетрадимит, но для которого В. И. Степанов установил по рентгенограммам отличие от других теллуридов висмута. Минерал назван авторами раклиджитом по имени

## Расчет рентгенограммы алтаитов (Юшко-Захарова и др., 1981)

Карабаш		Лей-Шор		Карабаш		Лей-Шор	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å						
—	—	1	3,73	4	1,319	4	1,311
10	3,25	10	3,22	2	1,142	1	1,136
10	2,29	8	2,28	3	1,074	2	1,070
—	—	1	1,928	2,5	1,020	2	1,017
4	1,873	3	1,854	2	0,973	2	0,968
2	1,616	2	1,606	2	0,894	1	0,894
5	1,445	5	1,439	3	0,862	2	0,860

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение; Ni-фильтр.

## Расчет рентгенограммы раклиджита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
1	4,61	0009	<1	1,314	2.0.2.23
10	3,22	10 $\bar{1}$ 7	3	1,300	1.2.3.14
9	2,34	1.0.1.14	1	1,276	3030
4	2,21	11 $\bar{2}$ 0	2	1,264	1.0.1.31; 2.1.3.16
2	2,15	1.0.1.16	3	1,172	2.0.2.28; 1.1.2.30
1	2,07	1.0.1.17	2	1,132	1.0.1.35
5	1,976	0.0.0.21	1	1,104	2240
4	1,822	2027	<1	1,095	2.0.2.31; 1.1.2.33
1	1,731	1.1.2.15	3	1,071	3.0.3.21; 1.2.3.26
2	1,632	1.0.1.23	<1	1,049	1.0.1.38
4	1,607	2.0.2.14	1	1,044	1347
6	1,473	1.1.2.21; 1.0.1.26	3	1,035	2.1.3.28
3	1,405	2137	1	1,008	2.0.2.35; 1.3.4.13
4	1,382	0.0.0.30; 1.0.1.28	2	0,999	3.1.4.14
1	1,363	1.1.2.24	1	0,982	3.0.3.27; 1.3.4.16

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}\alpha$ -излучение. Диаметр препарата (шарика) 0,5 мм. При расчете вводили поправки на поглощение, полученные по NaCl и PbS.

Дж. Раклиджа, впервые отметившего на месторождении Робб Монтбрея (Квебек) фазу аналогичного состава. Установлен в арсенопирит-кварцевых жилах и колчеданных месторождениях.

В Кочкарском месторождении раклиджит образует сросток ( $13 \times 9$  мм) с золотом и располагается между зернами кварца. Слагает листоватые агрегаты серебристо-белого цвета, черта свинцово-серая, спайность совершенная по пинакоиду и средняя по ромбоэдру. Расщепляется на гибкие пластинки. Микротвердость  $62,9 \pm 3,6$  и  $51,6 \pm 3,3$  кг/мм<sup>2</sup> ( $P=10$  г). Плотность 7,738—7,740 г/см<sup>3</sup>. Приводится рентгенограмма (табл. II.11). Параметры решетки:  $a=4,422$ ;  $c=41,49$  Å;  $z=3$ ; рентгеновская плотность 8,06 г/см<sup>3</sup>. Состав близок теоретическому (табл. II.12).

Установлен Д. Н. Литошко и О. А. Яковлевой в кварцевой жиле Харбейского месторождения с молибденитом, пирротинном, халькопиритом, сульфосолями и теллуридами висмута, свинца и серебра. Образует таблитчатые выделения размером до  $0,12 \times 0,06$  мм. Обрастает и цементирует расщепленные пластинки молибденита. В отраженном свете бело-желтый, мягкий. В кварц-альбит-серцитовых метасоматитах из золоторудного проявления на Среднем Урале установлен В. Ф. Рябининим и В. В. Мурзиным (1987) в сульфидно-теллуридном парагенезисе, в единичных зернах и сростках в пирите и нерудном агрегате. Подтвержден определением состава, характером кривой дисперсии отражения (табл. II.13) и значениями микротвердости.

В колчеданных месторождениях раклиджит установлен О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1978, 1981). Занимает в них второе место по распространенности среди теллуридов после алтаита. Наблюдался в виде ультрамикровключений в микропорах пирита и в более крупных зернах в перекристаллизованных разностях. В Карабашском месторождении встречен в халькопирит-сфалеритовом парагенезисе с теннантитом, галенитом, кварцем и теллуридами в зернах до 0,01 мм, в Сибайском — в сростании с алтаитом в пирите серноколчеданных руд. Микротвердость 65—80 кг/мм<sup>2</sup>.

### II.5.3. Алексит — $PbBi_2Te_2S_2$ , триг. с. (Aleksite)

Алексит обнаружен в альбититах Поньинского рудопроявления сфалерита в районе Мань-Хамбо. Первоначально диагностировался как тетрадимит (Калиновский, Макеев, 1983), но позднее, в 1984 г., по комплексу признаков отнесен к алекситу (Калиновский и др., 1986). Распространен в альбититах в виде рассеянной акцессорной минерализации в количестве от первых до десятков и сотен граммов на тонну в участках прожилково-вкрапленной сфалеритовой минерализации (рис. II.7) в виде пластинчатых кристаллов размером 0,5—3,0 мм, светло-серого

Таблица II.12

## Химический состав раклиджита, мас. %

№ анализа	Pb	Bi	Au	Ag	Te	S	Сумма
1*	15,4	37,4	—	0,2	43,9	—	97,9
2	17,29	36,44	0,19	1,23	44,51	0,52	100,18
3	15,61	37,29	0,24	1,89	45,58	0,58	101,19
4	17,7	37,0	—	—	44,5	—	92,2
5	15,4	40,0	—	—	45,0	—	100,9
6	14,0	40,0	—	—	44,0	—	98,0

## Кристаллохимические формулы

- $Pb_{0,86}Bi_{2,08}Te_{4,00}$ .
- $(Pb_{0,96}Bi_{2,00}Au_{0,01}Ag_{0,13})(Te_{4,00}S_{0,19})$ .
- $(Pb_{0,84}Bi_{2,00}Au_{0,01}Ag_{0,20})(Te_{4,00}S_{0,02})$ .
- $Pb_{0,98}Bi_{2,02}Te_{4,00}$ .
- $Pb_{0,84}Bi_{2,16}Te_{4,00}$ .
- $Pb_{0,78}Bi_{2,22}Te_{4,00}$ .

\* Месторождения: 1 — Кочкарское, 2, 3 — названное, 4 — Сибайское, 5, 6 — Карабашское.

Таблица II.13

## Показатели отражения раклиджита

$\lambda$ , нм	$R'_g$	$R'_p$	$\lambda$ , нм	$R'_g$	$R'_p$
420	57,2	54,6	580	60,5	56,8
440	57,3	54,6	600	61,0	57,1
460	57,7	54,8	620	61,3	57,5
480	58,1	55,0	640	61,7	57,8
500	58,6	55,3	660	62,1	58,2
520	59,2	55,9	680	62,3	58,7
540	59,7	56,2	700	62,7	59,2
560	60,1	56,6			

Таблица II.14

## Расчет рентгенограммы алексита

$I$	$d$ , Å	$I$	$d$ , Å	$I$	$d$ , Å
5	7,71	7	2,65	10	1,953
3	5,32	3	2,59	4	1,920
15	4,59	3	2,41	4	1,818
14	4,41	2	2,34	5	1,782
14	3,61	19	2,26	10	1,745
26	3,31	19	2,24	11	1,655
100	3,08	29	2,11	9	1,625
4	2,68	11	1,970		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $CuK_{\alpha}$ -излучение; Ni-фильтр; эталон NaCl.

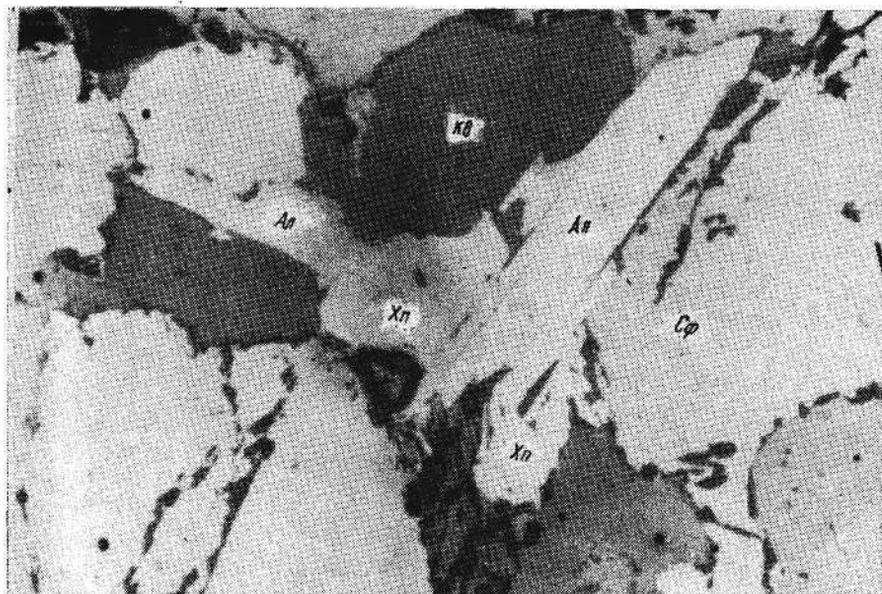


Рис. П.7. Алексит (Ал) в агрегате сфалерита (Сф), рассекающий более ранний халькопирит (Хп). Серые зерна — кварц (Кв).  $\times 80$ .

стального цвета, с сильным металлическим блеском, мягких и ковких. Алексит локализуется среди мономинерального сфалерита, замещая его, а также халькопирита, более позднего по отношению к сфалериту. Совместно с алекситом и сфалеритом наблюдаются пирит, тонкодисперсный Те — Ви-галенит, штольцит, рутил, циркон, кейльгауит (?), апатит, флюорит, гематит, магнетит, турмалин, гастрингсит, эпидот, гранат (спессартин-альмандин) и ряд других недиагностированных минералов. В онтогеническом ряду сульфидов алексит — наиболее поздний минерал. Сульфидная минерализация рассматривается как сингенетичная формированию щелочных метасоматитов.

В отраженном свете алексит на фоне сфалерита белый, чуть кремовый, желтоватый. Микротвердость в базальном сечении 47—50 кг/мм<sup>2</sup>, в перпендикулярном к спайности наблюдается анизотропия первого рода: в направлении {001} — 23 кг/мм<sup>2</sup>, вдоль спайности — 33 кг/мм<sup>2</sup>. Коэффициент анизотропии — 1,3—1,67 (средний — 1,43). Средние коэффициенты отражения ( $R$ , %,  $\lambda$ , нм): 49,6 (440); 51,2 (460); 52,4 (480); 53,3 (500); 54,2 (520); 54,8 (540); 55,2 (560); 55,4 (580); 55,6 (600); 55,8 (620); 56,2 (640); 56,2 (660); 56,3 (680); 56,4 (700) — косое сечение. Дифрактограмма алексита приведена в табл. П.14. Состав алексита и ассоциирующих с ним сульфидов представлен в табл. П.15.

Химический состав алексита, мас. %

№ анализа	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Te	S	Сумма
1	17,0	0,3	0,02	—	47,7	27,8	6,5	99,32
2	19,3	0,3	—	—	46,7	27,3	6,5	100,1
3	10,0	0,2	0,23	0,13	52,6	31,8	5,1	100,06
4	9,4	0,7	—	—	53,6	30,3	5,7	99,7
5	13,3	0,4	0,03	—	51,4	27,4	6,3	98,83
6	11,2	0,3	0,03	—	51,5	31,0	5,5	99,53

## Кристаллохимические формулы

1.  $Pb_{0,78}Zn_{0,04}Bi_{2,18}Te_{2,08}S_{1,92}$ .
2.  $Pb_{0,88}Zn_{0,04}Bi_{2,12}Te_{2,03}S_{1,92}$ .
3.  $Pb_{0,47}Zn_{0,03}Fe_{0,02}Bi_{2,46}Te_{2,43}S_{1,55}$ .
4.  $Pb_{0,44}Zn_{0,10}Bi_{2,47}Te_{2,28}S_{1,71}$ .
5.  $Pb_{0,62}Zn_{0,10}Bi_{2,37}Te_{2,06}S_{1,89}$ .
6.  $Pb_{0,53}Zn_{0,05}Bi_{2,40}Te_{2,36}S_{1,67}$ .

## II.5.4. Колорадоит — HgTe, куб. с. (Coloradoite)

Колорадоит описан Г. Н. Пшеничным и другими (1972) из Узельгинского колчеданного месторождения и Р. О. Берзоном (1973) — из Быньговских кварцевых жил. В настоящее время известен из колчеданных месторождений, сульфидизированных зон с киноварью и из кварцевых жил.

Установлен в Гайском, Карабашском и Узельгинском колчеданных месторождениях. В Гайском (Пшеничный, 1975) — редкий минерал в виде зерен до 10 мкм в блеклой руде или сростках с алтантом и гесситом. Определен по оптическим свойствам; микротвердость 34—35,4 кг/мм<sup>2</sup>. В Узельгинском месторождении (Пшеничный и др., 1972) встречается в ассоциации с халькопиритом, галенитом и сфалеритом, в сплошных сульфидных полиметаллических рудах в ассоциации с алтантом, в сфалерит-пиритовой руде — в виде включений до 0,27 мм в сфалерите и в сростках с сульфидами, а также в баритовой жилке. Наблюдается в виде выделений до 0,27 мм и прожилков до 0,5 мм при мощности 10—150 мкм. Микротвердость 25,7—37,2 кг/мм<sup>2</sup>. Приводится микронзондовое определение состава (табл. II.16). Колорадоит из Карабашского месторождения, детально изученный О. Е. Юшко-Захаровой и другими (1981), наблюдался в халькопирит-сфалеритовых рудах с галенитом, теннантитом, теллуридами и золотом в зернах до 0,03 мм. Микротвердость 34—35 кг/мм<sup>2</sup>, приводятся показатели отражения. Подтвержден рентгенограммой (табл. II.17).

Таблица II.16

## Химический состав колородаита, мас. %

№ анализа	Hg	Te	Сумма	Кристаллохимическая формула
1*	61,28	36,56	97,84	Hg <sub>1,03</sub> Te <sub>0,97</sub>
2	62,20	37,94	100,14	Hg <sub>1,02</sub> Te <sub>0,98</sub>
3	61,15	38,78	99,97	Hg <sub>1,00</sub> Te <sub>1,00</sub>
4	59,6	38,8	98,4	Hg <sub>1,0</sub> Te <sub>1,0</sub>
5	62,1	39,9	101,0	Hg <sub>1,0</sub> Te <sub>1,0</sub>
6	62,0	36,4	98,4	Hg <sub>1,0</sub> Te <sub>1,0</sub>

\*1, 2 — Виллюйский габбро-диоритовый массив; 3 — жила Восточная Быньговского месторождения; 4 — Узельгийское месторождение (Пшеничный и др., 1972); 5, 6 — Карабашское месторождение (Юшко-Захаровой и др., 1981).

Таблица II.17

## Расчет рентгенограммы колородаита

1		2		3	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
2	(4,105)	—	—	—	—
10	3,730	10	3,82	10	3,73
—	—	—	—	1	3,22
2	2,510	—	—	—	—
9	2,279	7,5	2,31	9	2,28
—	—	3,5	1,970	—	—
6	1,949	—	—	7	1,973
1	1,606	1,5	1,623	2	1,64
2	1,476	1,5	1,494	3	1,479
3	1,317	2	1,326	4	1,314
1	1,241	1	1,245	3	1,240
2	1,140	1	1,145	1	1,138
2	1,092	1	1,093	3	1,087
—	—	1	1,021	1	1,017
—	—	—	—	0,5	0,982
—	—	—	—	0,5	0,928
—	—	—	—	1	0,903
—	—	1	0,862	2	0,860
—	—	—	—	1	0,839

Примечание. Условия съемки: 1 — камера РКД-57 мм, УРС-55, Fe-излучение; 2 — РКД-57,3 мм, Си-излучение, Ni-фильтр; 3 — эталонный образец (Минералы, 1960).

В кварцево-жильных образованиях Среднего Урала колорадоит обнаружен в жилах, генетически связанных с гранитоидами габбро-гранитной формации базальтоидного типа. Р. О. Берзоном (1973) описан в жиле Восточная Быньговского месторождения и месторождении Пановская Ляга (Берзон, Меркурьева, 1976), где он образует изолированные включения размером менее 0,1 мм в петците, иногда тесные сростания с тетрадимитом и золотом. Оптически изотропен; микротвердость = 29,4—30,7 кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 5—7 г. В Вилуйском габбро-диоритовом массиве в зонах сульфидизации с киноварью и в зонах серицитизации, наложенных на кварцевые жилы, колорадоит в ассоциации с калаверитом и ртутистым золотом (4,6—8,5 % Hg) в зернах 5—40 мкм выполняет межзерновые пространства в раннем пирите. Состав колорадоита близок к стехиометрическому в Быньговском месторождении или немного обогащен ртутью в проявлениях Вилуйского массива (табл. 11.16).

## 11.6. ТЕЛЛУРИДЫ И СУЛЬФОТЕЛЛУРИДЫ ВИСМУТА

Из минералов этой группы на Урале описаны теллурувисмутит, верлит, хедлиит, сульфохедлиит, цумоит, сульфожозеит (жозеит-А), протожозеит, теллуροжозеит (жозеит-В), ингодит, тетрадимит и теллурид Bi и Pd.

### 11.6.1. Теллурувисмутит — $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , триг. с. (Tellurbismuthite)

Впервые установлен Т. Н. Шадлун (1961) в Учалинском месторождении. Обычный минерал колчеданных, золоторудных и некоторых полиметаллических месторождений Урала. В колчеданных месторождениях известен в Учалинском, Узельгинском, Сибайском, Карабашском, Гайском, им. III Интернационала и Тарньерском. Преобладает в халькопирит-сфалеритовых рудах с другими теллуридами, в зернах 0,01—0,02 мм, в Гайском и Кыштымских месторождениях; в халькопирит-пирротиновых рудах в зернах до 0,08 мм в Сибайском и в пиритовых рудах Сибайского и Карабашского месторождений (Юшко-Захарова и др., 1981; Пшеничный и др., 1974; Шадлун, 1941). В богатой халькопиритом руде Учалинского месторождения (Шадлун, 1961) приурочен к трещинам в раздробленном пирите, залеченном халькопиритом и кварцем. Наблюдается в идиоморфных пластинчатых зернах до 0,2x0,4 мм. Приводится полная характеристика. В Сибайском месторождении (Юшко-Захарова и др., 1981) образует каплевидные включения в пирротине и халькопирите до 10 мкм на контакте с магнетитом, реже в мелкозернистом пирите.

В Гайском месторождении (Пшеничный, 1975; Молошаг, Буслав, 1982) наблюдается в мелких удлинённых зернах внутри халькопирита в сростании с галенитом. Цвет светло-желтый,

Химический состав теллуровисмутитов Урала, мас. %

№ анализа	Pb	Cu	Fe	Au	Ag	Bi	Sb	Te	S	Se	Сумма
1*	0,2	—	—	—	—	53,7	0,1	45,5	—	1,2	100,7
2	4,8	—	—	—	—	48,6	0,1	43,3	—	0,5	97,3
3	—	—	—	—	—	50	—	48	—	—	98
4	—	—	—	—	—	48,3	—	47,9	—	—	96,2
5	1,01	1,49	0,97	—	—	50,93	—	46,68	0,39	—	102,50
6	2,69	—	—	0,26	0,63	52,23	—	45,74	0,07	—	101,62

## Кристаллохимические формулы

1.  $\text{Bi}_{2,03}\text{Te}_{2,83}\text{Se}_{0,12}\text{Pb}_{0,01}\text{Sb}_{0,01}$ .
2.  $\text{Bi}_{1,93}\text{Te}_{2,82}\text{Se}_{0,05}\text{Pb}_{0,19}\text{Sb}_{0,01}$ .
3.  $\text{Bi}_{1,94}\text{Te}_{3,06}$ .
4.  $\text{Bi}_{1,91}\text{Te}_{3,09}$ .
5.  $(\text{Bi}_{1,86}\text{Cu}_{0,18}\text{Fe}_{0,13}\text{Pb}_{0,04})(\text{Te}_{2,79}\text{S}_{0,09})$ .
6.  $(\text{Bi}_{2,03}\text{Pb}_{0,11}\text{Au}_{0,01}\text{Ag}_{0,05})(\text{Te}_{3,00}\text{S}_{0,02})$ .

\*Месторождения: 1 — Узельгинское, 2 — Учалинское, 3, 4 — Карабашское, 5 — Гайское, 6 — Гагарское.

Таблица II.19

## Расчет рентгенограммы теллуровисмутита из Узельгинского (1) и Учалинского (2) месторождения

1		2		1		2	
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å
		1	5,20	1	1,612	2	1,624
		1	4,20	2	1,604	4	1,603
		1	3,88	4	1,485	5	1,481
3	3,536	1	3,55	2	1,392	6	1,392
10	3,221	10	3,25	2	2,287	4	1,294
1	2,636	1	2,71			2	1,264
		1	2,54			1	1,176
9	2,372	7	2,36			1	1,149
1	2,218					1	1,097
5	2,182	8	2,20	2	1,069	1	1,068
2	2,004	3	2,00			4	1,038
1	1,808	5	1,809			1	1,017
5	1,755	2	1,749			1	1,003
		1	1,673			3	0,994

Примечание. Условия съемки: камера РКД; Fe-антикатод,  $d=0,2$  мм. Аналитик Г. В. Басова (ИГЕМ АН СССР).

Показатели отражения теллуровисмутита, %

λ, нм	1*	2	λ, нм	1	2
440	63,4	58,6	600	62,5	58,6
460	62,6	58,4	620	62,3	58,4
480	62,2	58,1	640	62,4	58,5
500	62,0	58,2	660	62,8	58,7
520	62,1	58,4	680	63,1	59,0
540	62,4	58,6	700	63,4	59,2
560	62,6	58,8	720	63,6	59,7
580	62,8	58,8	740	63,7	60,0

\*1, 2 — то же, что в табл. П.19.

анизотропен, двуотражение отчетливое, отражательная способность выше, чем у пирита. Состав приведен в табл. П.18. В Тарньерском месторождении (Ершова, Семенова, 1972) встречается в ассоциации с арсенопиритом, теннантитом и теллуридами. В поздних кварцево-халькопиритовых жилах, секущих измененные вулканы нижних горизонтов Узельгинского месторождения, теллуровисмутит присутствует в неправильных или таблитчатых зернах до  $400 \times 180$  мкм по трещинам дробления в кварце. Содержит примесь селена и свинца. Рентгенограмма и показатели отражения приведены в табл. П.19 и П.20.

В сульфидно-кварцевых жилах Среднего Урала отмечался в зернах до нескольких миллиметров в кварце, карбонатах и халькопирите Быньговского и Среднеуральского месторождений (Берзон, Меркурьева, 1976) в ассоциации с другими теллуридами.

Встречен Д. Н. Литошко и другими (1984) на Харбейском месторождении в кварцевых жилах с халькопиритом, пирротитом, шеелитом. Тесно ассоциирует с золотом и хедлнитом. Образует изолированные таблитчатые выделения размером до  $0,34 \times 20$  мм или сростания с цумоитом, галенитом, жозенитом-А. В отраженном свете минерал ярко-бело-желтый с розоватым оттенком, двуотражение слабое. Отражение в воздухе при 590 нм 63,8 и 60,2 %. Основные линии рентгенограммы: 3,22 (8); 2,69 (3); 2,35 (3); 1,608 (2); 1,476 (2); 1,369 (2).

Свинецсодержащий теллуровисмутит описан из кварц-альбит-серицитовых метасоматитов неназванных проявлений на Среднем Урале (Рябинин, Мурзин, 1987). Минерал в сульфидно-теллуридном парагенезисе в зернах до 0,05 мм содержит 2,69 % Pb (табл. П.18); R 57 %; микротвердость 27,8 кг/мм<sup>2</sup>.

Теллурид Bi и Pb указывается в золотосульфидном проявлении на Среднем Урале (Рябинин, Мурзин, 1987) в

кварц-альбит-серицитовых метасоматитах среди минералов сульфидно-теллуридного парагенезиса в зернах до 0,05 мм. Состав, мас. %: Te 43,18; Pb 8,10; Bi 49,23; Au 0,20; Ag 0,85; S 0,06; сумма 101,62. Эмпирическая формула  $(\text{Bi}_{2,05}\text{Pb}_{0,35}\text{Au}_{0,01}\text{Ag}_{0,7}) (\text{Te}_{3,00}\text{S}_{0,02})$ . По оптическим свойствам близок к теллуровисмутиту с  $R$  57 %; микротвердость 27,8 кг/мм<sup>2</sup>; отличается высоким отношением  $A/X$ , что не позволило авторам находки отнести его к теллуровисмутиту.

### II.6.2. Верлит — $\text{Bi}_4\text{Te}_3$ , триг. с. (Wehrlite)

Установлен на Лонготьюганском рудопроявлении в кварцевой жиле с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, пирротином (Яковлева, 1988). Образует сростания с гесситом, жозеитом-В, аннивитом, алтанитом. Наблюдаются включения на границе галенита и халькопирита размером до  $30 \times 18$  мкм. В отраженном свете беловато-желтый, резко анизотропный. Состав по данным микрозондового анализа, мас. %: Bi 62,7—64; Te 33,5—34,5; Pb 1,98—3,21; Sb 0,23. Рентгенометрические исследования не проводились.

### II.6.3. Хедлиит — $\text{Bi}_2\text{Te}$ , триг. с. (Hedleyite)

Встречается практически во всех кварцево-рудных жилах Харбейского месторождения в небольших количествах (Яковлева, 1988). Образует сростания с жозеитом-А, жозеитом-В, цумонитом, теллуровисмутитом, висмутом, золотом, развивается по фридрихиту, хаммариту и крупкаиту. Выделения неправильной формы размером до  $0,3 \times 0,5$  мм. В отраженном свете серовато-белый, мягкий. Микротвердость 86 кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 10 г. Отражение в воздухе при 590 нм 67,0 и 60,4 %. Состав хедлиита, мас. %: Bi 76,3—80,5; Au 0,1—0,3; Fe 0,02—0,3; Sb 0,10—0,19; Te 18,8—23,7; S до 0,3, что приближенно отвечает указанной формуле. Рентгенометрические исследования не проводились.

### II.6.4. Сульфохедлиит — $(\text{Bi}, \text{Pb})_2(\text{Te}, \text{S})$ (Sulfohedleyite)

Установлен в кварцевой жиле на Харбейском месторождении, где ассоциирует с халькопиритом, цумонитом, теллуровисмутитом, хедлиитом, жозеитом-В, золотом. Образует пластинчатые выделения размером до  $0,2 \times 0,08$  мм. Спайность совершенная, цвет серый, яркий, блеск металлический. В отраженном свете серовато-белый, мягкий.

Состав по данным микрозондового анализа; мас. %: Bi 80,4; Pb 1,28; Cu 0,06; Te 14,8; S 3,4. Кристаллохимическая формула  $(\text{Bi}_{1,88}\text{Pb}_{0,03})_{1,91}(\text{Te}_{0,57}\text{S}_{0,52})_{1,09}$ . Пересчет состава приводит к формуле  $A_2X$ , т. е. минерал близок хедлииту  $\text{Bi}_2\text{Te}$ , отличаясь

присутствием серы. От близкого жозеита-А отличается более высоким содержанием теллура и значительно меньшим количеством серы.

### II.6.5. Цумоит — $\text{Bi}_2\text{Te}_2$ , триг. с. (Tsumoite)

Установлен на Харбейском месторождении в кварцевых жилах с халькопиритом, пирротинном, шеелитом (Литошко и др., 1984). Образует изолированные чешуйчатые выделения размером до  $0,5 \times 0,3$  мм таблитчатой формы в кварце. Цвет серый с коричневым оттенком, блеск сильный металлический. Мягкий. В аншлифах наблюдается в виде изолированных табличек, пластинок или сростаний их с хедлиитом, галенитом, сульфохедлиитом, теллуровисмутитом. В отраженном свете бело-желтый, похож на теллуровисмутит, но в контакте с ним отличается отсутствием розового оттенка. Резко анизотропен.

Отражение в воздухе при 590 нм 67 и 63,4 %. Состав цумоита, мас. %: Bi 54,8—61,6; Te 44,9—35,6; Pb до 0,69; Cu 0,04; S 0—0,08; формула  $\text{Bi}_{1,79}\text{Te}_{2,21}$ .

### II.6.6. Сульфоцумоит — $\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$ , триг. с.

Установлен на Харбейском месторождении в ассоциации с теллуридами и сульфотеллуридами висмута. Образует сростания с цумоитом, жозеитом-А. Содержит примесь свинца до 1,5 %. Химический состав, мас. %: Bi 67,9; Pb 0,51; Te 28,3; S 3,43; сумма 100,14; формула  $(\text{Bi}_{2,97}\text{Pb}_{0,02})_{2,99}\text{Te}_{2,03}\text{S}_{0,98}$ .

### II.6.7. Сульфожозеит (жозеит-А) — $\text{Bi}_4\text{TeS}_2$ , триг. с. (Sulfojoseite)

Впервые найден и определен Ю. С. Кобышевым в 1971 г. в пегматитах Изумрудных копей в парагенезисе с висмутом (Юшкин и др., 1986). Изучался Е. Н. Завьяловым и В. Д. Бегизовым (1983). Установлен Д. Н. Литошко и другими (1984) в Харбейском месторождении. В Малышевском руднике образует сростки с висмутом, жозеитом-В и протожозеитом и пластинки до  $10 \times 5$  мм в олигоклазите. Всесторонне охарактеризован. Состав приведен в табл. II.21.  $\rho = 8,21—8,25$  г/см<sup>3</sup>;  $a_0 = 4,259—4,262$ ;  $c_0 = 39,87$  и  $39,88$  Å,  $z = 3$ ;  $\rho_{\text{выч}} = 8,25$  г/см<sup>3</sup>. Рентгенограмма дана в табл. II.22 (Завьялов, Бегизов, 1981).

В Харбейском месторождении жозеит-А установлен Д. Н. Литошко и другими (1984). В небольших количествах встречается в кварцевых жилах с молибденитом, шеелитом, халькопиритом, пирротинном в ассоциации с сульфосолями и теллуридами висмута, золотом. Образует сростания с жозеитом-В, хедлиитом, цумоитом, теллуровисмутитом, висмутом. Образует округлые включения размером до  $0,16 \times 0,10$  мм в гладите, мелкие включения в хаммарите и фридрихите. В отраженном свете минерал

Таблица II.21

## Химический состав сульфожозента, мас. %

№ анализа	Bi	Pb	Te	S	Se	Сумма
1*	81,5	1,3	11,8	5,9	0,9	101,4
2	80,4	1,4	11,8	6,1	—	99,7
3	80,8	—	12,4	6,2	—	99,4
4	81,3	1,5	10,3	6,4	—	99,5

## Кристаллохимические формулы

1.  $(\text{Bi}_{3,99}\text{Pb}_{0,06})(\text{Te}_{0,95}\text{S}_{1,88}\text{Se}_{0,12})$ .
2.  $(\text{Bi}_{3,98}\text{Pb}_{0,07})(\text{Te}_{0,96}\text{S}_{1,98})$ .
3.  $(\text{Bi}_{3,76}\text{Pb}_{0,17})_{3,93}\text{Te}_{1,17}\text{S}_2$ .
4.  $(\text{Bi}_{3,88}\text{Pb}_{0,07})_{3,95}\text{Te}_{0,81}\text{S}_2$ .

\*1, 2 — Изумрудные копи, 3, 4 — Харбейское месторождение.

Таблица II.22

## Расчет рентгенограммы сульфожозента

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
4	4,43	0009	1	1,460	1.0.1.25
1	3,62	1012	1	1,445	2.0.2.17
<1	3,34	1015; 0.0.0.12	3	1,415	1.1.2.21
10	3,10	1017	2	1,353	2137; 2.0.2.20
1	2,71	1.0.1.10	1	1,330	0.0.0.30
1	2,65	0.0.0.15	2	1,309	1.1.2.24
2	2,60	1.0.1.11	<1	1,263	2.0.2.23
7	2,25	1.0.1.14	1	1,252	1.2.3.14
<1	2,22	0.0.0.18	<1	1,228	3030
2	2,13	1120	2	1,214	1.0.1.31
2	2,07	1.0.1.16	<1	1,183	3039; 1.0.1.32
2	1,975	1.0.1.17	<1	1,159	2.1.3.19
1	1,919	1129	<1	1,127	2.0.2.28; 1.1.2.30
2	1,898	0.0.0.21	<1	1,103	2.1.3.22
1	1,827	1.0.1.19	<1	1,087	1.2.3.23
1	1,793	1.1.2.12	<1	1,073	3.0.3.18
2	1,753	2027; 1.0.1.20	<1	1,065	2240
2	1,660	1.1.2.15; 0.0.0.24	<1	1,055	2.0.2.31
<1	1,627	1.0.1.22	2	1,050	2246
<1	1,567	1.0.1.23	2	1,032	3.0.3.21; 2.0.2.32
3	1,548	2.0.2.14	1	1,007	1.0.1.38
1	1,535	1.1.2.18	<1	0,987	3.0.3.24; 2.2.4.15

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}_\alpha$ -излучение; диаметр препарата (шарика) 0,5 мм. При расчете вводили поправки на поглощение, полученные по NaCl и PbS.

серовато-белый, в сростании с висмутом, теллуrowисмутитом — голубовато-серый. Микротвердость 25—36 кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 10 г и 54—94 — при нагрузке 50 г. Отражение в воздухе при 590 нм 54,5 и 51,0%. Основные линии на рентгенограмме: 3,64 (3); 3,09 (10); 2,25 (6); 2,12 (7); 1,754 (3); 1,541 (2).

### II.6.8. Протожозеит — $\text{Bi}_3\text{TeS}$ . триг. с. (Protojoseite)

Впервые для Урала данные о протожозеите опубликованы Е. Н. Завьяловым и В. Д. Бегизовым (1983), обосновавшими самостоятельность этого минерала по результатам изучения образцов из месторождения Малышевское (Изумрудные копи). В этих образцах протожозеит находится с сульфожозеитом и теллуrowжозеитом. Образцы представлены: а) измененным олигоклазом, на контакте зерен которого содержатся гнезда неправильной формы (до 10×5 мм) со сростками грубозернистого висмута с чешуйками (до 5 мм) сульфотеллуридов; вокруг гнезд дисперсная вкрапленность висмута; б) изолированным сростком (2×1,5 см) грубозернистого висмутита с зерном (около 0,5 см) халькопирита, проросшим несколькими параллельными пластинками сульфотеллуридов. Внешне протожозеит очень похож на теллуриды висмута: имеет слоистое строение, серебристо-белый цвет, металлический блеск, совершенную спайность, низкую твердость. В отраженном свете минерал высокоотражающий, светло-серого цвета.

Химический состав, определенный на рентгеновском микроанализаторе, близок к составу сульфотеллурида висмута  $\text{Bi}_3\text{TeS}$  (табл. II.23). Рентгеноструктурные данные подтверждают самостоятельность минерала (табл. II.24), параметры решетки:  $a = 4,340$  и  $4,330$ ,  $c = 57,65$  и  $58,19$ , Å;  $z = 6$ ; плотность 8,52 г/см<sup>3</sup>.

Установлен Д. Н. Литовко и О. А. Яковлевой на Харбейском месторождении в кварцевых жилах с молибденитом, шеелитом, халькопиритом, пирротином. Тесно ассоциирует с сульфосолями и теллуридами висмута, золотом, висмутом. Парагенезис идентичен жозеиту-А. Размер выделений до 0,4 мм. В отраженном свете минерал белый, практически неотличим от жозеита-В. Диагностируется только путем микронзондирования по составу, отличному от жозеита-А и -В (см. табл. II.23).

### II.6.9. Теллуrowжозеит (жозеит-В) — $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$ , триг. с. (Tellurojoseite)

Впервые для Урала данные о теллуrowжозеите опубликованы Е. Н. Завьяловым и В. Д. Бегизовым (1983) по результатам изучения образцов из месторождения Малышевское (Изумрудные копи). Образец представлен изолированным сростком (2×1,5 см) грубозернистого висмутита с зерном (около 0,5 см)

Таблица II.23

## Химический состав протозоеита, мас. %

№ анализа	Bi	Te	Pb	S	Se	Сумма
1*	80,2	14,4	1,5	3,8	—	99,9
2	79,9	14,6	1,3	3,4	0,7	99,9
3	79,1	16,7	—	3,4	—	99,2
4	78,8	17,4	—	3,3	—	99,5
5	79,2	18,0	—	3,3	—	100,5
6	71,6—75,7	20,4— 21,6	0,4—3,6	3,0—3,1	—	—

## Кристаллохимические формулы

1.  $\text{Bi}_{3,08}\text{Pb}_{0,06}\text{Te}_{0,91}\text{S}_{0,95}$ .
2.  $\text{Bi}_{3,09}\text{Pb}_{0,05}\text{Te}_{0,93}\text{S}_{0,86}\text{Se}_{0,07}$ .
3.  $\text{Bi}_{3,08}\text{Te}_{1,06}\text{S}_{0,86}$ .
4.  $\text{Bi}_{3,06}\text{Te}_{1,11}\text{S}_{0,83}$ .
5.  $\text{Bi}_{3,04}\text{Te}_{1,13}\text{S}_{0,83}$ .

\*1—5 — Изумрудные копи, 6,7 — Харбейское месторождение.

Таблица II.24

## Расчет рентгенограммы протозоеита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
2	4,42	0.0.0.13	2	1,788	2.0. $\bar{2}$ .10
1	3,69	10 $\bar{1}$ 3	1	1,663	2.0. $\bar{2}$ .16; 1.0. $\bar{1}$ .31
<1	3,47	10 $\bar{1}$ 7	1	1,633	$\bar{1}$ .0.1.32
10	3,16	1.0. $\bar{1}$ .10	2	1,574	2.0. $\bar{2}$ .20
2	2,72	1.0. $\bar{1}$ .15	1	1,543	1.1. $\bar{2}$ .26
2	2,58	1.0. $\bar{1}$ .16	2	1,438	1.1. $\bar{2}$ .30
4	2,29	$\bar{1}$ .0.1.20	2	1,379	2.1. $\bar{3}$ .10
<1	2,20	0.0.0.26	2	1,275	1.2. $\bar{3}$ .20
4	2,17	1 $\bar{1}$ 20	2	1,254	30 $\bar{3}$ 0
1	2,09	$\bar{1}$ .0.1.23	<1	1,175	2.1. $\bar{3}$ .28
1	2,05	1.1. $\bar{2}$ .10; 1.0. $\bar{1}$ .24	1	1,155	3.0. $\bar{3}$ .20
<1	1,944	1.1. $\bar{2}$ .13	<1	1,103	1.2. $\bar{3}$ .33
1	1,920	0.0.0.30	<1	1,085	22 $\bar{4}$ 5; 3.0. $\bar{3}$ .27
<1	1,870	20 $\bar{2}$ 3	<1	1,024	1.3.4.10; 1.2. $\bar{3}$ .29
1	1,836	1.1. $\bar{2}$ .17			

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм;  $\text{FeK}_\alpha$ -излучение; диаметр препарата (шарика) 0,2 мм. При расчете вводили поправки на поглощение, полученные по NaCl и PbS.

Расчет рентгенограммы теллуροжозеита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
2	4,54	0009	3	1,385	21 $\bar{3}$ 7
1	3,71	10 $\bar{1}$ 2	<1	1,364	0.0.0.30; 1.0. $\bar{1}$ .28
10	3,17	10 $\bar{1}$ 7	<1	1,343	1.1. $\bar{2}$ .24
2	2,64	$\bar{1}$ .0.1.11	<1	1,331	1.2. $\bar{3}$ .11
1	2,42	1.0. $\bar{1}$ .13	<1	1,296	2.0. $\bar{2}$ .23
6	2,32	$\bar{1}$ .0.1.14	2	1,278	1.2. $\bar{3}$ .14
1	2,27	0.0.0.18	3	1,245	3030
3	2,18	11 $\bar{2}$ 0	1	1,214	$\bar{1}$ .0.1.32
2	2,12	1.0. $\bar{1}$ .16	<1	1,170	1.2. $\bar{3}$ .20
3	1,958	0.0.0.21	1	1,158	1.1. $\bar{2}$ .30; $\bar{2}$ .0.2.28
<1	1,867	$\bar{1}$ .0.1.19	2	1,150	1.2. $\bar{3}$ .21
3	1,797	$\bar{2}$ 027; $\bar{1}$ .0.1.20	1	1,096	3.0. $\bar{3}$ .18
1	1,614	1.1. $\bar{2}$ .17	<1	1,084	3.0. $\bar{3}$ .19
3	1,584	2.0. $\bar{2}$ .14	2	1,074	2.1. $\bar{3}$ .25
<1	1,519	0.0.0.27	2	1,053	3.0. $\bar{3}$ .21
1	1,502	1.0. $\bar{1}$ .25	2	1,025	13 $\bar{4}$ 7
4	1,450	1.1. $\bar{2}$ .21	2	1,016	$\bar{2}$ .0.2.34

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57, 3 мм; FeK $\alpha$ -излучение; диаметр препарата (шарика) 0,5 мм. При расчете вводили поправки на поглощение, полученные по NaCl и PbS.

халькопирита, проросшим несколькими параллельными пластинками сульфотеллуридов. В исследованных чешуйках установлены теллуροжозеит и первоначальный жозеит — Bi<sub>3</sub>TeS (протожозеит). Внешне теллуροжозеит очень похож на теллуриды висмута: имеет слонстое строение, серебристо-белый цвет, металлический блеск, совершенную спайность, низкую твердость. В отраженном свете минерал высокоотражающий, светло-серого цвета. Химический состав определен на рентгеновском микроанализаторе, мас. %: Bi 75,3; Te 21,4; S 2,5; Se 0,9; сумма 100,1. Рентгеноструктурные данные отвечают эталонным (табл. II.25); параметры решетки:  $a=4,346$ ;  $c=40,96$  Å;  $z=3$ ; вычисленная рентгеновская плотность 8,46 г/см<sup>3</sup>.

Установлен Д. Н. Литошко и другими (1984) на Лонготьюганском рудопроявлении в кварцевой жиле с халькопиритом, Cd—Fe-сфалеритом, галенитом, пирротином, в сростании с алтанитом, гесситом, верлитом, аннивитом, включенными в галенит или на контакте галенита и халькопирита. Размер выделений до 20×45 мкм. В рудах Свинцового рудопроявления образует ламеллиевидные включения в галените размером от 4—6

до  $60 \times 12$  мкм. На Харбейском месторождении встречается в небольших количествах в кварцевых жилах с молибденитом, шеелитом, халькопиритом, пирротинном. Жозеит-В ассоциирует с сульфосолями и теллуридами висмута, золотом, тетраэдритом, висмутом, висмутином, галенобисмутитом, галенитом. Обычно образует сростания с халькопиритом, тетрадимитом, жозеитом-А, хедлиитом, включения в хаммарите, фридрихите, халькопирите. Замещается сульфатами и карбонатами висмута. В отраженном свете жозеит-В белый с желтоватым оттенком. Двухотражение заметное. Мягкий. Нередки двойники. Микротвердость  $44\text{--}72$  кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 10 г. Отражение в воздухе при 580 нм 63,5 и 56,0 %.

Состав жозеита-В, мас. %: Вi 73,0—74,3; Рb до 0,78; Те 21,8—22,5; S 2,6—2,8. Кроме того, в жозеите Харбейского месторождения и Лонготьюганского рудопроявления обнаружены Au 0,15—0,2, Fe сл.—0,6. Основные линии на рентгенограмме: 3,15 (10); 2,31 (7); 2,17 (8); 1,958 (4); 1,797 (6); 1,450 (4); 1,382 (5).

#### II.6.10. Ингодит — (Вi, Те)<sub>3</sub>S (Ingodite)

Установлен Е. Н. Завьяловым и другими (1984) в образцах из месторождения Березовая Роща на Южном Урале в виде зерен  $2 \times 0,2$  мм в кварце. Состав двух образцов, мас. %: Вi 54,4 и 51,1; Рb 8,2 и 8,7; Те 32,1 и 32,1; S 5,4 и 5,4; сумма 100,1 и 100,3. Кристаллохимические формулы:  $(\text{Bi}_{1,45}\text{Pb}_{0,22})_{1,67}\text{Te}_{1,40}\text{S}_{0,94}$  и  $(\text{Bi}_{1,38}\text{Pb}_{0,24})_{1,62}\text{Te}_{1,42}\text{S}_{0,95}$ .  $\rho_{\text{выч}}$  7,62 г/см<sup>3</sup>;  $a_0$  4,247;  $c_0$  69,90 Å. Найден Д. Н. Литовко на Харбейском месторождении в кварцевых жилах с молибденитом, шеелитом, халькопиритом, где ассоциирует с фридрихитом, хаммаритом, жозеитом-А, тетраэдритом, хедлиитом, образует пластинчатые выделения до  $0,01 \times 0,04$  мм. В отраженном свете белый, на контакте с фридрихитом розоватый. Двухотражение слабое. Микротвердость  $36\text{--}55$  кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 2 г. Отражение в воздухе при 590 нм 54 и 51,7 %. Состав ингодита, мас. %: Вi 59,9; Рb 11,5; Те 20,9; S 6,20. Кристаллохимическая формула  $(\text{Bi}_{1,64}\text{Pb}_{0,32})_{1,96}\text{Te}_{0,93}\text{S}_{1,11}$ . В отдельных образцах отмечены примеси Cu (до 0,2 мас. %) и Fe (2,0 мас. %). Основные линии рентгенограммы: 3,66 (5); 3,11 (10); 2,25 (3); 2,14 (7); 1,759 (3).

#### II.6.11. Вi<sub>3</sub>TeS<sub>2</sub>

Установлен О. А. Яковлевой в Харбейском месторождении на Полярном Урале в виде пластинчатых выделений, похожих на ингодит, в сростании с галенитом, халькопиритом, штютцитом и золотом. Химический состав, мас. %: Вi 69,2; Рb 7,1; Те 17,6; S 7,35; сумма 101,25. Кристаллохимическая формула  $(\text{Bi}_{2,71}\text{Pb}_{0,28})_{2,99}\text{Te}_{1,13}\text{S}_{1,88}$ .

## II.6.12. $\text{Bi}_5\text{Te}_5\text{S}_2$

Установлен О. А. Яковлевой в Лекынтальбейском проявлении на Полярном Урале в виде пластинчатых выделений в сростании с галенитом и халькопиритом. Химический состав; мас. %: Bi 60,4; Pb 0,17; Ag 0,21; Te 36,7; S 3,90; сумма 101,38. Кристаллохимическая формула  $(\text{Bi}_{4,95}\text{Ag}_{0,03}\text{Pb}_{0,01})_{4,99}\text{Te}_{4,92}\text{S}_{2,08}$ .

## II.6.13. Тетрадимит — $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ , триг. с. (Tetradymite)

На Урале определен В. И. Вернадским (1907) в образцах из Шилово-Исетского месторождения и изучен К. А. Ненадкевичем (1907). Сводка находок до 1940 г. дана В. В. Щербиной (1941). В настоящее время обнаружен в пегматитах, скарновых, колчеданных, полиметаллических месторождениях и сульфидно-кварцевых жилах. Указывается в десилицированных пегматитах Изумрудных копей в виде мелких включений в висмуте (Успенский, 1938; Власов, Кутукова, 1960). После находок там жозеитов требует подтверждения. Указывается среди пегматитов Вишневых гор (Еськова и др., 1964). В скарновых месторождениях указывается во Фроловском и Никитинском рудниках Турьинской группы в неправильных выделениях до 0,5 мм в халькопирите из гранатового скарна (Ненадкевич, 1907; Овчинников, 1948). В высокотемпературных кварцевых жилах с вольфраматами тетрадимит отмечался в Ново-Боевском месторождении в пластинчатых зернах до  $10 \times 5 \times 0,5$  мм с гюбнеритом, шеелитом, пиритом, халькопиритом (Покровский, Юников, 1967). Замещается монтанитом. Спектральным анализом установлены Bi и Te. Основные линии рентгенограммы: 4,70 (2); 3,66 (4); 3,346 (4—5); 3,047 (10); 2,287 (7); 2,132 (8—9); 1,758 (3—4); 1,354 (3—4).

В сульфидно-кварцевых жилах отмечался во многих местах. В Шилово-Исетском руднике обнаружен в кварцевых жилах в виде редких зерен до 1 мм с золотом, халькопиритом и пиритом (Ненадкевич, 1907). Рентгеноструктурные данные для тетрадимита из Шилово-Исетского рудника впервые опубликованы Е. Н. Завьяловым и В. Д. Бегизовым (1985). Исследованные ими образцы представлены сплошным белым кварцем, в трещинках которого расположены гнезда (до 3 мм) агрегата разнориентированных листочков тетрадимита (индивиды около  $1 \times 0,2$  мм); в трещинках содержится также самородное золото. Внешне тетрадимит очень похож на теллуриды висмута: имеет слоистое строение, серебристо-белый цвет, металлический блеск, совершенную спайность в одном направлении, низкую твердость. В отраженном свете высокоотражающий, светло-серого цвета с кремово-зеленоватым оттенком. Рентгеноструктурные данные отвечают эталонным (табл. II.26); параметры решетки:  $a=4,243$ ;  $c=29,51$  Å;  $z=3$ ; вычисленная плотность  $7,49$  г/см<sup>3</sup>, состав (табл. II.27).

## Расчет рентгенограммы тетрадимита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
5	4,88	0006	1	1,387	2.0.2.14
1	3,66	10 $\bar{1}$ 1	1	1,368	1.0.1.20
1	3,31	0009; 10 $\bar{1}$ 4	2	1,352	12 $\bar{3}$ 5
10	3,13	1 $\bar{0}$ 15	6	1,2975	1.1.2.18
2	2,76	10 $\bar{1}$ 7	2	1,259	2.1.3.10
2	2,60	1 $\bar{0}$ 18	2	1,253	1.0.1.22
3	2,46	0.0.0.12	1	1,232	0.0.0.24
8	2,305	1.0.1.10	1	1,221	30 $\bar{3}$ 0
3	2,16	1.0.1.11	4	1,212	1.1.2.20; 1.0.1.23
2	2,13	11 $\bar{2}$ 0	2	1,185	2.1.3.13; 2.0.2.19
3	1,9665	0.0.0.15	1	1,172	1.1.2.21
5	1,934	1.0.1.13	1	1,110	2.1.3.16
1	1,832	1.0.1.14; 2021	1	1,095	3.0.3.12
1	1,777	11 $\bar{2}$ 9, 2024	2	1,085	1.0.1.26; 2.0.2.22
2	1,753	20 $\bar{2}$ 5	1	1,067	22 $\bar{4}$ 0
3	1,641	0.0.0.18	2	1,052	2.0.2.23
2	1,605	1.1.2.12	1	1,039	3.0.3.15
3	1,569	1.0.1.17	3	1,014	1.0.1.28
3	1,556	2.0.2.10	1	1,003	31 $\bar{4}$ 5
4	1,442	1.1.2.15	3	0,981	3.0.3.18
2	1,427	1.0.1.19; 2.0.2.13			

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм; FeK $\alpha$ -излучение; диаметр препарата (шарика) 0,4 мм. При расчете вводили поправки на поглощение, полученные по NaCl и PbS.

Таблица 11.27

## Химический состав тетрадимита, мас. %

№ анализа	Bi	Te	Cu	S	Se	Сумма
1*	59,44	35,80	сл.	4,24	сл.	99,48
2	59,15	35,57	0,48	4,45	—	99,65
3	59,4	34,5	—	5,3	—	99,2

## Кристаллохимические формулы

1. Bi<sub>2,01</sub>Te<sub>2,01</sub>S<sub>0,95</sub>.
2. Bi<sub>2,00</sub>Te<sub>1,97</sub>Cu<sub>0,05</sub>S<sub>0,98</sub>.
3. Bi<sub>1,07</sub>Te<sub>1,88</sub>S<sub>1,15</sub>.

\* 1 — Шилово-Исетский рудник (Ненадкевич, 1907); 2 — Фроловский рудник (Ненадкевич, 1907); 3 — Шилово-Исетский рудник (Завьялов, Бегизов, 1985).

В Благодатных рудниках встречен в виде мельчайших выделений с алтаитом, гесситом и золотом. В сланцевой полосе Кумакского месторождения установлен Е. С. Усатой в кварцевых жилах и в турмалинизированных породах зальбандов в виде пластинчатых кристаллов или тонких пленок на золоте: В прииске Скрыдлове в Тугузакском районе в сульфидно-кварцевых жилах описан А. Н. Заварицким (1926), упоминается в Карасайском, Североконевском, Среднеуральском и Быньговском рудниках в ассоциации с золотом и алтаитом (Берзон, Меркурьева, 1976).

В колчеданных месторождениях обнаружен М. Н. Исаенко на месторождении им. III Интернационала в виде мельчайших неправильных, пластинчатых и игольчатых выделений по спайности галенита. В отдельных случаях замещается алтаитом (Лазаренко, 1947). Определен Т. Н. Шадлун (1950) в колчеданах Яман-Касы в виде пластинчатых включений до 0,02 мм в халькопирите. Указывается Е. И. Барановой и Е. С. Козак в 1958 г. в сплошных и вкрапленных рудах халькопирит-пиритового состава месторождения им. XIX Партсъезда. Образует тонкопластинчатые кристаллики и включения до 0,00 *n* мм, неправильной или изометричной формы. Найден во вкрапленных рудах Учалинского месторождения в сростании с алтаитом в зернах до 0,00 *n* мм (Муталов, Пшеничный, 1962). Все находки тетрадимита в колчеданах не подтверждены микроскопом.

Установлен Д. Н. Литовко в кварцевых жилах Харбейского месторождения в ассоциации с халькопиритом, золотом, цумоитом, жозеитом-В, хедлиитом, «сульфохедлиитом», галенитом. Цвет минерала стально-серый с коричневатым оттенком. Спайность совершенная. В аншлифах тетрадимит образует таблитчатые выделения размером до 0,3x0,2 мм. В отраженном свете минерал желтовато-белый с кремовым оттенком. Подтвержден рентгенограммой.

## II. 6. 14. $\text{Bi}_7\text{Te}_2\text{S}$

Минерал образует мелкие изометричные выделения (размером 10—15 мкм) хедлиит-висмутовых агрегатах тонкозернистого строения Харбейского проявления. Химический состав, масс. %: Bi 81,4; Pb 0,76; Sb 0,22; Te 15,9; S 1,89; сумма 98,85. Формула  $(\text{Bi}_{6,73}\text{Pb}_{0,06}\text{Sb}_{0,03})_{6,82}\text{Te}_{2,15}\text{S}_{1,03}$ . Имеет искусственный аналог  $\text{Bi}_7\text{Te}_2\text{S}$ . Более точная диагностика минерала требует рентгенометрических исследований при обнаружении более крупных выделений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Апельцин Ф. В., Скоробогатова Н. В., Якушин Л. Н. Генетические черты гранитоидов Полярного Урала и условия их редкометальной металлогенической специализации. М.: Недра, 1967.

Безсмертная М. С., Вяльсов Л. Н. Риккардит и вулканит из Быньговского месторождения // Исследования в области рудной минералогии. М., 1973. С. 39—47.

Берзон Р. О. Некоторые редкие минералы из Быньговского золоторудного месторождения // Исследования в области рудной минералогии. М., 1973. С. 48—60.

Берзон Р. О., Меркурьева Л. А. Теллуриды в золоторудных месторождениях Урала // Аксессуары и рудные минералы Урала. Свердловск, 1976. С. 33—39.

Боришанская С. С., Штейнберг Д. С. Гессит // Минералогия Урала. М., 1941а. Т. 2. С. 318.

Боришанская С. С., Штейнберг Д. С. Алтаит // Там же. 1941б. С. 319.

Буслаев Ф. П. Изотопный состав серы пирита Узельгинского месторождения // Всесоюзный симпозиум по стабильным изотопам в геохимии. 16—19 ноября 1982 г. Москва. М., 1982. Т. 2. С. 437—439.

Вахромеев С. А. О новых минералах в рудах колчеданных месторождений Урала // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1942. Ч. 71, вып. 3/4. С. 132—145.

Вернадский В. И. О нахождении тетрадимита в России // Изв. Императ. Акад. Наук. Сер. 6. 1907. № 1. С. 27—28.

Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М.: Изд-во АН СССР, 1960.

Волченко Ю. А., Нечухин В. М., Радыгин А. И. Новый тип платиноидной минерализации в гипербазитах складчатых поясов // Докл. АН СССР. 1975. Т. 224, № 1. С. 182—185.

Волченко Ю. А., Ярош Н. А., Сандлер Г. А., Масленников В. Е. Первая находка платиноидной минерализации в габбро-диабазе западного склона Урала // Ежегодник-1973 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1974. С. 115—116.

Ершова В. Г., Семенова Н. Н. Оруденение и окolorудный магнетитовый метасоматоз на Гарньерском медноколчеданном месторождении Северного Урала // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1972. С. 62—66.

Еськова Е. Д., Жабин А. Г., Мухитдинов Г. Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964.

Заварицкий А. Н. Материалы для изучения золотоносных районов Урала. Л., 1926.

Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. Раклиджит  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  — новый минерал из золоторудных месторождений Зод и Кочкарь // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1977. Ч. 106, вып. 1. С. 62—68.

Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. О новом висмутовом минерале — ингодите  $\text{Bi}_2\text{TeS}$  // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1981. Ч. 110, вып. 5. С. 594—600.

Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. Новые данные о конституции и номенклатуре сульфотеллуридов висмута семейства жозентов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1983. Ч. 112, вып. 5. С. 589—601.

Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. Уточнение конституции тетрадимита // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1985. Ч. 114, вып. 6. С. 693—698.

Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д., Федчук В. Я. Дополнительные данные о химическом составе ингодита // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1984. Ч. 113, вып. 1. С. 31—35.

Калиновский А. В., Макеев А. Б. Халькопирит-пирит-сфалеритовая минеральная ассоциация в альбититах Северного Урала // Минералы и минеральные комплексы европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1983. С. 27—37.

Калиновский А. В., Яковлева О. А., Рожкова В. В., Литовко Д. Н. Первая находка алексита на Урале // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 63—64.

Касаткин Г. С. Редкие металлы полиметаллических руд Башкирии // Цветные металлы. 1938. № 7. С. 17—18.

Лазаренко Е. К. Минералогия медно-цинковых месторождений Среднего Урала. Львов: Львовский гос. ун-т. 1947.

Литошко Д. Н., Бегизов В. Д., Хорошилова Л. А. Первая находка свинцово-висмутовых теллуридов и сульфосолей на Полярном Урале // *Топоминарлогия и минералы рудоносных районов. Сыктывкар, 1984. С. 60—67.*

Минералы. М.: Изд-во АН СССР, 1960.

Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957.

Молошаг В. П., Буслаев Ф. П. Редкие минералы и особенности их распределения в рудах Гайского месторождения // *Ежегодник-1981 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1982. С. 91—93.*

Молошаг В. П., Вигоров Б. Л. Новые данные по минералогии Гайского месторождения // *Минералы горных пород и руд Урала. Свердловск, 1980. С. 11—15.*

Муталов М. Г. Теллуриды в рудах медноколчеданного месторождения им. XIX Партсъезда // *Информ. бюл. Южно-Урал. геол. упр. 1958. № 4 (6). С. 43—45.*

Муталов М. Г., Пшеничный Г. Н. Минералогия теллура в колчеданных месторождениях Южного Урала // *Геолого-минералогические особенности меднорудных месторождений Южного Урала. Уфа, 1962. С. 137—148.*

Ненадkevич К. А. О тетрадимите из русских золотых месторождений // *Тр. Геол. музея Акад. Наук. 1907. № 1. С. 81—84.*

Овчинников Л. Н. Руды Турьинских скарновых месторождений меди // *Тр. Горн.-геол. ин-та Урал. фил. АН СССР. 1948. Вып. 15. С. 56.*

Покровский П. В., Юников Б. А. Монтанит и тетрадимит из Ново-Боевского вольфрамитового месторождения // *Минералы изверженных горных пород и руд Урала. Л., 1967. С. 97—99.*

Попов Б. А., Золоев К. К., Рапопорт М. С. и др. Металлогения ранних стадий развития Уральской палеозойской эвгеосинклинали в свете новых данных геотектоники // *Закономерности размещения полезных ископаемых. М., 1978. Т. 12. С. 27—36.*

Пшеничный Г. Н. Гайское медноколчеданное месторождение Южного Урала. М.: Наука, 1975.

Пшеничный Г. Н., Шадлун Т. Н., Вяльсов Л. Н., Тронева Н. В. О первой находке колорадоита в рудах колчеданной формации (Узельгинское м-ние на Ю. Урале) // *Докл. АН СССР. 1972. Т. 205, № 1. С. 191—193.*

Пшеничный Г. Н., Шадлун Т. Н., Вяльсов Л. Н., Тронева Н. В. О составе и свойствах теллурувисмутита из некоторых колчеданных месторождений // *Минералы и парагенезисы минералов гидротермальных месторождений. Л., 1974. С. 67—75.*

Рябинин В. Ф., Мурзин В. В. Редкие теллуриды в золоторудном проявлении Урала // *Минералы месторождений Урала. Свердловск, 1987. С. 42—45.*

Успенский Н. А. К минералогии Изумрудных копей.— *Зап. Рос. минерал. о-ва. 1938. № 3. С. 481—483.*

Хачатурян Э. А. Алтаит и петцит в рудах Кафанского месторождения // *Докл. АН АрмССР. 1958. Т. 26, № 3. С. 177—180.*

Шадлун Т. Н. Особенности минералогического состава структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала // *Колчеданные месторождения Урала. М., 1950. С. 117—147.*

Шадлун Т. Н. Теллурувисмутит из колчеданной руды Учалинского месторождения (Южный Урал) // *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1961. Ч. 90, вып. 3. С. 294—296.*

Щербина В. В. Тетрадимит // *Минералогия Урала. М.; Л., 1941. Т. 2. С. 315—317.*

Юшкин Н. П., Иванов О. К., Попов В. А. Введение в топоминарлогию Урала. М.: Наука, 1986.

Юшко-Захарова О. Е., Иванов В. В., Воробьев Н. С., Дубакина Л. С., Разина И. С., Карпухина В. С. Геохимия Se, Te, Bi в

медно-цинковых колчеданных месторождениях Урала и некоторые вопросы колчеданного рудообразования // Геохимия. 1978. № 9. С. 13—68.

Юшко-Захарова О. Е., Воробьева М. С., Дубакина Л. С. Диагностика редкоэлементных минералов из колчеданных руд Южного и Среднего Урала // Диагностики и диагностические спектры минералов. М., 1981. С. 119—131.

Ярош П. Я. Штроейерит в рудах Карабашских колчеданных месторождений // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1951. Ч. 80, вып. 3. С. 210—211.

Яковлева О. А. Минералогия мышьяка, сурьмы и висмута в гидротермальных образованиях Полярноуральского антиклинория: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Л., 1988.

ASTM. Powder diffraction file search manual Inorganic. Swarthmore. Pennsylvania, 1973.

Stumpf E. F., Tarkian M. Platinum genesis: new Mineralogical evidence // Econ. Geol. 1976. Vol. 71, N 7. P. 1451—1460.

### III. СЕЛЕНИДЫ

---

Из селенидов на Урале указываются берцелианит, крукесит, клаусталит, эквайрит и гуанахуатит, но все находки требуют подтверждения.

#### III.1. БЕРЦЕЛИАНИТ — $\text{Cu}_2\text{Se}$ , КУБ. С.

Указывается без характеристики Г. С. Касаткиным (1938) в рудах Бакр-Узякского, Тубинского и Юлалинского колчеданных медно-цинковых месторождений. Требуется подтверждения.

#### III.2. КРУКЕСИТ — $\text{Cu}_7\text{TlSe}_4$ , МОН. С.

Упомянут без характеристики Г. С. Касаткиным (1938) в колчеданных рудах Бакр-Узякского, Тубинского, Юлалинского месторождений. Требуется подтверждения. Р. С. Куруленко и другими (1986) предполагается присутствие этого минерала вместе с андоритом в продуктах распада галенита из сульфидно-кварцевых жил Шарташского массива. Предположение базируется на рентгенограмме смеси изучаемого минерала и галенита, андорита с линиями, не относящимися ни к галениту, ни к андориту: 3,30 (10); 2,61 (4); 2,32 (10); 2,43 (3); 1,83 (2), которые совпадают с наиболее интенсивными линиями крукесита. Спектральным анализом в галените с продуктами распада установлены Ag, Cu и Te в количестве 0,0n — 0,n %.

#### III.3. КЛАУСТАЛИТ — $\text{PbSe}$ , КУБ. С.

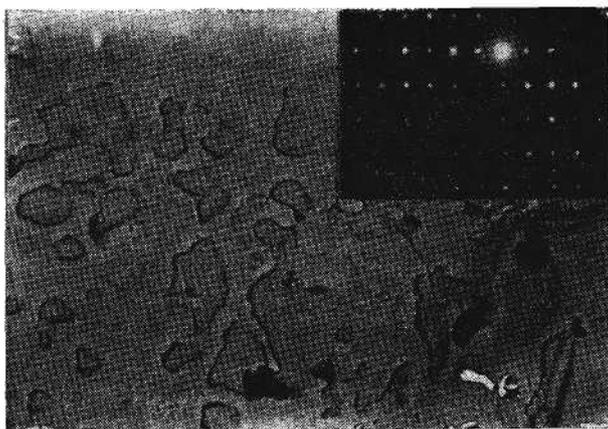
Минерал, похожий по оптическим свойствам на клаусталит, указывается Р. О. Берзоном в ассоциации с пегцитом и колорадоитом в кварцевых жилах Быньговского рудника. Находка требует подтверждения.

#### III.4. ГУАНАХУАТИТ — $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{S}$ , РОМБ. С.

Предположительно отмечается в рудах Березовского месторождения Б. В. Чесноковым и другими (1975) в ассоциации с айкинитом и висмутином, но надежных доказательств не приводится.

#### III.5. ЭВКАЙРИТ — $\text{AgCuSe}$ , РОМБ. С.

Выявлен в виде микровключений в пирите из колчеданно-полиметаллических руд Верхнеаршинского месторождения (Ши-



Микровключения эвкайрита в пирите.  $\times 12000$ . На вклейке — электронограмма от плоскости (100) эвкайрита.

робоква и др., 1987). Исследование пиритов с помощью электронного микроскопа показало, что отдельные зерна не однородны по составу, а обнаруживают микровыделения на плоскостях свежего спайного скола. Эти микровыделения образуют с матрицей структуру сростания типа распада твердого раствора, форма зерен неправильная, иногда близкая к псевдогексагональной, без четких граней с одной или двух сторон (см. рисунок).

Рентгенографическим методом и по дифракциям электронов, полученных от этих частиц, микровключения диагностируются как эвкайрит. Наиболее интенсивные линии, отвечающие эвкайриту: 2,88 (5); 2,62 (7); 2,49 (4); 2,13 (10); 2,03 (2). Точечная электронограмма соответствует плоскости (100) обратной решетки эвкайрита.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Касаткин Г. С. Редкие металлы полиметаллических руд Башкирии // Цветные металлы. 1938. № 7. С. 17—18.

Куруленко Р. С., Шерстобитова Л. А., Яблонская Л. В. Об андорите и крукесите в галенитах из сульфидно-кварцевых прожилков Шарташского массива на Среднем Урале // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 144—145.

Чесноков Б. В., Котыбаева Н. Н., Бушмакин А. Ф. Эндогенные минералы висмута и никеля Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1975. С. 123—126.

Широбоква Т. И., Шерстобитова Л. А., Пальгуева Г. В. Микровключения в сульфидах стратиформных полиметаллических руд Урала. Свердловск; УНЦ АН СССР, 1987.

## IV. ФТОРИДЫ

### IV.1. ПРОСТЫЕ ФТОРИДЫ

#### IV.1.1 Ферручит — авогадрит — $\text{NaBF}_4$ — $\text{KBF}_4$ , ромб. с. (Ferrucite — Avogadrite)

Предположительно указывается М. М. Сливко (1958) в виде удлиненных или гексагональных табличек в жидких включениях в кристаллах полихромного турмалина из пегматитов Среднего Урала, вероятно, из Шайтанских или Липовских копей. Диагностирован по низким показателям преломления, анизотропии, форме кристаллов и высокой растворимости до  $35^\circ\text{C}$ . Требуется подтверждения точными методами.

#### IV.1.2. Виллиомит — $\text{NaF}$ , куб. с. (Williamite)

Виллиомит предположительно (возможно, хиолит) отмечался Г. П. Барсановым в 1949 г. в скарнах близ пегматитовой жилы 15 в Ильменах в виде мелких восьмигранных призм до  $0,02$ — $0,03$  мм с пирамидальными гранями. Требуется подтверждения.

#### IV.1.3. Нейборит — $\text{NaMgF}_3$ , ромб. с. (Neighborite)

Обнаружен Л. С. Бородиным в щелочных метасоматитах Западноуральского поля, изучен и описан А. Ф. Ефимовым и другими (1967). Наблюдался во флюорит-альбитовых, содалит-альбитовых и флюорит-анальцим-микроклин-альбитовых прожилках среди эгирин-микроклиновых и эгирин-анальцимовых метасоматитов. Включен в выделения крупнокристаллического флюорита, мелкозернистого бербанкита и канкринита. Нейборит образует выделения до  $5 \times 3$  см неправильной и округлой формы, от светло-желтого до темно-бурого цвета, часто пятнистый, с совершенной спайностью по кубу. Прозрачен, излом неровный, блеск стеклянный.

Плотность  $3,10$  г/см<sup>3</sup>, плавится при  $1000^\circ\text{C}$ ,  $n_g = 1,366$ ,  $n_p = 1,364$ ,  $n_g - n_p = 0,002$ . Рентгенограмма идентична эталонной (табл. IV.1),  $a_0$  5,55;  $b_0$  7,78;  $c_0$  5,52 Å. Состав, мас. %:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,17;  $\text{MgO}$  39,36;  $\text{CaO}$  1,10;  $\text{Na}_2\text{O}$  27,02;  $\text{K}_2\text{O}$  0,77;  $\text{H}_2\text{O}$  0,25; F 54,67; сумма 123,49;  $\text{O}=\text{F}_2=23,00$ ; сумма 100,49. Кристаллохимиче-

Расчет рентгенограммы уральского нейборита (1)  
и нейборита из Солт-Лейк-Сити (2)

1			2 (Ефимов и др., 1967)		1			2 (Ефимов и др., 1967)	
<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Кх	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Кх	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
020	4	3,89	4	3,83	—	1	1,270	1	1,268
111	1	3,50	1	3,44	—	1	1,240	1	1,234
121	7	2,73	5	2,71	—	1,5	1,219	1	1,220
102	1,5	2,47	1	2,44	—	1	1,167	—	—
130	6	2,35	3	2,30	—	1	1,150	—	—
022	5	2,25	2	2,23	—	1	1,121	—	—
131	1	2,15	1	2,13	—	1	1,104	—	—
122	2,5	2,07	1	2,06	—	1	1,075	—	—
040	10	1,926	10	1,918	—	1	1,052	—	—
212	1	1,878	1	1,862	—	1	1,021	—	—
132	1	1,751	1	1,765	—	1	0,993	—	—
103	1	1,721	1	1,732	—	1	0,976	—	—
113	1	1,698	1	1,689	—	1	0,960	—	—
042	6	1,587	1	1,575	—	1	0,938	—	—
321	6	1,560	3	1,556	—	1	0,930	—	—
150	1	1,479	1	1,473	—	1,5	0,893	—	—
133	1	1,448	1	1,434	—	1	0,870	—	—
331	1	1,416	1	1,415	—	1	0,858	—	—
242	3	1,361	1	1,356	—	1	0,838	—	—
—	2	1,305	1	1,300	—	1	0,813	—	—

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57,3 мм; Си-Ni-излучение.

ская формула  $\text{Na}_{0,93}\text{Mg}_{1,0}\text{F}_{2,97}$ . Генезис минерала связывается авторами с фильтрацией эндогенных фтор-щелочных растворов сквозь толщи пород, обогащенных магнием.

#### IV.1.4. Селлаит — $\text{MgF}_2$ , тетр. с. (Sellaite)

Селлаит на Урале обнаружен в 1983 г. в гидротермальных флюоритовых жилах Е. В. Настасиенко и М. М. Сомовым (Настасиенко и др., 1986) в окрестностях с. Шили в Башкирии и в 1987 г. Б. В. Чесноковым (1987) в горелых угольных отвалах г. Копейска. Гидротермальный селлаит, установленный в Башкирии (Настасиенко и др., 1986), присутствует в селлаит-флюоритовом теле — крутопадающей залежи мощностью до 3,5 м, залегающей в углисто-глинистых, местами карбонатизированных сланцах суранской свиты (нижнего рифея) Башкирского поднятия в экзоконтакте габбро-диабазовой дайки. Залежь и дайка расположены в зоне субмеридионального разлома, осложняющего крыло крупной антиклинальной структуры того же простиранья.

Селлаит наблюдается в виде крупных мономинеральных обособлений и включений мелких кристаллов и их сростков во флюорите в ассоциации с пиритом и поздними жилками талька. Крупные обособления сложены грубозернистым селлаитом или представляют собой плотный агрегат разноориентированных, в разной степени деформированных монокристалльных блоков селлаита до 5—7 см и более. В элювиально-делювиальной россыпи, приуроченной к коренному выходу залежи, встречаются мономинеральные обломки селлаитовых обособлений размером до десятков сантиметров в поперечнике. В единичных шестоватых кристаллах отчетливо проявлена тетрагональная призма {100} с совершенной спайностью по {100} и (110). Селлаит хрупок, микротвердость  $(296—336) \cdot 10^6$  кг/м<sup>2</sup> (средняя  $323,5 \times 10^6$  кг/м<sup>2</sup>), плотность  $(3,16—3,17) \cdot 10^3$  (грубозернистая разновидность) до  $(3,17—3,18) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (крупнокристаллическая разновидность). Цвет светло-серый до молочно-белого; в светло-сером местами отмечаются мелкие монообласти бесцветного просвечивающего селлаита. В шлифах в проходящем свете селлаит бесцветный, одноосный (+), удлинение (+). Нередко

Таблица IV.2

Расчет рентгенограммы селлаитов из г. Копейска (1) и с. Шия (2)

1				2	
<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм.</sub> , Å	<i>d</i> <sub>выч.</sub> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
10	3,265	3,266	110	100	3,27
6	2,543	2,546	101	9	2,545
—	—	—	—	1	2,310
10	2,228	2,230	111	48	2,231
8	2,066	2,066	210	23	2,066
9	1,710	1,711	211	36	1,711
5	1,634	1,633	220	22	1,635
4	1,525	1,525	002	6	1,525
2	1,461	1,461	310	3	1,462
1	1,440	1,440	221	2	1,4406
—	—	—	—	5	1,3818
7	1,375	1,375	301	18	1,3753
2	1,318	1,318	311	—	—
0,5	1,281	1,281	320	—	—
1	1,228	1,227	212	—	—
1	1,155	1,155	040	—	—
1	1,121	1,121	410	—	—
2	1,115	1,115	222	—	—
$a_0 = 4,620 \pm 0,001 \text{ Å}$ $c_0 = 3,051 \pm 0,001 \text{ Å}$			$a_0 = 4,623 \pm 0,001 \text{ Å}$ $c_0 = 3,050 \pm 0,001 \text{ Å}$		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Лаборатория Ильменского заповедника. Для обр. 2 — внутренний стандарт NaCl, аналитик Б. К. Қасатов (ВСЕГЕИ).

Рис. IV.1. Кристаллы селлаита:  
 $a\{100\}$ ,  $m\{110\}$ ,  $s\{111\}$ .

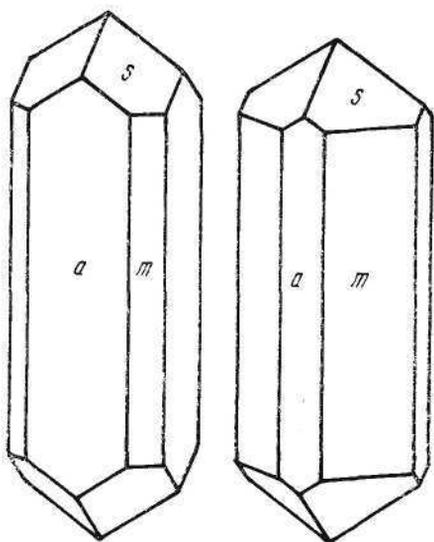
встречается двойниковое строение кристаллов. Показатели преломления грубозернистого и крупнокристаллического селлаита (аналитик Е. Н. Котельникова):  $n_e = 1,390$ ;  $n_o = 1,378$ ;  $n_e - n_o = 0,012 \pm 0,002$ . Рентгенограмма крупнокристаллического селлаита идентична эталонной (табл. IV.2).

В угольных отвалах значительное количество селлаита встречено Б. В. Чесновым в 1987 г. в горелых отвалах шахты 45 Челябинского угольного бассейна. Чаще всего он находится в кусках окаменелого дерева, превращенного в черную волокнистую углеродистую массу, объемная плотность которой доходит до  $0,2 \text{ г/см}^3$ . Такое изменение кусков окаменелого дерева, сложенного доломитом или другими карбонатами, происходит в «черных блоках» — частях отвалов, где негорелая отвальная масса была сильно прокалена в резко восстановительных условиях. Вместе с селлаитом и углеродистым веществом встречены моносulfиды железа типа тронлита и пирротина, когенит, флюорит, железистый периклаз и ряд безводных силикатов.

Призматические и игольчатые индивиды селлаита, достигающие в длину 1 см и более, в разных направлениях «пронизывают» параллельно-волокнистую углеродистую массу. Многие кристаллы хорошо образованы, главными формами являются  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{111\}$  (рис. IV.1). Однако большинство индивидов не имеют плоских граней и покрыты гладкими и блестящими сложными бугорчатыми и ямчатыми поверхностями. Очень много скелетных кристаллов и параллельных сростков. Попадаются и трубчатые кристаллы.

Селлаит бесцветен, похож на тонкие ледяные «сосульки», блеск стеклянный, черта белая. Твердость около 5,5. Очень хрупкий. Плотность  $3,173 \pm 0,005 \text{ г/см}^3$  (пикнометрическое определение). В иммерсии бесцветный, одноосный, положительный;  $n_g = 1,390$ ;  $n_p = 1,380$ .

Химический анализ селлаита выполнен Л. Ф. Баженовой в Ильменском заповеднике:



	Мас. %	Ат. колич.	Отношение при Mg=1,00
F . . . . .	60,30	3,1740	1,96
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,44	0,0259	0,02
Mg . . . . .	39,35	1,6190	1,00
Сумма . . . . .	100,09	—	—

Анализ рассчитывается на эмпирическую формулу



Минералы фтора характерны для высокотемпературных образований горелых отвалов Челябинского угольного бассейна: флюорит, селлаит, фторапатит, флюорэлластадит, норбергит, хондрит, фторсодержащие слюды и амфиболы, топаз и др. Большинство этих минералов находилось или в продуктах изменения кусков окаменелого дерева, или поблизости. Возможно, источником фтора и были эти куски (предполагается систематическое их опробование на фтор).

#### IV.1.5. Флюорит — CaF<sub>2</sub>, куб. с. (Fluorite)

Флюорит на Урале открыт в 1789 г. И. Германом в Боевском месторождении и И. Менге (1826) в Ильменских горах. Сводка находок до 1917 г. сделана Е. В. Еремниной (1917), до 1980 г. — Н. П. Юшкиным и другими (1982). На Урале флюорит встречен практически во всех генетических типах минеральных парагенезисов: в ортомагматитах среднего, кислого и щелочного состава, гранитных и щелочных пегматитах, контактово-метасоматических месторождениях, грейзенах, в гидротермальных образованиях, карбонатных осадках, эвапоритах и как современное образование — в горелых отвалах.

В качестве акцессорного минерала в мелких ксеноморфных зернах с мусковитом и кварцем наблюдался в интерстициях породообразующих минералов в мусковитовых гранитах Челябинского массива (0,02%), аплитовых гранитах Шилово-Коневского района (до 0,1%), гранито-гнейсах Губенского массива, аляскитах и лейкогранитах Мань-Хамбо, в редкометалльных аполгранитах Приполярного Урала (Апельцин и др., 1967; Фишман и др., 1968) и т. д. Отмечался в рудных габбро Кусинской расчлененной интрузии, где в нем обнаружено до 1% Пг. В вулканитах флюорит встречается в виде жилок и вкрапленности в лавах и туфах ортофиоров в окрестностях г. Нижнего Тагила и г. Кушвы, близ контакта с сиенитами в виде вкрапленности и жилок фиолетового цвета (Кузнецов, Лучицкий, 1936). Севернее г. Верхняя Тура широко развиты флюоритизированные туфы ортофиоров.

Флюорит — обычный минерал гранитных десилицированных и щелочных пегматитов, однако отсутствует в габбровых и ультрамафических пегматитах. В десилицированных пегматитах

Изумрудных копей (Власов, Кутукова, 1960) это главный минерал, наблюдающийся в крупнозернистых скоплениях размером до 0,5x1,0x1,5 м. Преобладают серо-фиолетовые, розовато-фиолетовые, фиолетовые, розовые, зеленые, зеленовато-голубые цвета, реже встречается бледно-желтый и бесцветный оптический флюорит. Красно-розовые разности на солнце обесцвечиваются. Кристаллы размером до 2x3 см — октаэдры, кубы и кубооктаэдры. Ассоциирует с бериллом, апатитом и турмалином. В пегматитах чистой линии и поздних жилках — мелкие зерна. В гранитных пегматитах Мурзинки, Режа и в окрестностях г. Златоуста образует мелкие октаэдрические и кубические кристаллики.

В сиенитовых пегматитах Ильменских гор флюорит — нередкий минерал в виде жилок светло- и темно-фиолетового цвета, сплошных масс, реже кристаллов. В Вишневых горах в сфеновом плагиоклазовом пегматите светло-фиолетовый крупнозернистый флюорит образует жилки и вкрапленность.

В редкометалльных альбититах Харбейского антиклинория, развивающихся по гранитам, гранито-гнейсам и вмещающим их сланцам, флюорит в количестве до 30 % ассоциирует с танталониобатами, цирконом, касситеритом, сфалеритом, галенитом, пиритом и т.д. Нередки кварц-флюоритовые жилки в гранитах, гнейсах и сланцах.

В апикальных частях гранитных массивов кожимского комплекса в Ляпинском антиклинории флюорит образует вкрапленность или связан с зонами гидротермально-метасоматической переработки доордовикских гранитоидов (Юшкин и др., 1977).

В контактово-метасоматических месторождениях, например, Магнитогорском, флюорит — довольно широко распространенный минерал, встречается в кальцитовых и кварцевых жилках в мраморах и скарнах; цвет — зеленый или слабо фиолетовый, агрегаты до первых сантиметров. Предполагается его мобилизация из известняков. В Лебяжинском месторождении образует неправильные агрегаты среди магнетитовых руд и хлоритизированных роговиков с флогопитом, апатитом и кальцитом (Овчинников, 1960). Обнаружен В. Н. Авдониным по трещинам в эпидозитах и роговиках Валуевского месторождения в виде вкрапленности и сгустков (до 5 X 3 X 1 см) темно-фиолетового цвета.

В высокотемпературных гидротермальных кварцевых жилах с вольфрамитом и бериллом в гранитах Восточно-Уральского поднятия флюорит — обычный жильный минерал. В типичном Боевском месторождении крупнозернистый флюорит наблюдается в мусковитовом зальбанде, а также образует грейзеноподобные метасоматиты и жилки во вмещающих породах. Выделяются симметрично-зональные мусковит-флюоритовые жилки, густая сеть мелких ветвящихся зональных прожилков в мраморах с мусковитом, флюоритом, альбитом, фенакитом и бериллом, прожилки, гнезда, массивные, полосчатые, брекчиевидные

и смятые мусковит-флюоритовые породы (грейзены) с темно-фиолетовым флюоритом (Рундквист, Чистяков, 1960). В редких полостях наблюдаются кристаллы темно-зеленого флюорита до 2 см по ребру.

В колчеданных месторождениях редок. Встречен в Карабашском месторождении в серицитовых сланцах и вторичных кварцитах в зернах до 0,1 мм и микрожилках. В мраморах вкрапленность флюорита отмечена по р. Черемшанке, близ г. Полевского (Томсон, 1835), у г. Верхнего Уфалея и на горе Магнитной.

Низкотемпературные гидротермальные проявления флюорита концентрируются в западной и особенно северной зонах Урала (Пузанов, Якубович, 1968; Фишман и др., 1968; Юдович и др., 1975; Юшкин и др., 1977, 1982) и в области Пайхойского мегантиклинория (Юшкин и др., 1977, 1982). Формальные границы этой провинции проводятся по границам Уральской и Пайхойско-Новоземельской складчатых систем. В пределах региона выделяется несколько флюоритоносных районов: Амдерминский, Северопайхойский, Южнопайхойский, Костиншарский, район Карских ворот, Воркутско-Усинский, Восточно-Заполярноуральский, Западноуральский, район Пермского Приуралья, Башкирского Приуралья и Восточно-Уральский (табл. IV.3.). Среди флюоритовых проявлений выделяется кварц-флюоритовый, кальцит-флюоритовый и флюоритовый типы. Кальцит-флюоритовый тип по присутствию и составу сульфидов делится на три подтипа. Ведущее значение в провинции имеют кальцит-флюоритовый и кварц-флюоритовый типы оруденения. Ниже дается краткая характеристика флюоритовой минерализации флюоритоносных районов Уральской провинции.

Амдерминский флюоритоносный район охватывает часть северо-восточного крыла Пайхойского антиклинория и объединяет несколько десятков проявлений кварц-флюоритового типа. Все они сосредоточены в субмеридиональной зоне контакта верхнепротерозойских и нижнепалеозойских пород, в верхних горизонтах темно-серых известняков амдерминской свиты и в серых тремадокских известняках. Перекрывающая эти продуктивные горизонты глинисто-сланцевая толща играет роль литологического экрана, выше которого флюорит не встречается. Распределение флюоритовой минерализации в пределах продуктивного горизонта очень неравномерное, поэтому рудные тела группируются в флюоритовые узлы.

В строении рудных тел участвуют два типа флюоритового оруденения — метасоматическое и гнездово-жильное. Рудные тела имеют сложную форму (линзы, пропластки, неправильные гнезда, «трубы», жилы и др.). Размеры их до 50 м в поперечнике. Строение зональное, с внешней зоной, контактирующей с осветленным и перекристаллизованным на фронте метасоматоза известняком, зоной окварцевания, переходящей в кварц-флюори-

Таблица IV.3

## Классификация низкотемпературных гидротермальных флюоритовых месторождений Уральской провинции

Типы и подтипы месторождений	Минеральные ассоциации руд (в скобках — акцессорные минералы)	Возраст вмещающих пород	Характер оруденения	Примеры месторождений и флюоритопроявлений
I. Кварц-флюоритовый (с сульфидами)	Флюорит + кварц + пирит + халькопирит + сфалерит + (галенит)	PR <sub>3</sub> am, O <sub>1</sub> t	Преимущественно метасоматическая флюоритизация по карбонатным породам, а также гнездово- жильное оруденение	Месторождения Амдерминского района
II. Карбонатно (кальцит)- флюоритовый	Флюорит + кальцит + (пирит, барит)	C <sub>1</sub> v	Прожилковый, жильный и гнездово-вкрапленный	Проявления Воркутско-Усинского района, ряд проявлений Южнопайхойского района
Кальцит-флюоритовый (выполнения)	Флюорит + кальцит + (пирит, барит)	C <sub>1</sub> v	Прожилковый, жильный и гнездово-вкрапленный	Проявления Воркутско-Усинского района, ряд проявлений Южнопайхойского района
Кальцит-сульфидно- флюоритовый	Флюорит + кальцит + сфалерит + (пирит, халькопирит, галенит, германит)	C <sub>1</sub> v—s	Метасоматический вкрапленный и гнездово- жильный	Южнопайхойский район
Кальцит-сульфидно- барит (целестин)- флюоритовый	Флюорит + кальцит + кварц + барит + целестин + сфалерит + сульванит + (блеклые руды, медно-германнево-мышьяковые сульфосоли)	C <sub>1</sub> v—s	Метасоматический пластовый и линзовидный	Северопайхойский район
III. Флюоритовый	Флюорит тонкокристаллический (ратовкит)	C <sub>1</sub> —C <sub>2</sub>	Тонковкрапленное оруденение, пластовая и линзовидная форма залежей	Западноуральский район

товую с кальцитом, которая сменяется зоной мономинерального флюорита с небольшим количеством кварца («флюоритовое ядро»). Во внутренних частях рудных тел развиты зональные жилы, прожилки или гнезда, выполненные флюоритом, кальцитом и пиритом. Тектурные типы руд — массивные (монофлюоритовые), полосчатые (переслаивание флюоритовых, кварцевых или кварц-кальцитовых прослоев с метасоматической флюоритовой породой в различных количественных соотношениях), брекчиевые (зоны дробления в известняках, сцементированные флюоритом), вкрапленные (флюоритизированный и окварцованный известняк, иногда превращенный в кварц-флюоритовую метасоматическую породу).

Особенность Северного рудного узла — резкое преобладание метасоматического типа оруденения с наиболее интенсивной флюоритизацией. В Центральном рудном узле более широко развит гнездово-жильный тип оруденения. Флюоритовая минерализация Южного рудного узла носит жильный характер и представлена секущими жилами, флюоритового и кальцит-флюоритового состава.

Южнопайхойский флюоритоносный район вытянут узкой полосой вдоль юго-западного крыла Пайхойского мегантиклинория и объединяет многочисленные флюоритопроявления в карбонатных породах ордовика — карбона. Более интенсивная минерализация жильно-вкрапленного и метасоматического типов наблюдается в визейско-серпуховских горизонтах каменноугольных известняков, сосредоточенных в Юшарском и Сибирчатя-Силовском флюоритоносных узлах. Юшарский узел объединяет флюоритопроявления в прибрежной полосе Югорского п-ва, где они прослеживаются по выходам каменноугольных отложений в виде серий кальцит-флюоритовых жил со сфалеритом и антракосолитом. Юго-восточнее флюорит встречается во всех обнажениях визейско-серпуховских карбонатных горизонтов, образуя редкую вкрапленность или кальцит-флюоритовые прожилки и гнезда.

Проявления Сибирчатя-Силовского флюоритоносного узла локализируются в зонах гидротермальной переработки визейско-серпуховской карбонатной толщи, которая в междуречье рек Сибирчатая и Силоваяха практически сплошь флюоритоносна. Флюоритопроявления приурочены к участкам тектонических нарушений: мелким складкам, флексуорообразным перегибам пластов, к зонам брекчирования, межпластового дробления и т. п. Наиболее крупные флюоритоносные зоны встречаются по рекам Сибирчатаяха, Силоваяха, Буреданью, ручью Варкатывис и Флюоритовый. Флюоритопроявления относятся к кальцит-флюоритовому и сульфидно (галенит, сфалерит) -флюоритовому минеральным типам. Наиболее крупное Буреданское флюорит-полиметаллическое месторождение располагается в северо-западной части крупной антиклинальной складки. Флюоритовая

минерализация здесь локализована на трех уровнях карбонатного разреза (снизу вверх):

1. Первый подрудный горизонт — доломиты, известковистые доломиты.

2. Первый рудовмещающий горизонт — доломитистые известняки.

3. Первый надрудный горизонт — известковистые доломиты.

4. Второй рудовмещающий горизонт — доломитовые известняки.

5. Второй надрудный горизонт — плотные среднезернистые известняки.

6. Третий рудовмещающий горизонт — органогенные известняки.

7. Третий надрудный горизонт — плотные тонкозернистые, тонкослоистые известняки.

Оруденение представлено гнездово-вкрапленными метасоматическими телами пластово-линзовидной формы, секущимися кальцит-флюоритовыми и кальцитовыми прожилками.

Флюорит — основной минерал рудных тел; он составляет (до 60 %) их центральные части. В зальбандах возрастает доля карбонатов (скопления реликтов корродированных зерен кальцита, метакристаллы доломита) и сульфидов (сфалерит, галенит). Зона вкрапленной флюоритизации отмечается и в боковых породах на удалении 1,5—2,0 м от контактов рудных тел. Последовательность минералообразования: доломит → кальцит → кварц → сфалерит + флюорит → галенит + флюорит → флюорит → поздний кальцит (иногда с галенитом). Температура гомогенизации сингенетических газовой-жидких включений во флюоритах 160—230 °С.

Северопайхойский флюоритоносный район охватывает площадь выходов каменноугольных отложений северо-восточного крыла Пайхойского антиклинория, в визейско-серпуховской карбонатной толще которых локализуются все известные здесь флюоритопроявления. Флюоритовая минерализация известна на р. Песчаной, у оз. Войты, р. Путью, почти на всем протяжении широтного отрезка р. Кара, в нижнем течении р. Силоваяха. Все флюоритопроявления связаны с зонами межпластового дробления и гидротермальной переработки (мраморизации) известняков и характеризуются сложным минеральным составом. В целом их минеральный тип определяется как кальцит-целестин-барит-флюорит-сульванитовый (Юшкин и др., 1977, 1982) с кварцем (до 10%), иногда с блеклыми рудами.

Во флюоритовом проявлении Песчаное минерализация локализуется в девяти пластах карбонатной толщи: в мраморизованных известняках, известняково-доломитовой конгломерато-брекчии и доломитах. Минерализация представлена кварцем, кальцитом, флюоритом, аксессуарными сфалеритом, сульванитом, баритом. Флюорит мелко- и среднекристаллический, фиолетовый.

В Воркутско-Усинском районе флюоритопроявления локализованы в карбонатных породах визейского яруса. Флюорит встречен в виде тонкозернистых примазок по стенкам трещин в известняках. В бассейне р. Воркуты широко развита флюоритовая минерализация в виде кальцит-флюоритовых гнезд и прожилков с содержанием флюорита до 40%. Наиболее широко развита флюоритовая минерализация по берегам рек Бол. и Мал. Усы и в месте их слияния, где невыдержанная зона в виде гнезд, прожилков и жил приурочена к пласту доломитизированных известняков с акцессорными сульфидами и арсенилитом.

На западном склоне Полярного Урала известно Кокпельское флюоритовое проявление, приуроченное к пласту известняка няньворгинской свиты карбона. Минерализация представлена прожилками и мелкими жилами кварц-кальцитового состава с флюоритом в виде мелких (до 3—5 мм) зерен с содержанием 1—2%. Флюоритопроявления, локализованные в каменноугольных известняках, известны также на реках Грубешор, Грубею, Няньворгавож и др.

Восточно-Заполярноуральский район, включающий выходы палеозойских, в первую очередь каменноугольных, отложений к востоку от Полярного Урала, в бассейне р. Сибилейяха, выделен условно. Флюоритопроявления на р. Сибилейяха представляют собой фрагменты жильной зоны шириной до 15—20 м, прослеженные до 200 м по простиранию с кальцит-флюоритовым типом минерализации, содержанием флюорита до 30—40 %.

Западноуральский флюоритоносный район располагается между верховьями рек Печоры и Кожима с многочисленными флюоритопроявлениями, стратиграфически приуроченными к карбонатным горизонтам карбона. В северной части района отдельные проявления встречены в девоне, а в южной части флюорит довольно часто отмечается в ассельских слоях перми. Наиболее интенсивно флюоритовая минерализация проявлена в верховьях р. Печоры, на реках Унья, Илыч, Подчерем, Бол. Паток, Щугор. Минерализация относится к стратиформному вкрапленному и жильному кальцит-флюоритовому типам. Тонковкрапленная флюоритовая минерализация представлена мелкими (не более 5 мм) зернами флюорита, рассеянными в породе. Кальцит-флюоритовые жилы и прожилки мощностью до десятков сантиметров встречаются в зонах разломов или дробления. По Н. П. Юшкину и другим (1982), вкрапленная стратиформная минерализация является эпигенетической, сформировавшейся при мобилизации фтора из визейской карбонатной толщи.

В Пермском Приуралье низкотемпературный гидротермальный флюорит отмечался в кальцитовых жилках в известняках по р. Сюраян (Карпинский, 1874), в силурийских доломитах колчимской свиты на Вишерском Урале, в черно-фиолетовых зернах и вкрапленности в кальцитовых и доломитовых жилках и т. д.

В Уральской экгеосинклинали низкотемпературная флюоритовая минерализация также локализуется в основном в визейских известняках в кальцитовых и кварц-кальцитовых жилках (Кротов, 1917; Горский, 1931; Успенский, 1936; Авдонин, 1968). В Сухоложском и Каменск-Уральском районах зона флюоритоносных известняков прослежена более чем на 60 км по простиранию и обнажается по рекам Бол. Рефт, Пышме, Кунаре, Каменке, Исети. Флюорит отмечался в кальцитовых жилках близ станции Реж, в визейских известняках Магнитогорского месторождения, по рекам Суундуку и Джарлы. Имеются указания о находках флюорита в угленосной толще Махневского месторождения. Флюорит обычно образует вкрапленность в доломитизированных известняках или кальцит-флюоритовых жилках.

В большинстве описанных флюоритопоявлений флюорит образует вкрапленность во вмещающих породах, мономинеральные участки и зоны в жилках и гнездах, кристаллы, погребенные в кальцитовый агрегат либо образующие друзы на стенках полостей. Цвет флюорита фиолетовый с различной плотностью фиолетовой окраски, вплоть до бесцветного, реже лиловый. В месторождениях Амдерминского района представлено несколько генераций флюорита. Самый ранний — фиолетовый и темно-фиолетовый флюорит. Характерен его сильный метамор-

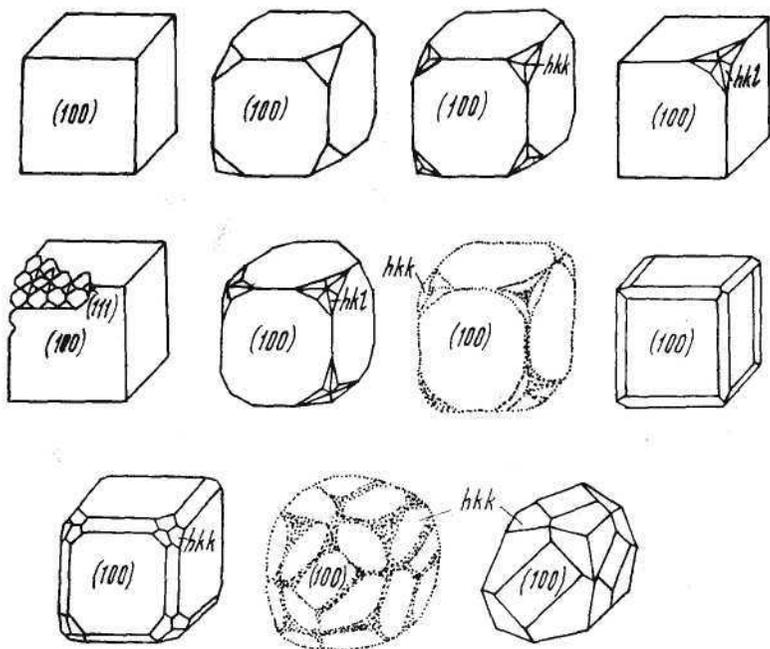


Рис. IV.2. Форма кристаллов флюорита из месторождений Амдерминского района.

физм и механические деформации. В ряде месторождений и проявлений встречаются друзы и отдельные монокристаллы (рис. IV.2), но преобладают кристаллы кубооктаэдрического и кубического габитуса. Характерны протовключения кальцита и доломита. Сингенетичными включениями являются кристаллики пирита, халькопирита, кальцита, реже сфалерита. Широко представлены жидкие, газовой-жидкие и многофазные включения.

Во флюорите постоянно присутствуют Mg, Si, Al, Fe, Mn, Ba, часто — Cu, Ti, Sr, Pb, Zn, Ag, реже — Mo, La, эпизодически — Be, Sb, Ga, Ge, Cd, Ni, Zr, Cr, Y. Такие элементы, как Mg, Si, Al, Fe, Ti, частично Mn и некоторые другие, очевидно, связаны с ультрамикроскопическими включениями вмещающих пород. Редкоземельные элементы, а также Sr и Mn входят в виде изоморфных примесей, замещающих кальций. Все другие примеси связаны с включениями парагенных флюориту минералов.

Флюориты Амдерминского района характеризуются наиболее сложным примесным спектром, хотя суммарный уровень содержания примесей довольно низок. Повышены концентрации Mn и Ti (до 0,01 %), Ag ( $3 \cdot 10^{-3}$  %), постоянно присутствует Cu — Zn — Pb ассоциация элементов, а также Ca, Mo, La, Ge, Ba, редко отмечается Sr. Светлоокрашенные и бесцветные монокристалльные разности практически беспримесные. Во флюоритах Южнопайхойского района обычны примеси породообразующих элементов, а также небольшие количества Cu ( $1 \cdot 10^{-4}$  %), эпизодически встречается Zr, постоянно присутствует Ba (до 0,2 %), редко Sr (до 0,1 %) и La (до 0,005 %).

В Северопайхойском районе флюорит характеризуется постоянной примесью Cu ( $6 \cdot 10^{-4}$  —  $2 \cdot 10^{-3}$  %), Ti (0,001—0,003 %), часто отмечаются Pb, Zn, Ag. Отличительная особенность флюоритов этого района — постоянно высокие содержания Sr (0,07—0,1 %) и Ba (0,5—1,0 %), отражающие целестин-баритовый парагенезис.

Флюорит из проявлений Воркутско-Усинского района отличается особенно высокой чистотой; кроме небольших количеств породообразующих элементов и следов Mn и Ti, других примесей в нем не обнаружено.

Флюориты Западноуральского и Южнопайхойского районов по набору элементов-примесей подобны. Флюориты осевой зоны Урала, связанные с гранитоидами, подвергшимися гидротермально-метасоматической переработке, отмечаются прежде всего присутствием Be, Zr, Y, La, Ce.

Параметр элементарной ячейки флюорита  $a_0 = 5,4644$ — $5,4665 \text{ \AA}$ . В некоторых месторождениях отмечается тенденция уменьшения  $a_0$  для светло-фиолетовых разностей по сравнению с темно-фиолетовыми, что связано с повышенным содержанием изоморфных примесей. Показатель преломления флюорита в пределах точности измерений не меняется:  $n_0 = 1,434 \pm 0,002$ .

Флюорит Уральской провинции довольно однотипен по характеру окраски. Цветовая гамма его ограничена — от фиолетового различной степени интенсивности (иногда черного) до бесцветного. Бесцветные разности не обнаруживают полос поглощения в оптических спектрах ни в ультрафиолетовой, ни в видимой областях. Величина спектрального пропускания зависит в основном от дефектности кристаллов: наличия включений, микротрещиноватости, а также содержания изоморфных примесей (Fe и др.).

Для кривых термовысвечивания характерны пять главных максимумов в интервалах 80, 140—160, 230—240, 270—300, 330—360 °С. Максимумы могут быть приписаны дырочным центрам  $F_i^0$  (80 °С),  $YO_2^0$  (140—160 °С) и донорно-акцепторным парам  $O^- - TR^{2+}$  и  $TR^{2+} - TR^{4+}$  (230—240, 270—300, 330—360 °С). Все разнообразие кривых термовысвечивания по соотношению максимумов можно свести к девяти типам. Выделяются два типа спектров рентгенолюминесценции: с интенсивными линиями редкоземельных элементов и спектры, в которых линии редкоземельных элементов практически не фиксируются. Для флюорита Амдерминского района характерен «диспрозиевый» тип с преобладанием линий редкоземельных элементов иттриевой подгруппы: фиксируются группы интенсивных линий  $Dy^{3+}$  в области 475—485 и 560—580 нм; кроме диспрозия, присутствуют линии излучения  $Sm^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ , иногда  $Cd^{3+}$ . Наиболее интенсивные линии наблюдаются в спектрах флюорита из зон, приуроченных к тектоническим разломам. Наиболее чистый флюорит с невысокой интенсивностью линий редкоземельных элементов характерен для участков, где действие тектонических факторов было незначительным. Для флюоритов других флюоритоносных районов характерны, как правило, бесструктурные спектры с широкой полосой в области 280 нм, обусловленные собственными дефектами структуры. Такие бесструктурные спектры типичны для флюорита с невысоким содержанием редкоземельных элементов, порядка сотых и тысячных долей процента. Усложнение спектров происходит по мере повышения температуры кристаллизации флюорита.

В осадочных отложениях флюорит встречен в терригенных отложениях, карбонатных породах и эвапоритах. В терригенных кварцитах Большого Камня Уфалейского района фиолетовый флюорит обнаружен в виде редких включений.

В известняках и доломитах это — обычный диагенетический минерал, встреченный по р. Илыч В. А. Варсанюфьевой, в верховьях р. Печоры Н. В. Калашниковым, в районах Пермского и Башкирского Приуралья Б. П. Кротовым (1917), Л. М. Миропольским (1941), Ю. М. Абрамовичем и Ю. А. Нечаевым (1960), Л. С. Пузановым и К. И. Якубовичем (1968), В. З. Хурсиком и А. А. Обориным (1976), Я. Э. Юдовичем и др. (1975).

У д. Лаклы по р. Ай в нижекарбонových известняках в тон-

ких трещинах, пустотах и отпечатках окаменелостей бледно-фиолетовый флюорит отмечен в виде пленок и присыпок (Кротов, 1917). Реликты вкрапленности флюорита обнаружены в среднекарбонатных известняках Журавлинского алунитового месторождения по р. Чусовой (Смолянинов, 1926).

В пермских карбонатных отложениях Приуралья флюорит — обычный акцессорный минерал. В пределах Сылвенского кряжа севернее и южнее г. Кунгура убогая флюоритовая минерализация отмечается в доломитах и известняках артинского яруса (камайская свита), а также в карбонатно-сульфатном иренском горизонте кунгурского яруса в туйской пачке, где выявлено более десяти участков с содержанием флюорита до 10—15 % (в окрестностях сел Серьга, Орда, Шляпники, Казаковка, Шадейки и др.). Минерализация приурочена к верхним горизонтам, сложенным белыми тонкозернистыми и сильно кавернозными известняками. Гнезда до 0,5X0,5 м и прослои до 0,3 м мощности сложены фиолетовым землистым флюоритом (рафовит) с содержанием до 30%. Флюорит псевдоморфно замещает кристаллики кальцита в известняках или выполняет мелкие каверны, замещая гипс. Предполагается сингенетично-осадочное (Саркисян, 1949; Абрамович, Нечаев, 1960), седиментационно-диагенетическое (Кореневский, 1973) и гидротермальное (Пузанов, 1972) образование флюорита.

Обнаружен в карбонатных толщах кунгурского яруса в Башкирском Приуралье. В пределах Ишимбаевской площади встречено несколько проявлений флюорита, приуроченных к горизонтам мергелей, пелитоморфных известняков и полимиктовых песчаников по правобережью р. Белой, в окрестностях поселков Термень-Елга, Юлдашево, Михайловка, по р. Нугуш у с. Александровка и др. (Пузанов, Якубович, 1968). Выполняет пустоты и трещинки, ассоциирует с кальцитом и сопровождается каймой осветления известняков, тяготеет к стенкам пустот, замещая кальцит. Описан из нерастворимого остатка кунгурских известняков шолохсайской антиклинали Актюбинского района в пустотах и трещинах с целестином (Батурин, 1940).

В верхнепермских пестроцветных песчаниках, аргиллитах, мергелях и известняках бесцветный и фиолетовый флюорит описан Л. И. Волковой (1953) в виде идиоморфных и ксеноморфных зерен в цементе. Считается, что образованию флюорита способствовало слабое засоление.

В эвапоритах флюорит отмечался в нерастворимом остатке каменной соли Ащебулакского купола (Актюбинский Урал) в ассоциации с целестином в виде хорошо образованных или уплощенных кристалликов до 0,2 мм (Батурин, 1940). На восточном склоне Урала в 56 км к югу от г. Каменска-Уральского в целестино-гипсовом месторождении обнаружено стяжение целестина с вкрапленностью кристалликов темно-фиолетового флюорита размером 1—2 мм (Успенский, 1936).

Встречен в горелых угольных отвалах Челябинского бассейна, в образцах с пирротином из «черного блока» отвала шахты 45 в виде округлых бесцветных и беловатых зерен до 1,5 мм (Чесноков и др., 1987). Подтвержден дебаграммой с основными линиями 3,17 (10) (111); 1,934 (10) (022); 1,646 (7) (113); 1,112 (8) (224); 1,049 (7) (115,333);  $a_0 = 5,459 \text{ \AA}$ ;  $n = 1,430$ . Мелкие (доли миллиметра) фиолетовые октаэдры флюорита встречаются в составе «черных желваков» вместе с ольдгамитом, железом, водным полисульфидом кальция и серой.

#### IV.1.6. Фторид-хлорид кальция — CaFCl, тетраг. с. (Calcium fluoride-chloride)

Найден весной 1988 г. Т. П. Нишанбаевым на горелом терриконе шахты № 45 (г. Копейск) в крупном куске полуразложившегося окаменелого дерева в «черном блоке»<sup>1</sup>. Пластинчатые бесцветные кристаллы минерала до нескольких миллиметров в поперечнике расположены на стенках трещин и по границе черной сажистой массы, окружающей менее разложившееся ядро. Некоторые кристаллы имеют вид квадратных или прямоугольных пластинок с хорошо развитой гранью базопинакоида с {001} и с очень узкими гранями  $r$  {111} и  $m$  {110}. Большинство пластинок не имеет четких кристаллографических ограничений.

Бесцветен, прозрачен, черта белая, блеск сильный стеклянный. В ультрафиолетовых лучах (360 нм) слабо светится фиолетовым цветом. Твердость 2, хрупкий, но тонкие листочки проявляют некоторую гибкость. Спайность очень хорошая (как у гипса) по {001} и совершенная по {110}. Излом раковистый. Плотность  $2,78 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$  (уравновешивание в растворе бромформа и этанола). Оптически одноосный, отрицательный;  $n_g = 1,668$  (2);  $n_p = 1,635$  (2);  $n_g - n_p = 0,033$ . Гигроскопичен, во влажном воздухе бесцветная пластинка довольно быстро мутнеет и покрывается капелькой бесцветной жидкости, содержащей  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . Замутненная пластинка дает дебаграмму флюорита, изотропна в иммерсии и имеет показатель преломления флюорита. Такое же разложение минерала происходит и в капле воды. В  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  медленно растворяется.

Легкоплавкий, плавкость около 1,5 (плавится в белую эмаль), окрашивает пламя в красноватый цвет (Ca). В закрытой трубке плавится в бесцветную жидкость, которая при охлаждении превращается в белое непрозрачное вещество. Реакция на фтор положительная: в смеси с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  разъедает стекло. Лазерным микроспектральным анализом установлены Ca и Mg.

Химический анализ минерала выполнен Л. Ф. Баженовой, мас. %: Ca 38,94; Mg 3,63; Cl 34,24; F 23,29; сумма 100,10. Пересчет анализа при  $\text{F} + \text{Cl} = 2,00$  дает эмпирическую формулу

<sup>1</sup> В настоящее время ему присвоено название «рорисит» (Rorisite).

Таблица IV.4

Расчет рентгенограммы фторид-хлорида Са (1) и синтетического СаFCl (2)

1				2 (ASTM, 1973)		
<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм.</sub> , Å	<i>d</i> <sub>выч.</sub> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
45	6,81	6,81	001	10	6,81	001
30	3,396	3,405	002	9	3,409	002
—	—	—	—	6	3,377	101
15	2,741	2,751	110	50	2,751	110
100	2,557	2,562	102	100	2,564	102
35	2,267	2,270	003	2	2,275	003
32	2,138	2,140	112	50	2,142	112
15	1,960	1,961	103	17	1,963	103
22	1,942	1,945	200	35	1,945	200
4	1,750	1,751	113	4	1,754	113
2	1,704	1,703	004	—	—	—
3	1,686	1,686	211	5	1,691	202
32	1,560	1,560	104	16	1,5621	104
13	1,549	1,549	212	25	1,5502	212
5	1,449	1,448	114	5	1,4497	114
3	1,381	1,381	213	8	1,3821	213
—	—	—	—	11	1,3757	220
25	1,363	1,362	005	9	1,3643	005
4	1,287	1,285	105	2	1,2875	105
—	—	—	—	5	1,2302	310
—	—	—	—	5	1,2227	115
8	1,217	1,217	214	11	1,2184	214
—	—	—	—	8	1,2124	302
2	1,157	1,157	312	6	1,1576	312
8	1,136	1,135	006	1	1,1370	006
—	—	—	—	2	1,1266	303
3	1,117	1,116	205	12	1,1172	205

$$a_0 = 3,890(1); c_0 = 6,810(1) \text{ \AA}$$

$$a_0 = 3,8911(1); c_0 = 6,8228(2) \text{ \AA}$$

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение, монохроматор. Синтетический СаFCl: дифрактометр,  $\text{CuK}\alpha_1$ , монохроматор (в карточке дано еще 20 линий, до 0,5465). В препарате нашей пробы отчетливо выражена текстура по {001}.

( $\text{Ca}_{0,89}\text{Mg}_{0,13}$ )<sub>1,02</sub>( $\text{F}_{1,12}\text{Cl}_{0,88}$ )<sub>2,00</sub>. Идеализированная формула СаFCl. Дифрактограмма минерала (табл. IV.4) соответствует дифрактограмме синтетического тетрагонального СаFCl. Параметры элементарной ячейки:  $a_0 = 3,890(1)$ ,  $c_0 = 6,810(1) \text{ \AA}$ ;  $V = 103,05 \text{ \AA}^3$ ;  $z = 2$ . Вычисленная плотность  $2,94 \text{ г/см}^3$ . Пространственная группа  $P4/nmm$  приписывается по аналогии с синтетическим соединением СаFCl. Приведенные данные позволяют отнести изученный минерал к группе матлокита — тетрагонального  $\text{PbClF}$  («Минералы», 1963).

Летом 1988 г. в том же «черном блоке» обнаружены еще несколько кусков разложенного окаменелого дерева с кристаллами  $\text{CaFCl}$ . Во всех образцах он сопровождается флюоритом, периклазом, моносulfидами железа (пирротин и троилит), графитом и углеродистым веществом типа газовой сажи. За счет раствора  $\text{CaCl}_2$ , образовавшегося при разложении минерала, в рыхлой углеродистой вмещающей массе иногда возникают бесцветные изогнутые стебельки антарктикита  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

## IV.2. ФТОРАЛЮМИНАТЫ

Единственная находка фторалюминатов в коренном их месторождении произошла в 1845 г. в Ильменских горах при разработке одной из топазовых копей (ныне топазово-криолитовая копь Г. И. Гасберга № 69). Первое описание и схематическая зарисовка уральского криолитового месторождения сделаны И. В. Мушкетовым (1877), но гнездо фтористых минералов к тому времени было уже выработано. Тогда здесь насчитывалось уже три минерала этой группы — криолит, хиолит, ходневит (последний в 1882 г. был дискредитирован). Долгое время исследователей Ильменских гор не оставляла надежда найти подобные гнезда в окрестностях этой копи. Все попытки оказались тщетными. Тем не менее образцы фторалюминатов до сих пор продолжают попадаться в отвалах копи 69 и вновь обнаружены в отвалах копи 70. Список минералов группы фторалюминатов, извлеченных из гнезда, найденного и выработанного в 1845 г., уже достиг 10 названий (Поляков, 1985).

На основе изучения образцов в музеях и использования старых описаний В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) было составлено наиболее полное описание Ильменского месторождения фторалюминатов и выявлена последовательность образования этих минералов. Мы приводим описание это полностью.

«Криолитовая копь № 69 Ильменского минералогического заповедника, в которой был найден рильстонит, полностью выработана еще в 60-х годах прошлого века. В старых отвалах этой копи удалось обнаружить довольно большое количество мелких обломков и четыре крупных штуфа фторалюминатов. Детальное изучение пегматитового тела, отвалов копи и многочисленных образцов Минералогического музея АН СССР и Музея Московского геологоразведочного института, а также имеющейся по месторождению литературы позволило выяснить геологические условия залегания различных фторалюминатов и основные черты их парагенезиса. Оказалось, что главная масса выработанного гнезда фторалюминатов была сложена криолитионитом и криолитом. В изученных образцах, кроме ранее описанных минералов, установлены ральстонит, прозопит и пахнолит, не известные до сих пор на территории СССР.

Линзовидное тело амазонитового пегматита, в котором найден ральстонит, залегает в гнейсах с прослоями амфиболитов и имеет зональное строение. Центральная пегматоидная зона с блоками дымчатого кварца окружена зоной пегматита с графической и апографической структурами, содержащего вросшие кристаллы топаза, берилла, мусковита и мелкие зерна бетафита. В центральной части пегматит альбитизирован. В сахаровидном альбите содержатся мелкие кристаллы колумбита, ильменорутила, ауэрлита (?) и псевдоморфозы биотита по мусковиту. В центральной части тела вблизи выхода пегматита на поверхность находилась миароловая полость около 1 м в диаметре с большими кристаллами дымчатого кварца, амазонита, топаза и мусковита.

Прилегающая к полости часть пегматита была разбита многочисленными трещинами и частично брекчирована. Трещины и миароловая полость были выполнены агрегатом белого крупнокристаллического криолита и криолитионита, в котором изредка обнаруживаются мелкие зерна зеленого флюорита. Вдоль контактов между отдельными зернами и по трещинам спайности криолитионит частично замещен крупнозернистым буровато-серым криолитом. Позднее криолит в свою очередь частично был замещен среднезернистым хиолитом, а криолитионит — хиолитом и криолитионитом второй генерации (последний в виде мелких ромбододекаэдрических кристаллов). Еще позже, в зоне контакта агрегата с пегматитом более ранние фторалюминаты были пересечены и частично замещены многочисленными прожилками томсенолита с ральстонитом, пахнолита с прозопитом. Пахнолит и прозопит, по-видимому, образовались позже томсенолита и ральстонита. Ральстонит в виде октаэдрических кристаллов наблюдался в тесном срастании с пластинчатыми кристаллами томсенолита. Около скоплений фторалюминатов пустоты и трещины в пегматитовом теле выполнены гипергенными геарксутитом и галлуазитом» (Степанов, Молева, 1962, с. 560).

#### IV.2.1. Эльпасолит — $K_2NaAlF_6$ , куб. с. (Elpasolite)

Среди фторалюминатов Ильменских гор эльпасолит был определен В. Ф. Ждановым в 1981 г. при расшифровке дифрактограмм новых образцов, собранных в отвалах копи 69 Ильменского заповедника (Поляков, 1985). Эльпасолит обычно представляет собой порошковую массу белого или серого цвета. Встречаются и «сахаровидные» участки, сложенные кристалликами этого минерала. Чаще всего эльпасолитовый агрегат находится на границе кварца и криолитионит-томсенолитового агрегата. В эльпасолите иногда содержатся мелкие, водно-прозрачные, слегка растворенные кристаллики хиолита. По-видимому, эльпасолит — вторичный минерал, развивающийся по другим фторалюминатам (ральстониту, томсенолиту, криолитиониту).

Расчет рентгенограммы эльпасолита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
3	4,61	111	9	1,432	440
3	3,16	(220) β	5	1,281	620
9	2,828	220	4	1,223	622
2	2,578	(222) β	1	1,202	(642) β
8	2,319	222	3	1,173	444
4	2,239	320	6	1,080	642
10	2,019	400	1	1,054	155
1	1,854	331	1	1,012	800
1	1,838	(422) β	1	1,003	(840) β
6	1,648	422	3	0,9553	660: 822
1	1,586	(440) β	7	0,9060	840
1	1,558	511			

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Аналитик В. Ф. Жданов.

Химического анализа эльпасолита не проводилось, но по результатам лазерного спектрального микроанализа в нем помимо натрия и алюминия обнаружен калий. Показатель преломления эльпасолита 1,375, параметр элементарной ячейки, вычисленный из порошкограммы (табл. IV.5),  $a_0=8,12$ . Из внешних признаков для ильменского эльпасолита характерен шелковистый блеск порошка. В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах свечение отсутствует (Поляков, 1985).

#### IV.2.2. Криолит — $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , мон. с. (Cryolite)

Впервые в России обнаружен в Ильменских горах на Урале («Отчет...», 1846). Находка была сделана партией М. И. Стрижева в 1845 г. при разработке новой топазовой копи. Описание криолита и сопутствующего ему нового минерала — хиолита — сделано Р. Ф. Германом и А. Б. Ауэрбахом (Кокшаров, 1870). Это было второе после гренландского месторождение алюмофторидов в мире (Мушкетов, 1877). Оно представляло собой гнездо фтористых минералов диаметром около 1 м, находящееся в центральной части жилы амазонитового пегматита. Образцы из этого гнезда разошлись по всем музеям мира. Наиболее полно ильменский криолит был изучен Беггильдом (Böggild, 1913) по образцам, находящимся в европейских музеях. В этих образцах, помимо известных криолита и хиолита, им были обнаружены криолитионит, томсенолит, геарксутит. В 1953 г. В. И. Степановым в отвалах криолитовой копи 69 были найдены четыре крупных штуфа и несколько мелких осколков алюмофторидов. В этих образцах и в образцах из минералогических музеев

им. А. Е. Ферсмана и ИМГРЭ обнаружены реальстонит, прозопит и пахнолит (Степанов, Молева, 1962). В результате изучения новых образцов, а также образцов алюмофторидов, имеющих в музее Ильменского заповедника, дополнительно встречены эльпасолит и веберит (Поляков, 1985). Тем не менее, несмотря на многократные поисковые работы (Афанасьев, 1949), находка гнезда алюмофторидов в 1845 г. остается единственной находкой алюмофторидов в коренном месторождении на Урале.

Единственным коренным месторождением криолита и других алюмофторидов на Урале является копь 69 Ильменского заповедника, заложенная на широтной жиле амазонитового пегматита, ничем существенно не отличающейся от других подобных жил, которых в Ильменах известно около 60. Наиболее подробное описание месторождения криолита в Ильменских горах сделано В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) на основании изучения взаимоотношений минералов в образцах и использования старых описаний.

Линзовидное тело амазонитового пегматита состоит из графического у зальбандов гранитного пегматита, сменяющегося к центру графическим амазонитовым, переходящим в апографический, затем в блоковый с топазом, бериллом, мусковитом, фенакитом. В центральной зоне была полость с кварцем и топазом, которую заполняли фтористые минералы. Прилегающая к пегматиту часть полости была разбита трещинами и частично брекчирована.

Судя по старым описаниям образцов в музеях Стокгольма, Копенгагена, Гейдельберга и Мюнхена (Böggild, 1913), ильменский криолит находился в сростаниях с криолитионитом, где тот и другой минерал внешне были похожи на отдельные индивиды размером до 15—20 см. Однако детальные исследования показали, что крупные полисинтетические «индивиды» криолита сложены мелкозернистым поликристаллическим агрегатом с размером зерен не более 1 мм. Цвет криолита здесь бывает как серый, так и снежно-белый, причем и тот и другой находятся в одном образце. Иногда криолит образует подобие графических сростаний с криолитионитом. Кристаллы криолита, находящиеся в рыхлой, пористой криолитовой массе, очень мелки (менее 1 мм) и огранены формами  $m\{100\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $v\{101\}$ ,  $r\{101\}$  и  $i\{011\}$ . Обычно они имеют псевдокубическую форму с гранями псевдооктаэдра. Изучение образцов «криолита» из музея Ильменского заповедника показало, что сложены они на 80 % криолитионитом; остальное составляют томсонит, хиолит, геарксутит и др. Криолит находится в виде редких незначительных выделений, настолько тесно сросшихся с криолитионитом, что не удалось получить ни одной рентгенограммы чистого криолита (Поляков, 1985). По этим же образцам установлено, что по криолиту развивается хиолит, в то время как криолитионит изменяется слабее с образованием порошкового налета.

Единственный химический анализ ильменского криолита произведен Дурневым в середине прошлого века (Кокшаров, 1870), мас %: Na 32,32; Ca 0,25; Al 13,41; F 55,04; Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,55; сумма 101,56; плотность 2,95 г/см<sup>3</sup>. В иммерсионных препаратах криолита хорошо видны классические полисинтетические двойники. Средний показатель преломления — 1,338, двупреломление очень низкое (Поляков, 1985).

#### IV.2.3. Хиолит — Na<sub>3</sub>Al<sub>3</sub>F<sub>14</sub>, тетра. с. (Chiolite)

Хиолит — минерал, впервые открытый в Ильменских горах на Урале. Он был обнаружен Германом и А. Б. Ауэрбахом в 1845 г. в ассоциации с криолитом, во время разработки криолитового гнезда в копи 69 Ильменского заповедника. Первые химические анализы его сделаны Германом (Hermann, 1846) и А. И. Ходневым, изучение свойств — Вертом (Wörth, Chodnew, 1845—1846), первые измерения кристаллов — Н. И. Кокшаровым (Kokscharow, 1850—1851). Химическими анализами устанавливались разные формулы, на основании чего было предложено различать хиолит и ходневит (Кокшаров, 1856). Последний позже был дискредитирован (Groth, 1882).

Единственное на Урале месторождение хиолита находится в Ильменском заповеднике, в криолитовой копи 69, откуда он был извлечен вместе с криолитом и, по-видимому, с другими алюмофторидами в 1845 г.

Хиолит находится в тесной ассоциации с криолитом и криолитионитом в виде зернистых масс, состоящих из водяно-прозрачных кристалликов размером 0,5—1 мм (Поляков, 1985). Большая часть кристаллов (Кокшаров, 1856) образует двойники по (101) (рис. IV. 3). Достоверными формами, определенными на кристаллах ильменского хиолита, являются {101} (индекс {111} в установке Н. И. Кокшарова). Н. И. Кокшаров также наблюдал грани очень тупой дитетрагональной дипирамиды, символ которой ему определить не удалось, и лишь однажды грани

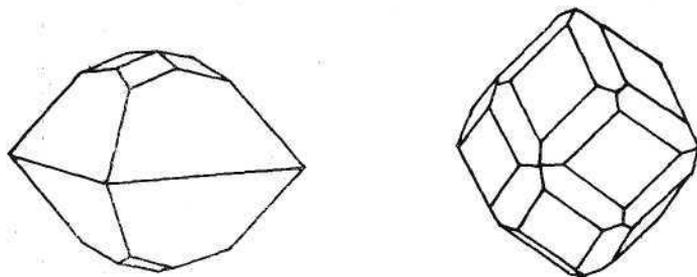


Рис. IV.3. Кристалл ильменского хиолита:  $h\{114\}$ ,  $o\{101\}$ .

Рис. IV.4. Кристалл криолитионита. Ильменские горы. Формы  $d\{011\}$ ,  $n\{112\}$  (Böggild, 1913).

Таблица IV.6

## Химический состав хюлита и «ходневита», мас. %

Компонент	1*	2	3	4	5	6	7
F	57,53	53,61	57,29	56,57	57,30	57,36	56,40
Al	18,89	16,43	18,02	15,75	17,66	17,64	16,48
Na	23,78	26,54	24,69	27,68	24,97	25,00	25,72
Y	—	—	—	—	—	—	1,04
K	—	—	—	—	—	—	0,58
Mg	—	—	—	—	—	—	0,76
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	99,93	100,00	100,98
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,72		2,842—2,898				

\* 1 — по Герману (Hermann, 1846), 2 и 7 — по Ходневу (Wörfn, Chodnew, 1845 — 1846), 3, 4 — по Раммельбергу (Kokscharow, 1850 — 1851), 5, 6 — по Брандлу (Groth, 1882).

Таблица IV.7

## Расчет рентгенограммы хюлита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
9	5,22	022	7	1,995
3	3,51	200	2	1,966
1	3,101	201	1	1,947
4	3,007	211	1	1,917
10	2,908	202	7	1,796
5	2,597	004	6	1,759
2	2,484	220	2	1,735
8	2,329	213	2	1,684
2	2,305	114	3	1,622
2	2,286	301	8	1,559
2	2,243	222	4	1,505
3	2,223		2	1,457
3	2,216	310	2	1,429
4	2,172	311	1	1,396
1	2,032	312	1	1,343
6	2,004	214	3	1,299
			1	1,256
			3	1,165

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\beta$ -излучение;  $a_0=7,02$ ,  $c_0=10,39$  Å. Аналитик В. Ф. Жданов (индиферирование по ASTM, 1973).

базопинакоида с {001}. Нами наблюдались кристаллы хиолита с хорошо развитыми гранями базопинакоида, подобные гренландским («Минералы», 1963).

Судя по вновь найденным образцам и образцам из музея Ильменского заповедника, хиолит развивается по криолиту. Образец из музея сложен монокристаллом криолитионита с участками, видимыми на свежем сколе. На обширной измененной поверхности выступают участки, сложенные зернистым агрегатом хиолита. Форма, размеры и характер распределения этих участков сходны с распределением криолита. Таким образом, создается впечатление, что криолит-криолитиновый агрегат подвергался каким-то (гидротермальным) изменениям, которые привели к разрушению криолитионита и образованию хиолита за счет криолита (Поляков, 1985). По хиолиту развиваются томсенолит, ральстонит и прозопит (Степанов, Молева, 1962).

Первоначальная формула хиолита была  $\text{Na}_3\text{Al}_2\text{F}_9$  и отличается от современной, подтвержденной структурными исследованиями. В то же время существовал и позже дискредитированный минерал ходневит, имеющий формулу  $\text{Na}_2\text{AlF}_5$ . В 1882 г. он был признан смесью криолита и хиолита (Groth, 1882), хотя некоторые анализы «ходневита» лучше пересчитываются на современную формулу хиолита, нежели первые анализы собственно хиолита.

В табл. IV.6 приводятся все известные анализы ильменских хиолита и «ходневита». Следует заметить, что все они сделаны в прошлом веке. Тогда же определялась и плотность некоторых химически анализированных образцов. Точные значения показателей преломления для ильменского хиолита не определялись. Изученные нами кристаллы ильменского хиолита имеют показатель преломления 1,342—1,348 и сравнительно высокое двупреломление. Параметры элементарной ячейки, вычисленные из порошковой рентгенограммы (табл. IV.7), составляют:  $a_0=7,02$ ;  $c_0=10,39\text{Å}$ .

Удельный вес минерала, по Верту (Wörth, Chodnew, 1845—1846), 2,621 (в куске) и 2,77 (в порошке), по Н. Кокшарову (Kokscharow, 1850—1851),— 2,67 (для штуфа, состоящего из мелких кристаллов), 2,900 (для измельченных кристаллов) и 2,750 (для плотной разновидности). По определению Беггильда (Böggild, 1913), удельный вес чистого кристалла 2,995 г/см<sup>3</sup>.

#### IV.2.4. Криолитионит — $\text{Na}_3\text{Li}_3\text{Al}_2\text{F}_{12}$ , куб. с. (Cryolithionite)

Впервые в уральских образцах криолитионит установлен О. Б. Бёггильдом (Böggild, 1913). Он был обнаружен в музейных образцах ильменского «криолита», находящихся в Стокгольме и Копенгагене через несколько лет после первой находки этого минерала в Гренландии. В. И. Степановым и В. А. Моле-

вой (1962) криолитионит обнаружен в отвалах копи 69 Ильменского заповедника и в образцах, находящихся в музеях ИМГРЭ и им. А. Е. Ферсмана. Нами криолитионит установлен в образцах из музея Ильменского заповедника (Поляков, 1985).

Судя по описаниям и образцам в музеях, большая часть криолитонита, которого в гнезде было едва ли не больше, чем криолита, находится в тесном сростании с криолитом, образуя подобие графических структур. Наблюдались скелетоподобные индивиды криолитонита в криолите размером до 15 см (Böggild, 1913). Встречались и мелкие (0,3 мм) прозрачные ромбододэкаэдрические кристаллы криолитонита (рис. IV. 4). По нашим наблюдениям, криолитионит — главная составная часть (80—90 %) образцов «криолита» и «хиолита» в музее Ильменского заповедника и, вероятно, главная составная часть гнезда фторалюминатов. Сплошные его индивиды достигали 20 см.

По представлениям В. И. Степанова и В. А. Молевой (1962), миароловая полость была выполнена агрегатом белого крупнокристаллического криолита и криолитонита. Вдоль контактов между отдельными зернами и по трещинам спайности криолитионит частично был замещен крупнозернистым буровато-серым криолитом. Позднее криолитионит был замещен хиолитом и криолитионитом второй генерации (мелкие ромбододэкаэдрические кристаллы). Позже развивались остальные фторалюминаты.

Ильменский криолитионит имеет белый цвет и хорошо видимую спайность по (110). Несмотря на крупность выделений, уральский криолитионит ни разу химически не анализировался. Бёггильдом для него установлены плотность 2,777—2,778 и показатель преломления  $N=1,3393$ . Нами была снята порошковаяграмма (табл. IV.8) и вычислен параметр элементарной ячейки ( $a_0=12,12 \text{ \AA}$ ), лазерным спектральным микроанализом определено присутствие лития, натрия, алюминия (Поляков, 1985). В ультрафиолетовых лучах криолитионит светится слабым голубым светом, а при сильном рентгеновском облучении видно его фиолетовое свечение.

#### IV.2.5. Пахнолит — $\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , мон. с. (Pachnolite)

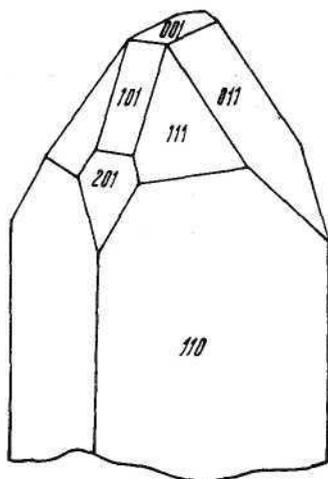
Впервые на Урале отмечен В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) в отвалах копи 69 Ильменского заповедника. Данных, подтверждающих диагностику, не приведено. Нами пахнолит встречен в образцах из музея Ильменского заповедника и в образцах, представленных А. Г. Баженовым. Чаще всего он находится в виде мелкокристаллических корочек на томсенолите и выполняет трещины в нем. Изредка образует друзы кристаллов, подобные друзам гренландского томсенолита. Кристаллы ильменского пахнолита сильно отличаются от гренландских. На них обнаружены ранее считавшиеся недостоверными для

Рис. IV.5. Кристалл пахнолита. Ильменский заповедник, копь № 69.

пахнолита формы  $\{011\}$ ,  $\{101\}$  и неизвестная форма  $\{201\}$  (рис. IV.5).

По-видимому, пахнолит — один из поздних минералов среди этой ассоциации фторалюминатов, так как образует корочки на агрегатах, состоящих из томсенолита и криолитионита, нарастает на кристаллы томсенолита в полостях и т. д. Взаимоотношения пахнолита с прозопитом, эльпасолитом, геарксутитом не наблюдались.

Надежное отличие пахнолита от томсенолита при отсутствии кристаллов обеспечивает только порошкограмма (табл. IV.9), так как оптические свойства, химический состав и внешние признаки этих минералов практически одинаковы.



#### IV.2.6. Томсенолит — $\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , мон. с. (Thomsenolite)

Томсенолит — минерал, открытый Бёггильдом (Böggild, 1913) в уральских образцах, находящихся в европейских музеях. Источником этих образцов послужило гнездо «криолита», обнаруженное и выработанное в 1845 г. в Ильменских горах в копи 69. Бёггильдом измерены и вычерчены кристаллы ильменского томсенолита. Затем томсенолит был отмечен В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) в образцах из отвалов копи 69 и из музеев ИМГРЭ и им. Ферсмана. Нами также встречен томсенолит в отвалах копи 69 и в образцах музея Ильменского заповедника (Поляков, 1985).

По описанию Бёггильда, в музее Копенгагена он наблюдал девятисантиметровый скелетный кристалл томсенолита в штуфе, состоящем из пористой массы хиолита, окружающей кристаллы кварца и криолита. В другом штуфе он наблюдал отдельные кристаллы томсенолита размером до 1 мм. По его измерениям, они ограничены формами (в современной установке) с  $\{001\}$ ,  $m\{110\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $g\{113\}$  (рис. IV.6). Нами также наблюдались скелетные кристаллы томсенолита размером до нескольких сантиметров и одиночные кристаллы псевдокубического облика. Судя по взаимоотношениям с другими минералами, томсенолит развивается по криолитиониту в участках, близких к краю «криолитового» гнезда, на контакте криолитионита с топазом, кварцем, амазонитом.

Таблица IV.8

## Расчет рентгенограммы криолитионита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
1	4,70	211	4	2,027	(611) β
8	4,27		10	1,965	611
8	4,26	221	4	1,917	620
1	3,168		3	1,751	444
6	3,019	400	4	1,680	640
4	2,867		3	1,649	721
4	2,708	420	8	1,618	642
3	2,586	332	1	1,540	732
4	2,373	431	3	1,515	800
2	2,343	(521) β	2	1,431	822
1	2,280		3	1,357	840
9	2,210	521	1	1,293	664
1	2,168	440	2	1,226	941

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2;  $\text{CuK}\alpha$ , β-излучение. Аналитик В. Ф. Жданов. Линии № 4, 6, 11 принадлежат ральстониту.  $a_0=12,12\text{Å}$ .

Таблица IV.9

## Расчет рентгенограммы пахнолита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
2	5,85	10	1,973
3	4,41	1	1,904
9	3,96	1	1,858
4	3,06	5	1,759
6	2,788	1	1,706
2	2,417	2	1,397
1	2,288	1	1,151
8	2,184		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-60;  $D=57,3\text{ мм}$ ;  $\text{CuK}\alpha$ , β-излучение. Аналитик Н. И. Кашигина.

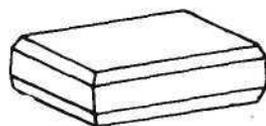
Таблица IV.10

## Расчет рентгенограммы томсенолита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
4	4,35	1	2,102
10	3,96	6	2,013
1	3,43	9	1,971
1	3,26	1	1,875
1	3,05	1	1,826
6	2,923	5	1,760
4	2,790	1	1,720
1	2,414	1	1,680
2	2,304	1	1,648
7	2,182	1	1,384

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-60;  $D=57,3\text{ мм}$ ;  $\text{CuK}\alpha$ , β-излучение. Аналитик Н. И. Кашигина.

Рис. IV.6. Кристалл томсенолита:  $c\{0001\}$ ,  $o\{111\}$ ,  
 $m\{110\}$ ,  $q\{113\}$  (Böggild, 1913).



Ни химических анализов, ни точных физических характеристик ильменского томсенолита нет. Однако по своим свойствам он мало отличается от гренландского, о котором имеются более полные сведения (Böggild, 1913; «Минералы», 1963). Из отличий можно отметить форму кристаллов и иногда розовый цвет. Порошкограмма ильменского томсенолита (табл. IV.10) сходна с таковой гренландского.

#### IV.2.7. Веберит — $\text{Na}_2\text{MgAlF}_7$ , ромб. с. (Weberite)

Веберит установлен в 1981 г. в уральских образцах «криолита» и «хиолита», состоящих преимущественно из криолитионита, в музее Ильменского заповедника (Поляков, 1985). Веберит образует отдельные кристаллы и сростки размером 0,5—1 мм в массе криолитионита. Минерал выявлен по ярко-красному свечению в рентгеновских лучах. Цвет его, как и других фторалюминатов, белый. Лазерным спектральным микроанализом в минерале определено большое содержание магния. Минерал был назван веберитом на основе данных порошкограммы (табл. IV.11) и оптических свойств (средний показатель преломления — 1,345). Это наиболее редкий минерал среди ильменских фторалюминатов.

Таблица IV.11

Расчет рентгенограммы веберита

$I$	$d, \text{Å}$	$I$	$d, \text{Å}$	$I$	$d, \text{Å}$
10	5,79	4	2,304	2	1,674
3	5,10	1	2,241	6	1,541
2	3,56	1	2,167	5	1,521
1	3,15	9	1,967	1	1,441
6	3,01	8	1,789	1	1,399
10	2,876	7	1,762	1	1,294
1	2,479	1	1,706	1	1,148
2	2,369				

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-60;  $D=57,3$ ;  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\beta$ -излучение. Аналитик Н. И. Кашигина.

Таблица IV.12

## Расчет рентгенограммы ральстонита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
2	6,31	(111) β	7	1,504	622
10	5,80	111	1	1,445	444
1	3,35	(311) β	5	1,401	711; 551
1	3,20	(222) β	5	1,304	731; 553
9	3,02	311	2	1,252	800
9	3,891	222	4	1,180	822; 660
1	2,503	400	3	1,148	622
5	2,300	331	3	1,118	840
1	2,133	(333) β	1	1,055	
5	2,042	422	2	1,038	
8	1,924	511; 333	1	1,011	
10	1,764	440	1	0,999	
3	1,691	531	1	0,971	
3	1,584	620	4	0,954	

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-60;  $D=57,3$  мм;  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\beta$ -излучение. Аналитик Н. И. Кашигина.  $a_0=10,01$  Å (индексирование по ASTM 18-1085).

Таблица IV.13

## Расчет рентгенограммы прозопита

<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
1	4,93	1	1,677
10	4,44	1	1,627
2	3,73	3	1,606
1	3,42	5	1,572
2	3,28	5	1,528
8	3,09	2	1,380
5	2,896	2	1,360
1	2,762	1	1,331
1	2,587	1	1,241
2	2,393	2	1,215
9	2,328	2	1,201
6	2,248	2	1,186
9	2,155	1	1,155
6	2,045	1	1,077
5	1,964	1	1,066
8	1,924	1	1,020
8	1,850	1	0,951
7	1,822	2	0,894
1	1,757		

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-60;  $D=57,3$  мм;  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\beta$ -излучение. Аналитик Н. И. Кашигина.

#### IV.2.8. Ральстонит — $\text{Na}_x(\text{Mg}_x\text{Al}_{2-x})(\text{F}, \text{OH})_6 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ , куб. с. (Ralstonite)

Впервые на Урале установлен В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) с другими фторалюминатами копи № 69 Ильменского заповедника. Определены показатели преломления минерала и выявлены зональность и секторность кристаллов. Нами получена порошокграмма ильменского ральстонита и вычислены параметры элементарной ячейки (Поляков, 1985).

Ральстонит встречается среди поздних минералов гнезда фторалюминатов. Наблюдается в виде мелкозернистых масс и друз мелких (0,1—0,3 мм) октаэдрических кристаллов в тесной ассоциации с томсенолитом. По-видимому, является вторичным минералом, развивающимся по криолиту и криолитониту.

Химических анализов уральского ральстонита нет. Показатели преломления 1,420—1,426, средний—1,423. Зональность роста, выражающаяся в изменении показателя преломления, наблюдается по  $\langle 111 \rangle$ ; слабая аномалия анизотропии в этих же пирамидах (Степанов, Молева, 1962). Порошокграмма ильменского ральстонита (табл. IV.12) сходна с порошокграммами ральстонитов других месторождений («Минералы», 1963). Параметр элементарной ячейки  $a_0 = 10,01 \text{ \AA}$ . В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах не светится.

#### IV.2.9. Прозопит — $\text{CaAl}_2(\text{F}, \text{OH})_8$ , мон. с. (Prosopite)

Впервые на Урале встречается В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962) в ассоциации с другими фторалюминатами копи 69 Ильменского заповедника. Диагностических свойств не приведено. Сrostки кристаллов прозопита найдены нами в отвалах копей 69 и 70. Установлены кристаллографические формы, снята порошокграмма (Поляков, 1985).

Прозопит встречается в виде одиночных кристаллов размером до 0,2 см, выросших на кристаллах амазонита и покрытых слоем порошокватого геарксутита (копь 70), а также кристаллических друз (копь 69) с размером кристаллов до 5 мм (рис. IV.7). На кристаллах обнаружены формы  $\{010\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{021\}$ ,  $\{221\}$ . По-внешнему виду кристаллы (рис. IV.8) сходны с кристаллами прозопита из Альтенберга и Сент-Питерс-Дом (Колорадо). В отвалах обеих копей в ассоциации с прозопитом из фторалюминатов встречается только геарксутит. По-видимому, прозопит-геарксутитовая ассоциация — наиболее поздняя ассоциация фторалюминатов в ильменском месторождении.

Химических анализов уральского прозопита не проводилось. Показатель преломления его немного превышает 1,500. В рентгеновских и ультрафиолетовых лучах свечения не наблюдалось. Порошокграмма (табл. IV.13) близка к порошокграмме прозопита из Альтенберга. Лазерным спектральным микроанализом

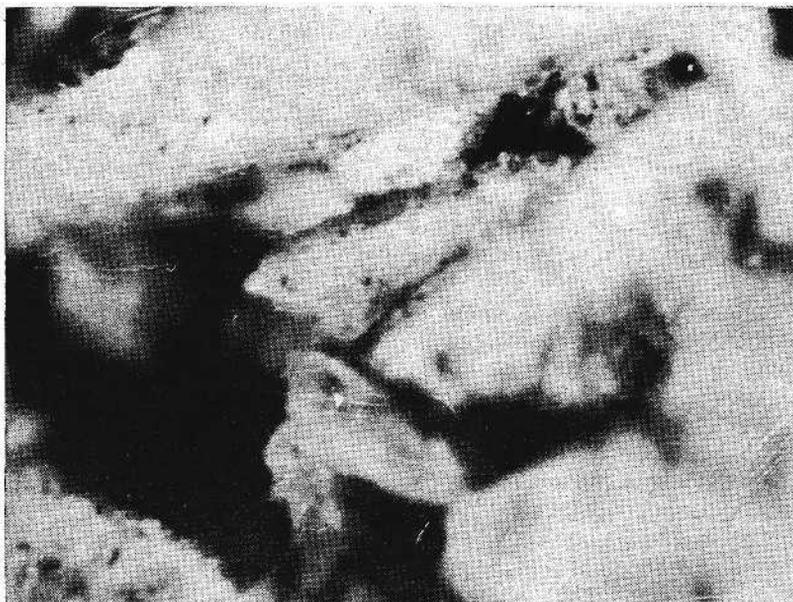


Рис. IV.7. Друза кристаллов прозопита. Ильменский заповедник, копь № 69.  
×10.

установлены большие содержания кальция и алюминия. ИК-спектр прозопита характеризуется следующими полосами поглощения: 420, 495, 548, 630, 818, 740, 938, 1135, 3445, 3565  $\text{см}^{-1}$ .

#### IV.2.10 Геарксутит — $\text{CaAlF}_4(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ , мон. с. (Gearksutite)

Геарксутит в уральских образцах впервые обнаружен Бёггильдом (Böggild, 1913). На одном из образцов ильменских фторалюминатов, хранящихся в Стокгольмском музее, Норденшельдом в 1886 г. обнаружено белое каолиноподобное вещество, названное им геарксутитом. Бёггильд подтвердил правильность диагностики. В отвалах копи 69 Ильменского заповедника геарксутит отмечен В. И. Степановым и В. А. Молевой (1962). В. А. Молевой проведен его химический анализ («Минералы», 1963). Нами геарксутит найден в отвалах копей 69 и 70, а также в образцах, находящихся в музее Ильменского заповедника (Поляков, 1985).

Чаще всего ильменский геарксутит образует сплошные белые каолиноподобные агрегаты, внешне не отличимые от каолинита. Однако, по данным электронной микроскопии, эти агрегаты сложены продолговатыми моноклинными кристалликами размером 0,1—0,3 мкм. Кроме того, ильменский геарксутит встречается в виде параллельно-шестоватых агрегатов, описанных Бёггильдом и подобных агрегатам казахстанского геарксутита.

Рис. IV.8. Форма кристаллов прозопита:  $b\{010\}$ ,  $z\{111\}$ ,  $\mu\{021\}$ ,  $t\{221\}$ .

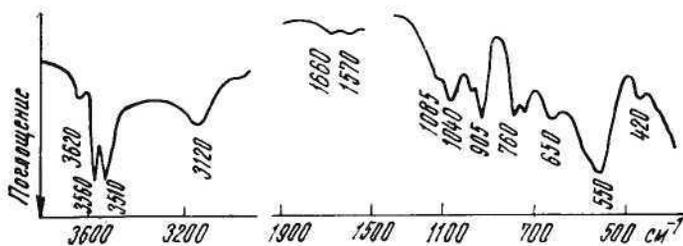
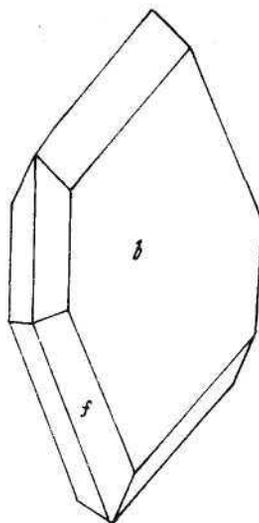


Рис. IV.9. ИК-спектр геарксутита. Ильменские горы, копь № 70.

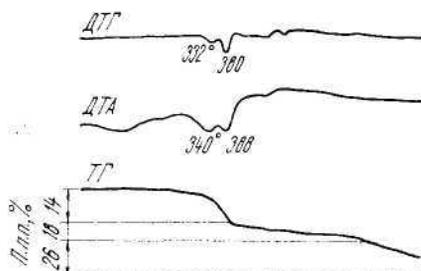


Рис. IV.10. Термограмма геарксутита. Ильменские горы, копь № 69.

Расчет рентгенограммы геарксутита

$l$	$d, \text{Å}$	$l$	$d, \text{Å}$
8	4,57	8	2,29
3	3,49	7	2,16
4	3,38	6	2,11
3	3,32	6	2,08
8	3,16	1	1,972
1	2,52	10	1,929

Примечание. Условия съемки: дифрактометр УРС-50 ИМ;  $\text{FeK}\alpha$ ,  $\beta$ -излучение. Аналитик В. Ф. Жданов.

Нами наблюдались параллельно-шестоватые агрегаты геарксутита со срединной просечкой, выполненной флюоритом.

Наиболее обычная ассоциация геарксутита — прозопит и флюорит. Бёггильд наблюдал «слой» геарксутита толщиной 0,1—1,5 мм между кристаллом кварца и криолитом. Вообще же геарксутит чаще других фторалюминатов встречается в виде прожилков в образцах пегматита, не содержащих других минералов этой группы. По-видимому, это самый поздний из фторалюминатов, возможно, гипергенного происхождения.

Химический состав и плотность ильменского геарксутита определены В. А. Молевой («Минералы», 1963), мас. %: Са 22,44; Al 15,19; F 42,20; O 4,75;  $\text{H}_2\text{O}^+$  15,20;  $\text{SiO}_2$  0,62; сумма 100,40. Плотность 2,75; средний показатель преломления — 1,450, дву-преломление низкое.

ИК-спектр геарксутита характеризуется большим набором специфических полос поглощения (рис. IV.9) и является надежным диагностическим признаком отличия геарксутита от глинистых минералов. Порошкограмма ильменского геарксутита (табл. IV.14) несущественно отличается от эталонной порошкограммы этого минерала из Караобы. Термограмма ильменского геарксутита (рис. IV.10) типична для этого минерала (Поляков, 1985).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамович Ю. М., Нечаев Ю. А. Аутигенный флюорит в кунгурских отложениях Пермского Приуралья // Докл. АН СССР. 1960. Т. 135, № 2. С. 414—415.

Авдонин В. Н. Флюорит в карбонатных известняках восточного склона Урала // Минералы месторождений полезных ископаемых Урала. Свердловск, 1968. С. 71—75.

Апельцин Ф. Р., Скоробогатова Н. В., Якушин Л. Н. Генетические черты гранитоидов Полярного Урала и условия их редкометальной металлогенетической специализации. М.: Недра, 1967.

- Афанасьев М. С. Хиолит // Минералы Ильменского заповедника. М.; Л., 1949. С. 579—581.
- Афанасьев М. С. Криолит // Минералы Ильменского заповедника. М.; Л., 1949. С. 575—578.
- Барсанов Г. П. Минералогия и генезис эгириин-авгитового пегматита группы 15-х копей в Ильменских горах // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1949. Вып. 1. С. 26—45.
- Батурин В. П. Еще о флюорите и целестине в кунгурских отложениях Урало-Эмбенской области // Докл. АН СССР. 1940. Т. 28, № 9. С. 829—830.
- Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- Волкова Л. П. Флюорит в верхнепермских отложениях Башкирии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1953. № 6. С. 117.
- Горский И. И. Детальная геологическая съемка окрестностей Каменского завода. М.: Глав. геол.-развед. упр., 1931.
- Еремина Е. В. Месторождения плавикового шпата в России. Пг.: КЕПС, 1917.
- Ефимов А. Ф., Еськова Е. М., Катаева З. В. О первой находке нейборита в СССР // Докл. АН СССР. 1967. Т. 174, № 5. С. 1182—1184.
- Иванов Ф. Отчет о занятиях лаборатории Департамента горных и соляных дел за 1848 г. // Горн. журн. 1850. Т. 2. С. 163—193.
- Карпинский А. П. Геологические исследования в Оренбургском крае // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1874. Т. 3, кн. 9. С. 212—310.
- Кокшаров Н. И. О кристаллизации хиолита // Горн. журн. 1850. Т. 3, кн. 7. С. 89—95.
- Кокшаров Н. И. Материалы для минералогии России. Спб., 1856. Т. 4.
- Кокшаров Н. И. Материалы для минералогии России. Спб., 1870. Т. 5.
- Кореневский С. М. Комплекс полезных ископаемых галогенных формаций. М.: Недра, 1973.
- Кротов Б. П. О месторождении флюорита близ деревни Лаклы // Тр. Казан. о-ва естествоиспытателей. 1917. № 335. С. 1—21.
- Кротов Б. П., Зленко Н. Д. Алапаевское железорудное месторождение // Железорудные месторождения Алапаевского типа. М., 1936. Т. 1. С. 15—118.
- Кузнецов Е. А., Лучицкий И. В. Петрографические провинции СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1936.
- Минералы. Справочник. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Т. 2, вып. 1.
- Миропольский Л. М. О флюорите и флюоритосодержащих породах в пермских и каменноугольных месторождениях Татарии и Башкирии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1941. № 2. С. 56—63.
- Мушкетов И. В. Материалы для изучения геогностического строения и рудных богатств Златоустовского горного округа в Южном Урале // Горн. журн. 1877. Т. 2. С. 230—282; Т. 4. С. 51—102.
- Настасиенко Е. В., Смолянский П. Л., Сомов М. М., Ларионов Н. Н. Первая находка необычного проявления селлаит-флюоритовой минерализации // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. Свердловск, 1986. С. 123—124.
- Овчинников Л. Н. Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Свердловск: Урал. фил. АН СССР, 1960.
- Отчет о действии золотоискательных партий, командированных в дачах Миасского завода в лето 1845 года // Горн. журн. 1846. Т. 2, кн. 6. С. 361—371.
- Поляков В. О. Аломофториды Ильменских гор // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск, 1985. С. 3—11.
- Пономарев А. Л. Месторождения плавикового шпата на Урале // Плавиковый шпат в СССР. М., 1937. С. 118—119.
- Пузанов Л. С. О температурах образования ратовкита в бассейне реки Сылвы (Пермское Приуралье) // Докл. АН СССР. 1972. Т. 207. № 5. С. 1204—1207.
- Пузанов Л. С., Якубович К. И. Некоторые закономерности распре-

- деления флюоритового оруденения на Урале // Минеральное сырье. 1968. Вып. 15. С. 28—37.
- Рундквист Д. В., Чистяков А. Г. О берилл-флюорит-мусковитовом типе минерализации // Геология руд. месторождений. 1960. № 2. С. 44—52.
- Саркисян С. Г. Петрографо-минералогические исследования верхнепермских и триасовых пестроцветных отложений Приуралья. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
- Сверчков В. С. Амдерминское месторождение плавикового шпата. Л.: НИИГА, 1935.
- Сливко М. М. О включениях растворов в кристаллах турмалина // Исследования минералообразующих растворов. М., 1958. С. 63—68.
- Смолянинов Н. А. Химико-минералогический очерк Журавлинского месторождения // Журавлинское месторождение боксита. М., 1926. С. 45—95.
- Степанов В. И., Молева В. А. О ральстоните из Ильменских гор, Центрального Казахстана и с Камчатки // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1962. Вып. 5. С. 556—572.
- Томсон И. Геологическое описание долины Чусовой // Горн. журн. 1835. Т. 3, кн. 8. С. 181—201.
- Успенский Н. А. Целестин и флюорит в пермских отложениях восточного склона Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1936.
- Фишман М. В., Юшкин Н. П., Голдин Б. А., Калинин Е. П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана. Л.: Наука, 1968.
- Флоренский В. П. Флюорит в нижнепермских отложениях Башкирской АССР // Докл. АН СССР. 1941. Т. 31, № 3. С. 251—255.
- Хурсик В. З., Оборин А. А. Флюорит в палеозойских осадочных отложениях Пермского Приуралья // Науч. тр. Ташкентск. ун-та. 1976. № 496. С. 74—75.
- Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Свердловск: УрО АН СССР, 1987.
- Юдович Я. Э., Иванова Т. Н., Черных В. А. К геохимии фтора в карбонатных породах (на примере карбона западного склона Северного Урала) // Литология и полезные ископаемые. 1975. № 4. С. 91—99.
- Юшкин Н. П., Волкова Н. В., Кунц А. Ф. Флюорит Уральско-Новоземельской провинции и проблемы его использования. Сыктывкар, 1977.
- Юшкин Н. П., Ромашкин Ю. Н., Маркова Г. А. Уральско-Новоземельская флюоритоносная провинция. Л.: Наука, 1982.
- ASTM. Powder diffraction file search manual Inorganic. Swarthmore. Pennsylvania, 1973.
- Böggild O. V. Beobachtungen über die Mineralien der Kryolithgruppe // Zs Kristallographie und Mineralogie. 1913. Bd 51. S. 599—614.
- Gröth P. Eine neue Analyse des chioliths // Зап. Импер. о-ва. 1882. Т. 17. С. 273—275.
- Hermann R. F. Untersuchungen russischer Mineralien // J. prakt. Chem. 1846. Bd 37. S. 175—193.
- Kokscharow N. Einige notizen über das Krystallsystem des chioliths // Verhandlungen der Mineralogischen Gesellschaft zu St. Petersburg. Jahrgang 1850—1851. S. 1—6.
- Wörth F., Chodnew A. Mineralogische und Chemische Untersuchung des Chioliths aus Miask // Verhandlungen der Mineralogischen Gesellschaft zu St. Petersburg. Jahrgang 1845—1846. S. 208—220.

## V. ХЛОРИДЫ, БРОМИДЫ

Среди хлоридов на 1.01.1988 г. установлено или указывается 19 видов по сравнению с шестью известными к 1914 г. и восьмью известными к 1940 г. Первое краткое описание уральских хлоридов было дано в 1985 г. (Юшкин и др., 1986). Хлориды разделены на четыре группы: 1) хлориды аммония; 2) хлориды щелочных и щелочноземельных элементов; 3) хлориды железа, меди и свинца и 4) хлориды и бромиды серебра.

### V.1. ХЛОРИДЫ АММОНИЯ

На Урале установлены нашатырь, копейскит и редикорцевит; все — в горящих угольных отвалах Челябинского бассейна.

#### V.1.1. Нашатырь — $\text{NH}_4\text{Cl}$ , куб. с. (Salammoniac)

Первое упоминание о нашатыре на Урале приводится В. П. Аполлоновым (1976). На основании изучения инфракрасных спектров калийных солей он предполагал наличие нашатыря в сильвине Верхнекамского месторождения. В 1981 г. нашатырь был установлен в значительных количествах в приповерхностных частях горящих угольных терриконов Копейского месторождения бурых углей (Суставов, 1985; Чесноков и др., 1985). В фумаролах горящих терриконов нашатырь образует корки толщиной до 5 см и ассоциирует с сульфатами аммония, магния, кальция и железа, представленными буссенготитом, аммониярозитом, копейскитом и другими точно не диагностированными сульфатами.

Нашатырь наблюдается в виде хорошо образованных кристаллов с преимущественным развитием простых форм  $n\{211\}$  и  $d\{110\}$  (рис. V.1). В качестве второстепенных присутствуют простые формы:  $a\{100\}$ ,  $s\{321\}$ ,  $t\{410\}$  и  $f\{310\}$ . Большинство

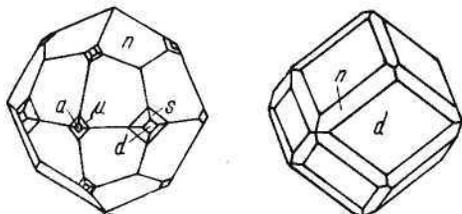


Рис. V.1. Кристаллы нашатыря тетрагонтриоктаэдрического и ромбододекаэдрического обликов.

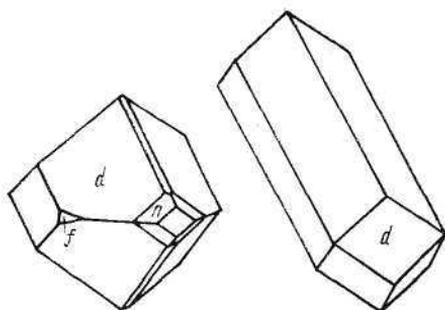


Рис. V.2. Искажение кристаллов нашатыря: удлинение по осям четвертого и третьего порядков.

кристаллов имеет копьевидный или булавовидный облик с удлинением вдоль оси третьего или четвертого порядка (рис. V.2). Нередки скелетные образования с трех- или четырехлучевой симметрией.

Кристаллы водянопрозрачны, иногда содержат газово-жидкие или механические включения. Блеск стеклянный. Излом раковистый. Пластичный, с трудом растирается в порошок. Твердость на свежем изломе 2, на растворенной поверхности 2,5. Легко растворяется в воде. Вкус соленый, едкий. Под микроскопом в зернах нашатыря наблюдается несовершенная спайность. Изотропный. Показатель преломления  $1,638 \pm 0,002$ . Основные линии рентгенограммы: 2,74 (10); 1,941 (7); 1,737 (6); 1,583 (9); 1,035 (10) — соответствуют главным линиям нашатыря.

Параметр элементарной ячейки  $a_0 = 3,875 \pm 0,001$  Å. Рентгеновская плотность  $1,526$  г/см<sup>3</sup>. Плотность, определенная пикнометрическим методом в ксилоле,  $1,53 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup>. Спектральным анализом в нашатыре установлены следы Ca, Mo, Fe, Ni и 0,001 % Al, связанные, по-видимому, с механическими включениями породы.

Дериватограмма нашатыря имеет два эндотермических эффекта: 184 и 336 °С. Первый отвечает переходу структуры CsCl в структуры типа NaCl, второй — разложению и сублимации нашатыря. ИК-спектр нашатыря имеет стандартный набор полос поглощения (Накамото, 1966), из которых полоса 3135 см<sup>-1</sup> отвечает валентным колебаниям; полосы 1410, 2810 и 3040 см<sup>-1</sup> соответствуют деформационным колебаниям в тетраэдрической молекуле NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. При повышенной влажности нашатырь активно сорбирует воду и растворяется в ней.

### V.1.2. Редикорцевит — NH<sub>4</sub>MgCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, (Redikortsevite)

Найден Б. В. Чесноковым летом 1982 г. в кусках хлоридных корок, «раскисших» от дождей, на терриконе шахты «Подозерная» (г. Копейск). Образует светло-желтые, до бесцветных, уплощенно-призматические кристаллы в полужидкой массе вместе с копейскитом. Название дано в честь Ивана Ивановича Редикорцева (1808—1866 гг.) — первооткрывателя Челябинского угольного бассейна (Чесноков и др., 1987).

Мелкие кристаллики редикорцевита бесцветны, блеск стеклянный, черта белая. Твердость около 2,5. Хрупкий, излом раковистый, спайности не обнаружено. Плотность  $1,43 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup> (уравновешивание в растворе бромформа и ксилола). В иммерсии бесцветен,  $n_g = 1,480$ ,  $n_p = 1,467$ ;  $n_g - n_p = 0,013$ . Легко растворим в воде. При действии щелочи выделяет аммиак. В закрытой трубке выделяет воду и налет нашатыря. Перед паяльной трубкой не плавится, после прокаливании остается светлокремозый материал, сложенный периклазом (дебаеграмма).

Химический анализ пробы 053-21 редикорцевита выполнен Л. Ф. Баженовой, мас. %:

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O . . . . .	8,44	CaO . . . . .	0,60
MgO . . . . .	12,80	MnO . . . . .	0,11
Cl . . . . .	39,21	K <sub>2</sub> O . . . . .	0,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,54	Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,51	TiO <sub>2</sub> . . . . .	не обн.

Проба была загрязнена примесью копейскита, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> нужно отнести за счет него. Возможна примесь хлорида Al и Ca.

Хорошо раскрывает состав минерала интерпретация его дери- вагограммы (в скобках даны содержания в массовых долях процента для идеального состава NH<sub>4</sub>MgCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O): эндозэффект 315 °C — потеря 3,5H<sub>2</sub>O = 24,73 (24,55); эндозэффект 395 °C — потеря 2,5H<sub>2</sub>O = 17,85 (17,54); эндозэффект 660 °C — потеря NH<sub>4</sub>Cl = 19,79 (20,84). Общие потери массы при нагревании до 920 °C составляют 62,37 (62,93).

Порошкограмма редикорцевита соответствует порошкограмме синтетической NH<sub>4</sub>MgCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (ASTM, 1973). Главные линии порошкограммы: 3,85 (5) (220); 3,35 (10) (040); 2,99 (5) (222); 2,36 (5) (400). Параметры элементарной ячейки (в скобках — для синтетической NH<sub>4</sub>MgCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O):  $a_0 = 9,60 \pm 0,01$  Å (9,570);  $b_0 = 13,40 \pm 0,01$  Å (13,330);  $c_0 = 9,33 \pm 0,01$  Å (9,315).

### V.1.3. Копейскит — (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>FeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O (Kopeiskite)

Осенью 1981 г. С. Г. Суставову были переданы для определения преподавателем Б. И. Кочневым образцы минералов из г. Копейска. Они были собраны Б. И. Кочневым и руководимой им группой школьников из г. Копейска на терриконах угольных шахт. С. Г. Суставов определил в образцах нашатырь и красный минерал из группы эритросидерита, предположительно содержащий аммоний. Малое количество вещества не позволило детально его изучить. Летом 1982 г. красный минерал из группы эритросидерита встречен Б. В. Чесноковым на терриконах шахт г. Копейска в большом количестве. Он был детально исследован и оказался новым минералом, получившим название копейскит по месту нахождения.

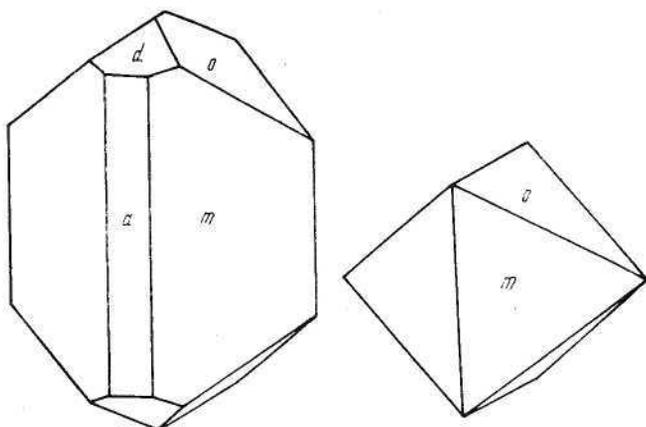


Рис. V.3. Кристаллы копейскита:  $a\{100\}$ ,  $m\{210\}$ ,  $o\{011\}$ ,  $d\{101\}$ .

Копейскит найден в виде оранжево-красных рыхлых скоплений и корок в привершинных частях терриконов на глубине 5—20 см. Сверху находится рыхлый грунт, состоящий из пыли, песка, дресвы и щебня углевмещающих горных пород (глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники) и частиц каменного угля. Температура этого слоя на глубине около 5 см доходит до 50 °С (летом). Копейскит вместе с другими хлоридами (железа, кальция, магния и нашатыря) образует прослой и корки мощностью до 5—10 см. Площадь участков такой хлоридной минерализации достигает нескольких квадратных метров. В верхних частях прослоев с копейскитом температура достигает 60—70 °С, а в нижних 90—100 °С. Ниже находится рыхлый и горячий материал (температура 100 °С и более), состоящий из щебня, глыб и дресвы с пылью углевмещающих пород, в той или иной степени обожженных в процессе отсыпки террикона.

Копейскит представлен отдельными кристаллами или их сростками. Кристаллы короткопризматические или «октаэдрические» (рис. V.3), достигающие 1 мм. Измерение кристаллов выполнено при помощи столика Федорова и бинокулярной лупы

Таблица V.1

**Сферические координаты граней кристаллов копейскита**

Грань	Измеренные		Вычисленные	
	$\varphi$	$\rho$	$\varphi$	$\rho$
$a$ (100)	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'
$m$ (210)	55 15	90 00	55 15	90 00
$o$ (011)	0 00	35 45	0 00	35 45
$d$ (101)	90 00	28 00	90 00	27 26

Таблица V.2

## Химический состав копеекита

Компонент	Содержание		Отношение ат. колич. при $\text{NH}_4=2,00$	
	Мас. %	Ат. колич.	Исходные	Принятые
Fe	18,45	0,3303	0,96	
Al	0,71	0,0263	0,07	
Ca	0,39	0,0097	0,03	1,08
Mg	0,20	0,0082	0,02	
Mn	0,03	—	—	—
$\text{NH}_4$	12,42	0,6896	2,00	2,00
Cl	57,46	1,6209	4,70	4,70
OH	0,43	0,0253	0,07	0,30
$\text{H}_2\text{O}^+$	7,95	0,4417	1,28	1,05
$\text{H}_2\text{O}^-$	2,14	—	—	—
Сумма . . . . .	100,18	—	—	—

Примечание. Натрий и калий методом пламенной фотометрии не обнаружены; не обнаружен также фтор.

Таблица V.3

## Расчет рентгенограммы копеекита

<i>I</i>	<i>hkl</i>	$d_{\text{изм.}} \text{ \AA}$	$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$	<i>I</i>	<i>hkl</i>	$d_{\text{изм.}} \text{ \AA}$	$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$
1	200	6,85	6,84	2	512	2,108	2,107
4	011*	5,67	5,71	1	313	2,036	2,035
10	210*	5,597	5,616	1		1,933	
3	020*	4,919	4,920	1		1,927	
4	201*	4,870	4,896	1		1,922	
1		4,338		2	051*	1,900	1,895
1		4,230		1		1,878	
1	301	3,826	3,822	3	342	1,847	1,842
1		3,806		1		1,806	
3	401	3,065	3,073	1	423	1,802	1,796
2	321	3,016	3,019	1		1,777	
3		2,975		3	422* 104*	1,740	1,735; 1,738
3	230*	2,967	2,958	2	114*	1,711	1,712
3	022	2,857	2,855	1		1,661	
10	420* 122*	2,808	2,808; 2,794	1		1,650	
5	302	2,776	2,779	1	060*	1,641	1,640
3	500	2,732	2,736	1		1,628	
1		2,637		1		1,616	
1		2,547		1	062*	1,486	1,485
8	040* 511	2,471	2,460; 2,467	1		1,482	
4	402	2,448	2,448	1		1,458	
1		2,374		1	144*	1,424	1,420
1	103*	2,305	2,303	1		1,406	
2	203*	2,208	2,211	1		1,308	
2	241*	2,194	2,198	1		1,274	
2		2,189		1		1,270	
2	502	2,160	2,157	1		1,239	

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2.0;  $\text{SiK}_\alpha$ -излучение; скорость движения счетчика 1 град/мин; скорость движения ленты 720 мм/ч (аналитик В. О. Поляков). Звездочкой отмечены отражения, наблюдавшиеся на кфорограммах. Порошок пробы был в смеси с вазелином из-за гигроскопичности материала.

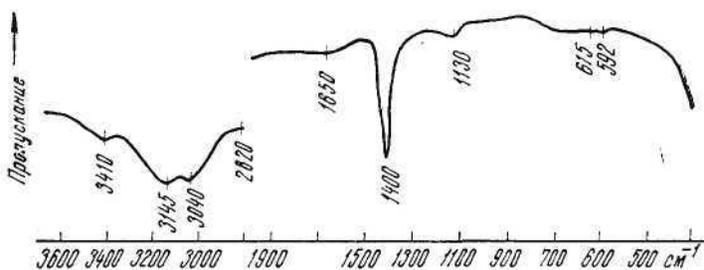


Рис. V.4. ИК-спектр поглощения копейскита.

(табл. V.1). Копейскит относится к ромбической сингонии, плаксиальному виду симметрии,  $a : b : c = 1,387 : 1 : 0,720$ .

Кристаллы копейскита прозрачные или просвечивающие, цвет яркий оранжево-красный. Тонкозернистые агрегаты красновато-оранжевые. Черта желто-оранжевая. Блеск стеклянный, в изломе жирноватый. В ультрафиолетовом свете не люминесцирует. Твердость 2,5 по шкале Мооса, очень хрупкий, излом раковистый. Спайность ясная по  $\{210\}$ . Плотность  $1,99 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup> (определение уравниванием прозрачных кристалликов в растворе бромформа с ксилолом).

Весьма легкоплавкий; сначала сплавляется в просвечивающий красновато-коричневый шарик с жирноватым блеском. При дальнейшем прокаливании сплавляется в черный магнитный шлак. В закрытой трубке выделяет умеренное количество воды, плавится и превращается в красновато-бурую возгоняющуюся жидкость. При нагревании в открытой трубке плавится, выделяет хлор и другие летучие вещества. На месте пробы остается тонкая корочка и пленка гематита. Легко растворяется в воде, образуя желтый раствор. В растворе Na(OH) разлагается с выделением NH<sub>3</sub> и бурого хлопьевидного осадка. Дает яркую реакцию на хлор с AgNO<sub>3</sub> в водном растворе.

В иммерсии под микроскопом цвет от желтого (мелкие частицы) до красновато-коричневого (крупные частицы). Двуосный, положительный;  $n_g = 1,790 \pm 0,002$ ;  $n_m = 1,754 \pm 0,002$ ;  $n_p = 1,737 \pm 0,002$ ;  $n_g - n_p = 0,053$  (белый свет). Угол  $2V$  — средний (вычисленный равен  $68^\circ$ ). Дисперсия оптических осей сильная,  $r > v$ . Плеохроизм слабый:  $N_g$  и  $N_p$  — коричневатожелтый с зеленоватым оттенком;  $N_m$  — красновато-коричневатый;  $N_m > N_g$  и  $N_p$ . Ориентировка осей индикатрисы:  $N_g = [010]$ ,  $N_m = [001]$ ,  $N_p = [100]$ . Оптические свойства копейскита очень близки к свойствам эритросидерита  $K_2FeCl_5 \cdot H_2O$  («Минералы», 1963).

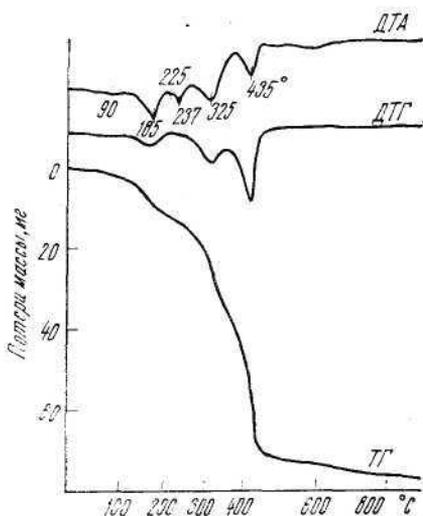
ИК-спектр копейскита (рис. V.4) получен в лаборатории Ильменского заповедника аналитиком Л. П. Арзамасцевой на спектрофотометре UR-20. В спектре имеются полосы поглощения всех четырех валентных колебаний иона  $(NH_4)^+$ :  $\nu_1$  — 3040,  $\nu_2$  — около 1650,  $\nu_3$  — 3145,  $\nu_4$  — 1400 см<sup>-1</sup> и обертона колебания  $\nu_4$  ( $2\nu_4$ ) око-

Рис. V.5. Дериватограмма копейскита.

ло  $2820 \text{ см}^{-1}$ . Отнесение полос поглощения — по К. Накамото (1966). Полоса поглощения  $3410 \text{ см}^{-1}$  обусловлена валентными колебаниями кристаллизационной воды. Деформационные колебания  $\text{H}_2\text{O}$  около  $1640 \text{ см}^{-1}$  слабо выражены, по-видимому, в связи с взаимодействием с колебаниями  $\nu_2$  иона  $(\text{NH}_4)^+$ . Имеются еще три слабых размытых полосы поглощения: около  $1130$ ,  $615$  и  $592 \text{ см}^{-1}$ . Первая из них относится к колебаниям  $(\text{NH}_4)^+$ , так как она обнаружена нами на спектре химически чистого  $(\text{NH}_4)\text{Cl}$ , природа других полос не ясна.

Дериватограмма копейскита (рис. V.5) получена в лаборатории Ильменского заповедника аналитиком Т. С. Корниловой на дериватографе системы Паулик и Эрден. Кривая ДТА имеет ряд эндотермических эффектов: слабый и широкий около  $90^\circ\text{C}$  — потеря адсорбированной воды (2,14 %),  $185^\circ$  — потеря кристаллизационной воды и в конце процесса потеря части гидроксильной воды (7,95 %),  $225^\circ$  — потеря остальной гидроксильной воды (0,43 %),  $237^\circ$  — плавление (синтетическая  $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$  плавится при  $234^\circ$ ; «Свойства...», 1983). Эндотермические эффекты при  $325^\circ$  и  $435^\circ\text{C}$ , по-видимому, связаны с потерей летучих соединений, образовавшихся после разложения минерала. После прокалывания пробы до  $1000^\circ$  остается в основном тонкокристаллический гематит.

Химический анализ копейскита (табл. V.2) выполнен Л. Ф. Баженовой в лаборатории Ильменского заповедника. Вода определена термогравитационным методом. Анализ позволяет считать, что копейскит является чисто аммониевым членом изоморфного ряда  $\text{K}_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . За основу расчета формулы было взято  $\text{NH}_4 = 2,00$ , поскольку содержание этого компонента наиболее близко к теоретическому. Некоторый дефицит хлора компенсируется гидроксидом. Очевидно, часть  $[\text{OH}]^-$  теряется пробой уже в конце процесса выделения кристаллизационной воды (см. рис. V.3), поэтому часть потери  $\text{H}_2\text{O}$  относим за счет  $[\text{OH}]^-$  и дополняем ею группу  $(\text{Cl}, \text{OH})$  до 5,00. После этого эмпирическая формула копейскита имеет вид  $(\text{NH}_4)_{2,00}(\text{Fe}_{0,96}\text{Al}_{0,07}\text{Ca}_{0,03}\text{Mg}_{0,02})_{1,08}(\text{Cl}_{4,70}\text{OH}_{0,30})_{5,00} \cdot 1,05\text{H}_2\text{O}$ . Идеализированная формула  $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Рентгенографическое



Кристаллографические данные копейскита (1) и синтетической  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>FeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O (2)

Свойство	1	2 (Lindqvist, 1947)
Цвет	Оранжево-красный	Коричневато-красный
Габитус кристаллов	Призматический и «октаэдрический»	«Октаэдрический»
Сингония	Ромбическая	Ромбическая
Группа	<i>R<sub>3</sub>m</i>	<i>R<sub>3</sub>m</i>
$a_0, \text{Å}$	13,68	13,78
$b_0, \text{Å}$	9,84	9,85
$c_0, \text{Å}$	7,01	7,09
$a_0:b_0:c_0$	1,390:1:0,712	1,399:1:0,719
$V, \text{Å}^3$	944	962
$z$	4	4
$\rho_{\text{изм}}, \text{г/см}^3$	1,99	1,99

изучение копейскита выполнено В. О. Поляковым и С. Г. Сустановым в лабораториях Ильменского заповедника и кафедры минералогии и петрографии Свердловского горного института. Получены рентгенограммы вращения, форограммы, дебаграммы и дифрактограмма. Копейскит ромбический, *R<sub>3</sub>m*. Параметры ячейки рассчитаны по дебаграмме (табл. V.3):  $a_0 = 13,68 \pm 0,02$ ;  $b_0 = 9,84 \pm 0,02$ ;  $c_0 = 7,01 \pm 0,02 \text{ Å}$ ;  $a_0:b_0:c_0 = 1,390:1:0,712$  (гонометрическое отношение осей равно 1,387:1:0,720);  $V = 944 \text{ Å}^3$ ;  $z = 4$ ;  $\rho_{\text{выч}} = 1,998 \text{ г/см}^3$  ( $\rho_{\text{изм}} = 1,99$ ).

Рентгенографические характеристики и плотность копейскита соответствуют характеристикам синтетической (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>FeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O (табл. V.4). Таким образом, известный изоморфный ряд минералов эритросидерит K<sub>2</sub>FeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O — кремерзит NH<sub>4</sub>KFeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O пополнился конечным чисто аммониевым членом — копейскитом K<sub>2</sub>FeCl<sub>5</sub>·H<sub>2</sub>O.

Копейскит — продукт отложения из горячих газов, исходящих из глубин террикона. Железо выносится горячими газами из обломков сидеритовых пород в виде хлористых соединений. Там, где газы на выходе имеют температуру более 200 °С, отлагаются корочки из кристаллов гематита. В местах, где разгрузка газовых потоков с относительно невысокой температурой (порядка 100 °С и ниже) происходит под покровом поверхностного рыхлого грунта, отлагается копейскит и ближе не определенные хлориды железа, магния и кальция, а также нашатырь.

## У.2. ХЛОРИДЫ НАТРИЯ, КАЛИЯ И МАГНИЯ

Среди минералов этой группы на Урале установлены галит, гидрогалит, сильвин, карналлит, безводный  $\text{CaCl}_2$ , антарктинит, синджарит  $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и предполагаемый риннеит и бишофит. Предположения о возможности присутствия гидрофиллита могут быть оставлены в связи с обнаружением большого количества минералов группы водных хлоридов кальция.

### У.2.1. Галит — $\text{NaCl}$ , куб. с. (Halite)

Галит — широко распространенный на Урале минерал, известный с доисторических времен в соленых озерах Зауралья и в Соль-Илецком куполе. Так, на карте Фра-Мауро (1459 г.) в верховьях р. Яик, обозначенной «fluma Jainege», нанесен кружок, рядом с которым нарисована гора и сделана приписка: «Здесь добывается много соли». В «Книге Большому Чертежу» (1627 г.) упоминается «р. Илез, ниже горы Тустебы, по-нашему, та гора Соляная, ломают в ней соль» (Семенов, 1984).

Месторождение издавна разрабатывалось местными жителями, и галит развозили по огромной территории. Сведения о галите сообщены в Минеральном каталоге 1743—1745 гг. И. Г. Гмелина и М. В. Ломоносова (1954), П. С. Палласом (1773), П. И. Рычковым (1762) и т. д. Месторождения галита близ г. Соликамска были открыты лишь в 1827 г. (Милованов, 1856). Большой вклад в изучение этого минерала внесли А. А. Иванов, М. Л. Воронова (1968, 1975), Е. Э. Разумовская (1931), В. Н. Дубинина (1951а, 1954), В. А. Вахрамеева, О. П. Горкун (1960), В. А. Литвиненко (1954), П. Н. Чирвинский (1948) и др.

На Урале галит известен в гидротермальных жилах, эвапоритах, соляных озерах и как новообразование. В гидротермальных кварцевых жилах Южного Урала П. В. Клевцовым и Г. П. Леммлейном (1958) отмечены мелкие кристаллики галита в виде включений в кварце с жидкой  $\text{CO}_2$ .

Наиболее широко галит развит в пермских эвапоритах Предуральского краевого прогиба, где он приурочен к нижним пермским отложениям Кунгурской галогенной формации Приуральского прогиба и Прикаспийской впадины. Мощные толщи каменной соли выделены как Верхнепечорский, Соликамский (Верхнекамский), Сильвинско-Чусовской и Стерлитамакско-Ишимбаевский соленосные бассейны. Южнее обособляется зона Актюбинских соляных складок, которая располагается между собственно складчатым Уралом и гигантским соленосным бассейном Прикаспийской впадины. На протяжении всего Предуральского краевого прогиба с севера на юг условия залегания и особенности строения галитовых толщ практически идентичны.

В Верхнепечорском бассейне галит в кунгурских соленосных отложениях лунежской толщи слагает подстилающие пласты

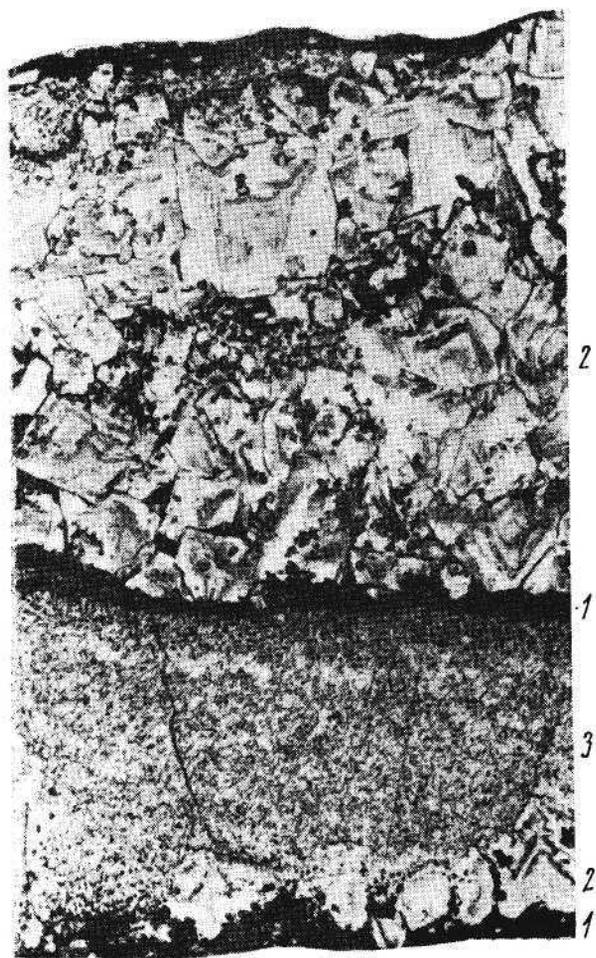


Рис. V.6. Галитит Верхнекамского месторождения. Березниковский рудник.

Чередование слоев: 1 — глинистого ангидрита, 2 — зонального перистого галлитита, 3 — микро- и тонкозернистого галлитита.  
Материалы В. А. Вахрамеевой.

мощностью до 180—370 м и покровный пласт 10—80 м, а также вкрапленность и прослой в сильвин-карналлитовых слоях и вкрапленность в аргиллитах. В соляной толще преобладает темно-серый, желтовато-серый, оранжевый и серовато-белый мелкозернистый галит.

К Соликамской впадине приурочено Верхнекамское месторождение калийных солей. Галит встречается в нижеиренской и лунежской толщах. В пределах месторождения выделяют подстилающую (мощность 50—350 м, в сводовых частях до 530 м) и покровную (мощность 20—55 м) толщи; галит, ассоциирующийся с сильвин-карналлитовыми слоями и галитсодержащими ангидритовыми и глинистыми породами.

Галиты подстилающей толщи обычно пятнистые, крупнозернистые белые, серые, желтовато-розовые. Покровные галиты полосчатые мелко- и среднезернистые, с перистой структурой. Белые «перья» галита размером от 3—4 до 10 мм ориентированы перпендикулярно слоистости и растут от базального сезонного галопелитового прослоя (рис. V.6). Иногда вместе с перьями можно увидеть и «лодочки» — полые реликтовые пирамидки галита летней садки. Нередки крупные кубические метакристаллы. В сильвинитовой и карналлитовой породе встречается желтый, синий и фиолетовый галит, плеохроирующий от желто-фиолетово-розового до фиолетово-синего, что объясняют радиоактивным облучением изотопами калия (Чирвинский, 1943, 1948). В галопелитовых прослоях кубические кристаллы галита нередко имеют красновато-розовую окраску за счет включений оксидов железа.

В зонах перекристаллизации наблюдаются жилы бесцветного водяно-прозрачного и ярко-синего гигантокристаллического галита в подстилающих калийные соли в виде прослоев водяно-прозрачного галита («шпатовая соль») с включениями рапы — отрицательных кубических кристаллов до 3 мм. В глинисто-мергелистой и покровной соли встречаются прожилки белого и оранжевого тонковолокнистого галита, с волокнами, ориентированными нормально к стенкам трещины. В зонах интенсивно проявленной тектоники наблюдаются сланцеватый галинит с пластинчатыми индивидами галита и зоны перекристаллизации.

В Сылвинско-Чусовском бассейне, простирающемся от Верхнечусовского городка на севере до г. Суксун на юге, серый среднезернистый галит слагает пласты и линзообразные тела до 50—83 м при мощности соленосной толщи 240—260 м. Галит грязно-серого цвета (Иванов, Левицкий, 1960). Наиболее изучено Шумковское месторождение.

Стерлитамакско-Ишимбаевский бассейн сложен толщей кунгурских соленосных терригенных пород мощностью до 800 м с галитом, мощность залежей которого от 150 до 800 м, и перекрывается ангидрит-гипсово-глинистой свитой. Детально изучено Яр-Бишкадакское месторождение (Литвиненко, 1954). Гали-



Рис. V.7. Кубические кристаллы галита в ангидрите. Алштан, скв. 22, глуб. 265,2 м. Фото С. М. Корневского.

титы сложены массивным, реже слонстым прозрачным дымчато-серым и молочно-белым мелкозернистым галитом, составляющим до 98 % породы, с примесью ангидрита и глинистого вещества (рис. V.7). Нередок зональный галит (рис. V.8).

В северо-восточной и восточной части Прикаспийской впадины широко развиты соляные купола, из которых наиболее известны Илецкий и соляные складки: Красноярская, Кауровская, Джу-

синская и Жиланская. Соль-Илецкий соляной купол, размером  $2 \times 1$  км и мощностью более 3 км, сложен сплошным галитом с редкими прослойками глин, ангидрита, полигалита (Иванов, 1939; Рычков, 1762; Михайлов, 1841; «Об илецких...», 1828). Широко распространены зоны перекристаллизации с бесцветным грубозернистым галитом до 30 см в поперечнике, приуроченным к верхней части штока. На контакте с ангидритовыми ксенолитами встречались каверны до 0,35 м в диаметре с рассолом и хорошо образованными кристаллами гипса и кубическими кристаллами галита (Дзенс-Литовский, 1942). Крупнокристаллический фиолетовый, голубой, желтый и розовый цвет галита, встречающегося вблизи конкреций гидробората, быстро меняется на воздухе. Желтая окраска исчезает, а розовая переходит в фиолетовую (Иванов, 1939). Аналогичное явление наблюдалось в галите Нежинского купола (рис. V.9).

В современных соленых озерах Челябинской и Курганской областей в засушливые годы происходит или происходила садка галита, отмечавшаяся для Дальнего Сорочьего озера, Гашкова, Шемели, Горного, Таузат-Куль, Уткин-Кулат (Селезняк), Соленый Кулат, Асли-Куль (Бахвалова, 1945). Постоянная садка происходит в Тузлучном озере у Илецкой Защиты и в многочисленных мелких озерах и солончаках Оренбургской и Актюбинской областей. Галит образует друзовые корки с реликтами лодочек и плохообразованные кубические кристаллы серого и

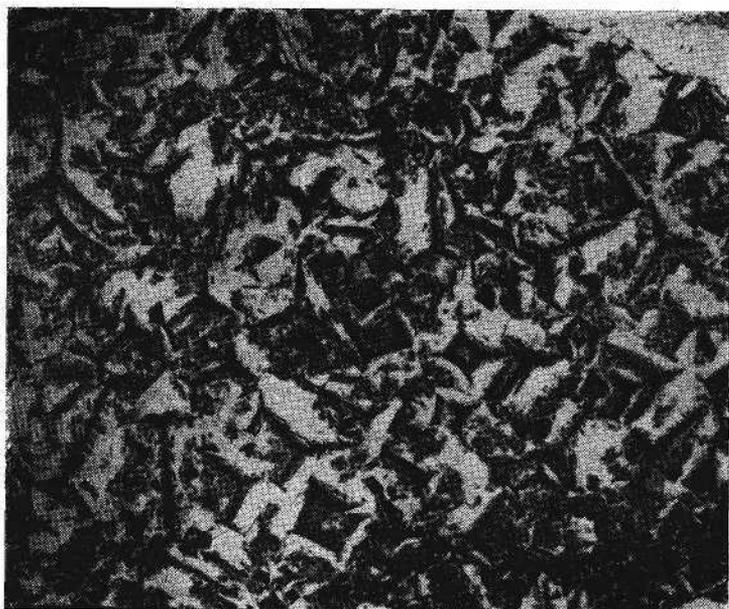


Рис. V.8. Зональный галит. Стерлибашево, скв. 30, глуб. 403 м, Ник. II,  $\times 10$ . Материалы М. Л. Вороновой.

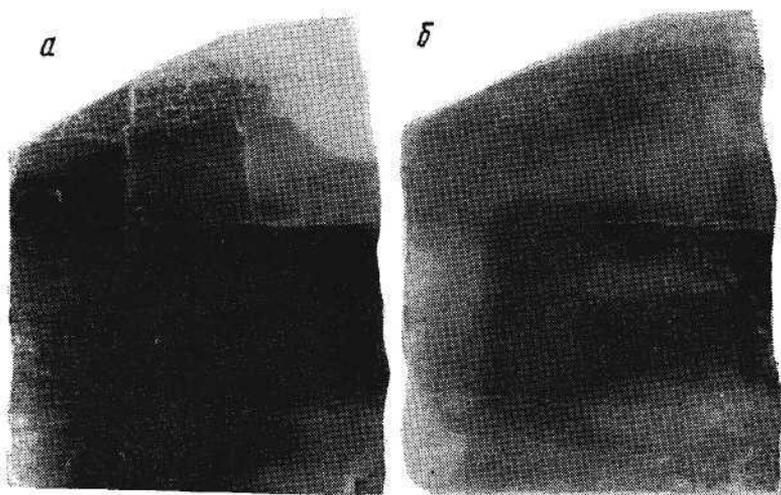


Рис. V.9. Галит гигантокристаллический, фиолетово-синий. Пос. Нежинка, скв. 16, глуб. 471,7 м. Naturalная величина.

а — подсвечивание снизу, б — подсвечивание сзади. Фото С. М. Корневского.

грязно-серого цвета с многочисленными включениями. Новообразования галита в виде друз, скелетных агрегатов и «натечных» корок повсеместно распространены в горных выработках и скважинах, особенно Илецкой шахты и Соликамского месторождения. Друзы и водяно-прозрачные кристаллы галита кристаллизуются из закладочных и конденсационных рассолов. Галит как редкий минерал указывается на Пай-Хое в составе солевых выпотов на участках фильтрации минерализованных надмерзлотных вод зоны окисления (Юшкин, 1980).

### **V.2.2. Гидрогалит—NaCl, мон. с. (Hudrohalite)**

Присутствие гидрогалита в отложениях оз. Развал в Илецкой Шахте было предсказано Л. А. Ячевским (1914) на основании существования отрицательных температур в нижней части озера; обнаружен в керне скважины на дне озера А. И. Дзенс-Литовским (1945) в виде слоя мощностью 4,5 м, сложенного грубозернистыми и друзовыми агрегатами. Не изучен. «Шпатовая» каменная соль Верхнекамского месторождения одно время рассматривалась как результат перекристаллизации гидрогалита. По-видимому, образуется зимой в солончаках и соляных озерах Южного Урала и Мугоджар.

### **V.2.3. Сильвин —KCl, куб. с. (Sylvite)**

На Урале встречен в 1906—1907 г. при углубке рассолодобычной Людмилинской скважины Троицкого солеварного завода в г. Соликамске в виде вкрапленности красных зерен в галите. В 1916 г. в образце из этой скважины из коллекции Н. П. Рязанцева сильвин визуально определен Г. Р. Дерингом (Курнаков, 1916). Это определение было подтверждено химическими анализами Н. С. Курнакова в 1916 г. (Иванов, Морачевский, 1955). П. И. Преображенский (1925) установил широкое распространение минерала в районе г. Соликамска, а позже — и на всем протяжении Предуральяского прогиба.

На Урале сильвин известен в пермских эвапоритах, а также как новообразование в соляных шахтах. В галогенных эвапоритах Пермского Приуралья сильвин встречен в Верхнепечорской впадине и зоне Актюбинско-Башкирского Предуралья: Стерлитамакской, Линевской, Жиланской и Ащебулакской структурах. Наиболее изучен сильвин Верхнекамского месторождения (Разумовская, 1931; Иванов, 1932, 1963; Вахрамеева, 1954; Дубинина, 19516, 1969). Выделяются два слоя сильвинитов — нижний «пестрый» мощностью 150 м и верхний «молочно-белый» мощностью 5—35 м, но генетически различаются три типа сильвинов: осадочные нижнего пласта, гипергенные сильвинитовых шляп на карналлитах и диагенетические прожилки позднего сильвина. В сильвинитовом горизонте сильвиниты буровато- и розово-красные, мелкозернистые с зернами сильвина, вытянутыми вдоль

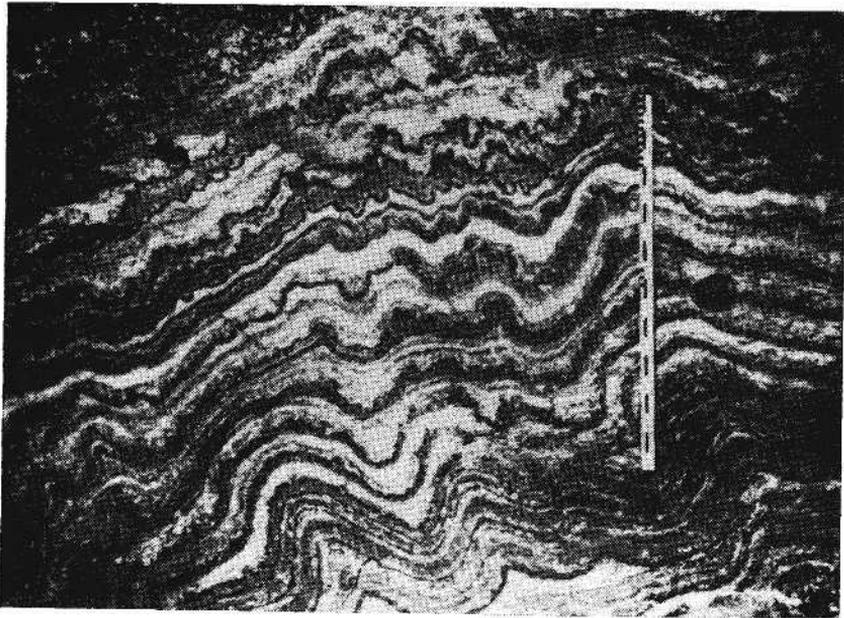


Рис. V.10. Красный сильвинит (темно-серое), переслаивающийся с галитом (белое). Березниковский рудник. Материалы Б. М. Голубева.

слоистости (рис. V.10, V.11). Отдельные прослои и пласты красных сильвинитов замещены галитом с сохранением текстурных признаков красных сильвинитов и их окраски. Ярко-красный цвет сильвина обусловлен дисперсной вкрапленностью пластинок гематита и гидрогематита (Разумовская, 1927). Химический состав сильвина близок к теоретическому, содержит также 0,28 % Вг (Ходьков, 1956), мас. %:

	1*	2
Mg . . . . .	Сл.	0,02
Na . . . . .	Не обн.	0,07
K . . . . .	52,34	52,23
Cl . . . . .	47,49	47,47
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,23	Не сбн.
Нераств. остаток . . . . .	0,015	0,03
Сумма . . . . .	100,07	99,82

\*1 — молочно-белый сильвин, 2 — мясо-красный сильвин (Морачевский, 1930); Ca, SO<sub>3</sub> — не обн.

Пестрые сильвиниты более крупнозернистые и массивные. Пестрая их окраска по простиранию изменяется — буро-красные сильвиниты сменяются серыми и окрашенными в синие тона (рис. V.12). Крупные зерна сильвина в них водяно-прозрачные

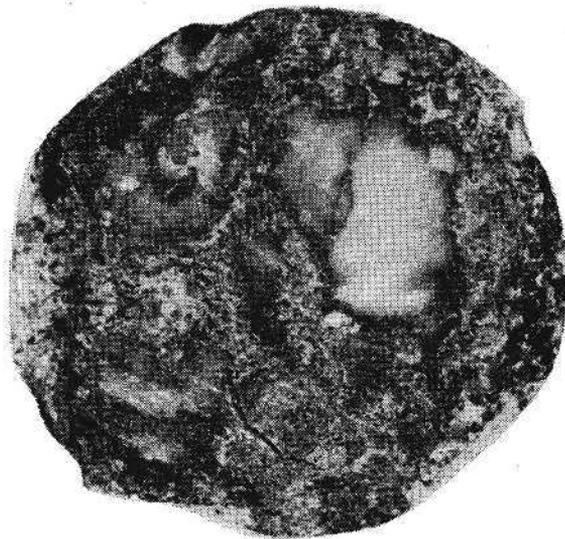
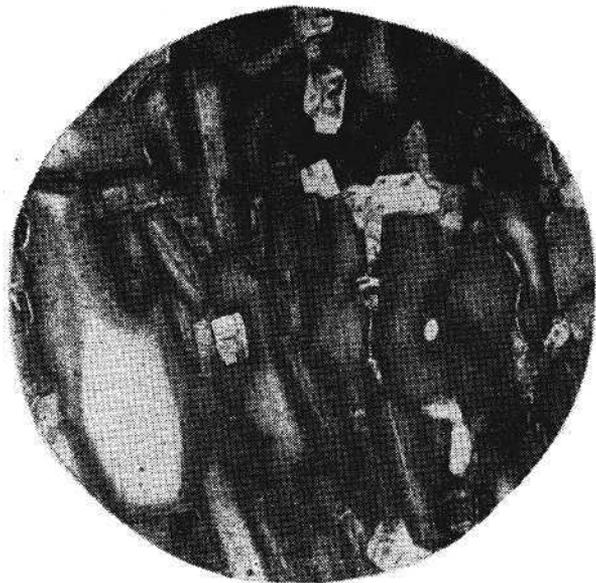


Рис. V.11. Пластинчатые кристаллы сильвина из горизонта красных сильвинитов. Ник.  $\parallel \times 25$ .  
Материалы М. Л. Вороновой.

Рис. V.12. Пестрый сильвинит. Верхнеечорское месторождение. Скв. 572, глуб. 825,0 м.  
Материалы М. Л. Вороновой.

или матовые, немного опалесцируют. Молочно-белый сильвин слабо просвечивает и содержит многочисленные микровключения галита, ангидрита и газовой-жидкие включения. На нижних горизонтах он часто образует мелкие прослои с изометричными кристаллами до 15 см, часто с кирпично-красной оторочкой. На кристаллах розового сильвина (до 1 см) установлены грани {100}, {111}, {110} (рис. V.13). Сильвин в прожилках до 10 см, секущих галититы, переслаивающиеся с сильвинитами, грубо-волокнистый, розовый, желтый, матовый, реже молочно-белый мелко- и среднезернистый. Сильвин из шляпы — бурый, реже мясо-красный и молочно-белый, крупнокристаллический до водяно-прозрачного. Молочно-белый цвет обусловлен большим количеством микровключений галита в виде кубиков до 17 мкм, часто с рапой и газом. Состав сильвина близок к теоретическому. Содержит до 0,0n % Вг. Генезис сильвинитов верхнего горизонта связывается с вторичным образованием за счет карналлита или в результате диагенетических процессов в результате миграции поровых вод, разложения карналлита и выноса из него  $MgCl_2$  (Ходьков, 1956).

В соляной толще Верхнепечорской впадины сильвин слагает пласты и слои полосчатых и пятнистых сильвинитов, аналогичных красным и пестрым сильвинитам Соликамской впадины (Иванов, Воронова, 1968). Пятнистые сильвиниты Верхнепечорского месторождения отличаются от типичных пестрых Верхнекамского месторождения наличием желтых и оранжево-желтых зерен сильвина и среднезернистой структурой (Мелкова, 1960). Молочно-белые и ярко-желтые зерна сильвина окружены оранжево- и сургучно-красными каемками (Иванов, Воронова, 1968). В крупных включениях сильвина наблюдаются микровключения кубиков галита, окрашенных в желтый цвет.

В Жилианской структуре Актюбинского Предуралья сильвин встречен в кунгурских отложениях с галитом, полигалитом, ангидритом и в прослоях сильвинита в галититах. Сильвин пестрых сильвинитов месторождения образует порфирированные молочно-белые вкрапленники до 1,5 см с включениями галита и ангидрита (Бурковская, 1956; Лобанова, 1960). В аналогичных условиях сильвин указывается в солянокупольных структурах Стерлибашево (Башкирия) (рис. V.14), Линевки, Аще-Булака (Оренбургская обл.) (Корневский, Воронова, 1966; Герасимова, 1956). Современное образование сильвина происходит в пустотах, лунках и отстойниках шахт с образованием друз бледно-желтых кристаллов.

#### V.2.4. Карналлит — $KMgCl_3 \cdot H_2O$ , ромб. с. (Carnallite)

Карналлит установлен П. И. Преображенским (1925) в Верхнекамском месторождении, где он детально изучался А. А. Ивановым (1935), Е. Э. Разумовской (1931), В. А. Вахрамеевой,

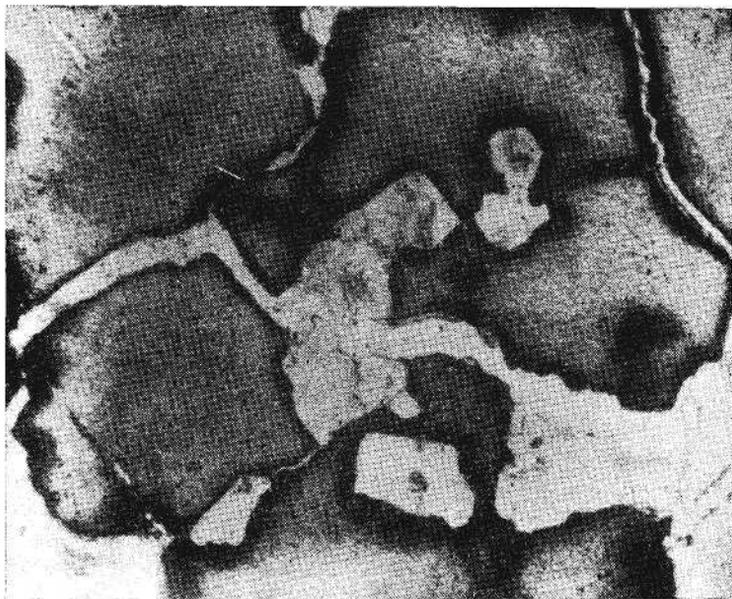


Рис. V.13. Индивиды белого сильвинна с каймой красного (темная кайма) из пласта Б пестрых сильвинитов. Белое — интерстициальный галит. Верхнекамское месторождение. Ник. ||.  $\times 20$ . Матерналы М. Л. Вороновой.

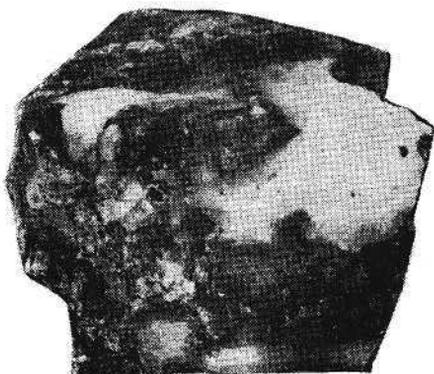


Рис. V.14. Пестрый сильвинит. Стерлибашево. Скв. 8, глуб. 216,6 м. Фото С. М. Корневского.



П. Н. Чирвинским (1943), В. Н. Дубининой (1954) и др. В дальнейшем установлен в Верхнепечорском бассейне и на юге Предуральяского прогиба.

Известны два генетических типа карналлитов — в эвапоритах и современных образованиях в горных выработках. Наиболее детально изучен карналлит Верхнекамского месторождения, где он слагает зону мощностью 21—101 м под покровным галитом и сильвинитом. Наблюдается в виде прослоев, переслаивающихся с галитом, и гнезд. Карналлитовая порода средне- и крупнозернистая, сложена агрегатом карналлита, сильвина и галита. Структура карналлитовой породы разнозернистая с размером зерен до 10—25 мм и более. Нередко встречается также ориентированная структура, в которой зерна карналлита ориентированы в плоскости слоистости. В мономинеральной породе иногда отмечаются равнозернистая, сотовидная, мостовидная и розетковидная (конкрециевидная) структуры. Текстура массивная, слоистая, пятнистая и брекчиевидная (со следами дробления в зернах карналлита). Карналлит в изометричных, боченковидных и сложной формы зернах размером от 1 мм до 3—5 см, бурого, оранжевого, оранжево-красного и белого цвета, реже бесцветен. Содержит включения галита с первичнозональным строением, призматические кристаллики ангидрита и ромбоэдри доломита и магнезита. Характерны двойники, обычно полисинтетические, полосчатые или решетчатые (рис. V.15). Нередко полосы выклиниваются к центру зерна, принимая мечевидную или веретенообразную форму (Дубинина, 1954). В темноокрашенных карналлитах больше железистого красящего материала, представленного чешуйками гематита и иглами гетита. Ярко-красные зерна карналлита окрашены гематитом, бурые — гетитом (Дубинина, 1954). Причина окраски желтых, зеленоватых и фиолетовых разностей карналлита не установлена. В лимонно-желтом карналлите обнаружены бесцветные кристаллы предположительно дугласита (Вахрамеева, Чирвинский, 1943) или риннеита (Островская, 1943).

В зернах карналлита имеются многочисленные микровключения газа (в основном азота, водорода и метана), находящегося под давлением, с чем связано растрескивание некоторых образцов карналлитовой породы, извлеченных на дневную поверхность, и образования вывалов ее в подземных выработках. В. А. Вахрамеевой и П. Н. Чирвинским (1943) изучены формы кристаллов карналлита, наблюдавшиеся в гнездах и прожилках карналлитового пласта В. В опубликованных анализах карналлита Верхнекамского месторождения (Вахрамеева, Чирвинский, 1943) заметен избыток К и С1, вероятно, в результате разложения (распльвания) карналлита на воздухе (табл. V.5). Установлен Rb (0,003—0,012%) и следы таллия. Карналлит выполняющий трещины, образует параллельно-шестоватые агрегаты.



Рис. V.15. Карналлит-галитовая порода со сдвойникованными зернами карналлита. Верхнекамское месторождение, пласт Е. Ник. +;  $\times 2,5$ . Материалы М. Л. Вороновой.



Рис. V.16. Друза новообразованных кристаллов карналлита из лужи в вентиляционном штреке Березниковской шахты. Коллекция Б. М. Голубева.

Химический состав уральских карналлитов, мас. %

Компонент	1*	2	3	4
Na	0,80	0,04	0,03	—
K	13,97	14,88	14,20	14,39
Mg	8,46	8,65	8,71	8,71
Ca	0,032	0,004	0,014	0,006
Cl	38,65	38,38	38,38	39,47
Br	0,199	0,286	0,193	0,192
H <sub>2</sub> O	37,34	38,62	38,76	38,20
Нераств. остаток	0,28	Сл.	Сл.	0,10
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не опр.	Не опр.	0,016	Не опр.
SO <sub>4</sub>	0,065	0,007	0,027	0,012
Сумма . . . . .	99,796	100,867	100,53	101,08
Плотность . . . . .	Не опр.	1,586	1,567	Не опр.

\*1 — оранжевый карналлит, средняя часть пласта Б; 2 — бесцветный прозрачный, гнездо 6-го слоя пласта В; 3 — ледянистый лимонно-желтый из гнезда 8-го слоя пласта В; 4 — золотисто-бурый из гнезда 6-го слоя пласта В. Аналитик Г. Н. Рязанцева (Вахрамеева, Чирвинский, 1943).

Карналлит кунгурской толщи Верхнепечорской впадины залегает пластами мощностью 0,5—8 м (Иванов, 1935; Мелкова, 1960). По морфологии зерен, цвету и структуре породы он сходен с карналлитом Верхнекамского месторождения. В породе обычна примесь галита, мономинеральные прослои редки. Преобладают оранжевый, красный и малиновый цвета карналлитовой породы.

Карналлит образует залежи и в солянокупольных структурах Южного Предуралья (Линевской и Буранной в Оренбургской области, Ашебулакской и Жилианской — в Актюбинской). На Жилианском месторождении в разномзернистой карналлитовой породе (буровато-красной и лимонно-желтой) карналлит представлен крупными неправильной формы зернами (до 2 см) и их агрегатами. Зерна карналлита окрашены в желто-красный цвет; имеются редкие бурые сгустки с иглами гетита. Нередки зерна с двойниковым строением (Лобанова, 1960). В Ашебулакском куполе карналлит встречен с галитом, сильвином и полигалитом (Лепешков, 1946).

Новообразования карналлита наблюдались в горных выработках, трещинках и отстойниках шахт Верхнекамского месторождения в виде друз из бесцветных или желтоватых кристаллов до 3 см изометричного или боченковидного габитуса (рис. V.16).

### V.2.5. Бишофит — $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , мон. с. (Bischofite)

Бишофит предполагался в карналлитах Верхнекамского месторождения вследствие избыточного (против формулы карналлита) количества  $MgCl_2$ . Ю. В. Морачевский и Т. Б. Поленова (1939) установили, что содержание  $MgCl_2$  в глинистых прослоях этого месторождения достигает 7%, а также предположили присутствие в них бишофита. В. А. Вахрамеева и П. Н. Чирвинский (1943) указывали вероятность образования бишофита при высыхании глин из карналлитовой толщи. С. М. Кореневским (1957) присутствие бишофита предполагается в Актюбинском Приуралье. Однако реального бишофита никто не наблюдал.

### V.2.6. $CaCl_2$ , ромб. с.

Найден Б. В. Чесноковым летом 1982 г. на горелом терриконе шахты № 45 (г. Копейск) в виде белых пластинчатых кристаллов на кусках горячего (более 100 °С) горельника в жерле фумаролы. Очень гигроскопичен, быстро переходит в бесцветную жидкость, дающую реакции на  $Cl^-$  и  $Ca^{2+}$ . Основной материал собран Б. В. Чесноковым и С. В. Ефремовым летом 1986 г. на том же терриконе, который к тому времени начали разрабатывать. С. В. Ефремовым в осыпях восточного склона террикона были встречены глыбы, покрытые черной и желтой жидкой грязью. При разбивании их вскрывались сухие серо-черные или светло-желтые части, которые за несколько секунд становились мокрыми. Значительное количество еще сухих обломков удалось герметизировать в стеклянной посуде. В ней материал сохранился до настоящего времени.

«Мокрые глыбы» являлись кусками окаменелого дерева, в той или иной степени измененными (исходный состав их карбонатный, чаще доломитовый). Черные, обогащенные сажистым углеродом куски происходили из «черного блока», вскрытого экскаваторным забоем в привершинной части терриконов. Желтые куски попали в осыпь из прогретых частей отвала.

Куски окаменелой древесины были «пропитаны» крупнозернистым белым (серым или черным от примеси углеродистого вещества) агрегатом. Зерна его имеют хорошую спайность, стеклянный блеск и твердость около 1,5—2. Минерал весьма гигроскопичен, легко переходит в бесцветную жидкость, дающую реакции на  $Cl^-$  и  $Ca^{2+}$ . Быстро помещенный в вазелин и в нем растертый дает на дифрактограмме отражения, соответствующие главным отражениям синтетического  $CaCl_2$  (ASTM, 1973). Имеются также отражения продуктов гидратации  $CaCl_2$ : антарктикита  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ , синджарита  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ , а также  $CaCl_2 \cdot 4H_2O$ .

Безводный  $CaCl_2$  в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна является широко распространенным минералом, осо-

бенно в составе «черных блоков» — участков, где исходная отвальная масса была сильно прокалена без доступа воздуха. Поскольку ранее выделенный гидрофилит (предполагаемого состава  $\text{CaCl}_2$ ) был недавно дискредитирован (Кудряшова, 1982), мы считаем нашу находку новым минералом, заслуживающим детального изучения.

### V.2.7. Риннеит — $\text{NaK}_3\text{FeCl}_6$ , триг. с. (Rinneite)

По И. В. Островской (1963), описанные В. А. Вахрамеевой и П. Н. Чирвинским (1943) под именем дугласита мелкие бесцветные кристаллики с восьмиугольным сечением, дающие реакцию на  $\text{Fe}^{2+}$ , включенные в карналлит, возможно могли бы быть риннеитом. Требуется подтверждения.

## V.3. ХЛОРИДЫ ЖЕЛЕЗА, МЕДИ И СВИНЦА

Из минералов этой группы на Урале сейчас известны лавренсит, молизит, серия водных хлоридов железа, железистый кадваладерит, нантоцит, атакамит, параатакамит и котуннит, установленные в зонах окисления колчеданных месторождений восточного склона Урала и в горелых отвалах Челябинского бассейна.

### V.3.1. Лавренсит — $\text{FeCl}_2$ , триг. с. (Lawrensite)

Найден и определен Е. П. Щербаковой летом 1986 г. в площадной хлоридной коре на терриконе шахты № 50 (г. Копейск). Лавренсит слагает нижние, наиболее горячие участки зональной площадной хлоридной коры на северном склоне террикона шахты вместе с серой и нашатырем. Образует тонкие, блестящие, светло-зеленые корочки и прожилки на розовом горельнике. На сухом горячем воздухе постепенно желтеет, переходит в молизит. При соприкосновении с влагой моментально становится красно-коричневым; соединяясь с нашатырем, образует копейскит. Такие измененные с поверхности корочки дают реакции на  $\text{Fe}^{2+}$  с красной кровяной солью (синее окрашивание) и  $\text{Fe}^{3+}$  — с роданидом аммония (красное окрашивание). На их рентгенограммах сохраняются линии лавренсита: 5,84; 3,05; 2,543; 2,082; 1,953, аналогичные ключевым эталонным (ASTM, 1946—1949, 1973). Полностью рентгенограмма лавренсита приведена в табл. V.6. Лавренсит — непосредственный продукт возгонов отвальных фумарол.

### V.3.2. Молизит — $\text{FeCl}_3$ , триг. с. (Molysite)

Найден и предварительно определен Е. П. Щербаковой летом 1986 г. в площадной хлоридной коре на терриконе шахты № 50 (г. Копейск). Является основным компонентом сухих нижних

Таблица V.6

Расчет рентгенограммы лавренсита (1) и синтетического  $\text{FeCl}_2$  (2)

1		2 (ASTM, 1973)		
<i>I</i>	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	<i>I</i>	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	<i>hkl</i>
2	5,84	63	5,9	003
1	3,05	30	3,07	101
1	2,54	100	2,54	104
1	2,32	7	2,32	015
1	2,082	7	2,09	—
1	1,949	13	1,953	009, 107
2	1,799	63	1,800	018, 110
<1	1,727	13	1,721	113
<1	1,638	2	1,633	—
<1	1,554	4	1,553	021
<1	1,472	20	1,467	—
<1	1,430	5	1,421	—

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение; вазелин; линии первичных минералов исходных пород и других фаз-новообразований исключены.

Таблица V.7

Расчет рентгенограммы молизита (1) и синтетического  $\text{FeCl}_3$  (2)

1		2 (ASTM, 1973)		
<i>I</i>	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	<i>I</i>	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	<i>hkl</i>
2	5,90	32	5,9	00,3
<1	5,1	5	5,1	10,1
<1	4,79	6	4,79	—
<1	4,50	3	4,50	01,2
<0,5	3,03	3	3,03	11,0
0,5	2,90	3	2,90	00,6; 01,5
1	2,679	100	2,68	11,3
<1	2,514	2	2,52	20,2
<1	2,402	2	2,40	—
		2	2,23	02,4
1	2,078	40	2,08	11,6; 20,5
<1	2,022	2	2,02	01,8
0,5	1,965	3	1,96	00,9; 21,1
1	1,758	32	1,75	30,0
		6	1,67	20,8
<1	1,638	16	1,63	—
<1	1,462	6	1,46	—
<1	1,340	5	1,34	—
<1	1,302	2	1,30	—

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение; вазелин; линии первичных минералов и других фаз-новообразований исключены.

зон хлоридных сыпучек. Ассоциирует с копейскитом и аммонийрозитом. По-видимому, представляет собой избыток  $\text{FeCl}_3$  сверх стехиометрического, необходимого для соединения с заданным количеством  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и образования копейскита. Молизитсодержащие сыпучки имеют светло-табачный или светло-желтый от примеси аммонийрозита цвет, легко растворяются в воде и дают реакции на  $\text{Cl}$  с нитратом серебра (белый осадок) и  $\text{Fe}^{3+}$  с роданидом аммония (красное окрашивание). Рентгенограмма молизита приведена в табл. V.7. Во влажной среде — в верхних зонах хлоридных сыпучек — молизит размокает и переходит в водные хлориды с различным содержанием воды.

### V.3.3. Водные хлориды железа (Hydrochlorides ferroan)

Водные хлориды  $\text{Fe}^{3+}$  обнаружены Б. В. Чесноковым и Е. П. Щербаковой в 1985—1986 гг. в хлоридных корах на терриконах шахт № 45 и 50 (г. Копейск). Водные хлориды  $\text{Fe}^{3+}$  слагают верхние зоны хлоридных сыпучек. Это табачные, зеленоватые, коричневатые тонкозернистые налеты и «пропитки» на измельченной глинистой матрице, обычно «сыроватые» на вид и на ощупь. Налеты легко растворяются в воде, полученный раствор дает реакции на  $\text{Cl}$  с нитратом серебра (белый осадок) и  $\text{Fe}^{3+}$  с роданидом аммония (красное окрашивание). При нагревании в закрытой трубке окраска практически моментально исчезает, выделяются вода и газ с запахом хлористого водорода.

На кривой ДТА хлоридной сыпучки отмечается пологий эндоэффект в интервале 60—260 °С со слабо разрешающимися максимумами при 130 и 160 °С, связанный, по-видимому, с дегидратацией пробы, и слабый эндоэффект при 305—310 °С, который характеризует кажущийся возгон  $\text{FeCl}_3$ . По ключевым линиям порошкограммы среди водных хлоридов выделяются:  $\text{FeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (5,5; 4,28; 2,75; 2,39; 2,08);  $\text{FeCl}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  (5,08; 4,50; 2,98);  $\text{FeCl}_3 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$  (6,45; 5,5; 4,36; 3,03; 2,88);  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (6,00; 3,14; 2,76). Наиболее часто фиксируются линии  $\text{FeCl}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ , которые, по-видимому, являются наиболее устойчивым водным хлоридом железа в данных условиях. Водные хлориды с большим и меньшим содержанием воды отражают сезонные и суточные изменения ее содержания в окружающей среде.

### V.3.4. Кадваладерит железистый — $\text{Fe}(\text{OH})\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , куб. с. (Cadwaladerite ferroan)

Найден Б. В. Чесноковым летом 1983 г. в хлоридных сыпучках на терриконах шахт № 45 и 50 (г. Копейск). Предварительно определен Е. П. Щербаковой в 1987 г. Минерал образует золотисто-желтые «волоски» и «стебельки» длиной до 1—2 мм, хорошо выделяющиеся в общей массе сухой мелкозернистой сыпучки. Ассоциирует с копейскитом и водными хлоридами  $\text{Fe}^{3+}$ .

Прозрачен, блеск стеклянный, очень хрупок. Весьма гигроскопичен. На открытом влажном воздухе за несколько секунд превращается в капельку желтого раствора. Такая капелька дает реакции на  $\text{Cl}$  с нитратом серебра и  $\text{Fe}^{3+}$  с роданидом аммония. В сухом воздухе устойчив в течение нескольких дней. При нагревании в закрытой трубке выделяет воду. Не содержит  $\text{NH}_4^+$ . Плотность, определенная уравниванием в растворе бромформа с ксилолом,  $1,91 \text{ г/см}^3$ . Оптические свойства: изотропен,  $n=1,680 \pm 0,002$ . В параллельных николях имеет желтый цвет. Порошкограмма по имеющимся рентгенометрическим определителям не расшифровывается. Основные линии на ней: 4,93 (8); 4,27 (10); 2,848 (7). Предварительное индирование дало удовлетворительные результаты при условии примитивности кубической ячейки для 4,93 (111); 4,27 (200); 2,843 (221, 300) и  $a_0 = 8,55 \text{ \AA}$ ;  $V=625,03 \text{ \AA}^3$ ;  $z=4$ ;  $\rho_{\text{выч.}}=1,912 \text{ г/см}^3$ . По-видимому, минерал наиболее близок к кадваладериту  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (?), но вместо  $\text{Al}$  содержит  $\text{Fe}^{3+}$  и имеет другие соотношения  $\text{OH}$ ,  $\text{Cl}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

### V.3.5. Нантокит — $\text{CuCl}$ , куб. с. (Nantokite)

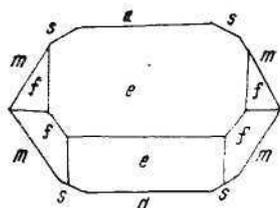
Нантокит установлен Н. А. Читаевой (1973) в Гайском месторождении. По Ю. С. Кобяшеву и Ф. Ф. Борискову (1976), образует прожилки до 6 мм в диабазовых порфиритах с медью, купритом, кварцем, атакамитом и гипсом. Зерна бесцветного водяно-прозрачного нантокита до 3 мм нарастают на медь и куприт и замещаются атакамитом. При выветривании становится зеленоватым. Изотропен,  $n=1,94$ ; твердость 2,5. Дает реакцию на медь (окрашивание пламени) и хлор. Дебаграмма идентична таковой нантокита из Джезказгана.

Найден Т. А. Михаль и Б. В. Чесноковым как продукт изменения куска медного троллейного провода в виде серой мелкозернистой корочки на одном из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Подтвержден порошкограммой,  $a_0=5,416 \text{ \AA}$  (по данным ASTM эталонный нантокит имеет  $a_0=5,416 \text{ \AA}$ ).

### V.3.6. Атакамит — $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ , ромб. с. (Atacamite)

Псевдоморфозы по атакамитам из Турьинских рудников (Ауэрбаховский рудник) были исследованы Розе (Rose, 1837), затем более детально Н. И. Кокшаровым (1872) и Е. С. Федоровым (1911). По Н. И. Кокшарову, это псевдоморфозы по атакамитам, образующие радиально-лучистые друзы с индивидуумами до  $5 \times 1 \text{ см}$ . Кристаллы имеют блестящие грани и сложены тонковолокнистым малахитом, иногда с небольшой полостью (рис. V.17).

Рис. V.17. Псевдоморфозы малахита по кристаллам атакамита из Ауэрбаховского рудника (по Кокшарову, 1872).



Минерал атакамит впервые на Урале описан Л. Д. Герман-Русаковой (1960) в диабазах всячего бока северной линзы Блявинского месторождения, в 20 м от границы с рудами зоны вторичного обогащения в виде ярко-зеленых пленок на куприте и колломорфных образований на пленочках гипса среди диабазов. Образует ярко-зеленые скопления до  $4 \times 5 \times 2,5$  см с трещинками усыхания. Состав, мас. %: Cu 72,87; Cl 14,45;  $H_2O^+$  12,85;  $H_2O^-$  0,47;  $SiO_2$  0,93;  $Al_2O_3$  0,34;  $Fe_2O_3$  0,48; MgO 0,25; CaO 0,27; сумма 102,91. Кристаллохимическая формула  $Cu_{2,00}Cl_{0,89}(OH)_{3,12}$ ,  $n_D = 1,831 \pm 0,004$ ;  $n_G = 1,870 \pm 0,005$ ; плеохроизм от желто-зеленого и бледно-зеленого до травяно-зеленого.

В Гайском месторождении встречается в виде псевдоморфоз по нантокиту или порошковатым корочкам на деляфоссите (Читаева, 1973; Кобяшев, Борисков, 1976). Г. Н. Пшеничный (1975) указывает на присутствие разностей, переходных к коннелиту. Псевдоморфозы малахита по крупным призматическим кристаллам атакамита до  $1 \times 5$  см и лучистым друзам описаны Розе (Rose, 1842) и определены Цефаровичем (Кокшаров, 1872) из зоны окисления Турьинских рудников и Е. С. Федоровым (1911) из Ауэрбаховского рудника.

Широко распространен на горелых отвалах Челябинского угольного бассейна как продукт изменения медных предметов (куски кабелей и проводов, обрезки жести и др.). Образует землистые и плотные корки светло-зеленого цвета. Подтвержден химическими реакциями, термограммами и порошкограммами. Параметры элементарной ячейки (в скобках данные ASTM):  $a_0 = 6,87$  (6,89);  $b_0 = 9,12$  (9,08);  $c_0 = 6,04$  (6,05) Å.

### V.3.7. Паратакамит — $Cu_2Cl(OH)_3$ , триг. с. (Paratacamite)

Указывается Н. А. Читаевой (1973) из зоны окисления Гайского колчеданного месторождения в виде пленок на нантоките, развивающемся по самородной меди и куприту. Диагностические признаки не приводятся. На горелых отвалах Челябинского угольного бассейна установлен в смеси с атакамитом в качестве продукта изменения медных предметов. Параметры элементарной ячейки (в скобках данные ASTM):  $a_0 = 13,74$  (13,68);  $c_0 = 14,02$  (13,98) Å.

### V.3.8. Котуннит — $PbCl_2$ , ромб. с. (Cotunnite)

Найден Б. В. Чесноковым в качестве продукта изменения свинцовой оболочки медного электрокабеля на горелом отвале шахты «Подозерная» (г. Копейск). Определен Б. В. Чесноковым и Т. А. Михаль. Образует на свинце плотную оболочку толщиной до 2 мм. Желтоватый, до бесцветного, черта белая, просвечивает или полупрозрачен, блеск алмазовидный. Твердость 2,5; хрупкий. Излом раковистый. Легкоплавкий, окрашивает пламя в голубоватый цвет (Pb). Порошкограмма соответствует котунниту (ASTM). Главные отражения: 4,047 (26); 3,883 (100); 3,801 (45); 3,567 (84); 2,773 (59); 2,094 (76).

## V.4. ХЛОРИДЫ И БРОМИДЫ СЕРЕБРА

Среди минералов этой группы на Урале установлены хлораргирит, бромаргирит и, возможно, иодаргирит; все — в зоне окисления южноуральских месторождений, содержащих серебряные минералы.

### V.4.1. Хлораргирит — $AgCl$ , куб. с. (Chlorargyrite)

Хлораргирит на Урале впервые указан К. А. Кулибиным (1874, 1876) в Кочкарских рудниках, затем отмечался многими исследователями в зоне окисления южноуральских колчеданных и полиметаллических месторождений в зоне, заливавшейся палеогеновым морем и отличающейся аридным климатом: в кварц-баритовой сыпучке Тубинского и Бакр-Узякского, в кремнисто-гипсовой сыпучке Блявинского месторождения (Заварицкий, 1920; Роговер, 1939; Шадлун, 1948) и др.

В Кочкарском арсенипирит-кварцевом месторождении установлен при разведке Михайловского прииска, в зальбандах верхней окисленной части кварцевой жилы в ассоциации с железными охрами и «мышьяковистыми солями», во всей массе которых «вкраплены зерна и примазки, а изредка и призматические кристаллы хлористого серебра» (Кулибин, 1874). После установления Беком (Beck, 1876) эмболита присутствие здесь хлораргирита ставится под сомнение. Указывается в зоне выщелачивания южноуральских колчеданных месторождений, но без достаточных диагностических признаков. В кварц-баритовой сыпучке Тубинского месторождения констатировано присутствие кераргирита, извлекаемого аммиаком» (Заварицкий, 1920).

А. А. Амирасланов (1937) в аналогичных кварц-баритовых песках Бакр-Узякского колчеданного месторождения встретил в одном образце «роговое серебро» в виде пленки стального серого цвета. В кремнисто-гипсовой сыпучке Блявинского месторождения Г. Б. Роговером (1939) указывается кераргирит в зернах до 0,1—0,2 мм. Более подробно он описан Т. Н. Шадлуном

(1948). Галоиды серебра в зернах до 0,6 мм зеленовато- или серовато-желтоватые, до янтарно-желтых, полупрозрачных; блеск восковидный жирный; твердость очень низкая,  $n=1,854$ ; изотропные. Содержание в сыпучке до 1—2 %, при содержании Ag 0,16—0,65 %.

Пленки хлораргирита установлены Ю. С. Кобяшевым на сульфиды серебра Соколовско-Сарбайского рудника в Южном Зауралье. Отмечается В. И. Силаевым в Комсомольском гудмундитовом проявлении на Полярном Урале. Все находки хлораргирита на Урале требуют подтверждения.

#### V.4.2. Эмболит — Ag(Cl, Br), куб. с. (Embolite)

Эмболит открыт В. В. Беком после установления брома и в одном образце — йода, в открытом К. А. Кулибиным кераргирите в зальбандах кварцевых жилок Михайловского прииска. Галоиды серебра в виде примазок зеленовато-бурого цвета на кварце, неправильных зерен красно-бурого цвета в массе железистой глины и буровато-серых октаэдров размером около 1—2 мм рассеяны в массе глины. Минерал очень мягкий, просвечивает буровато-красным и темным изумрудно-зеленым цветом (Еремеев, 1876). По анализам В. В. Бека, минерал отвечает эмболиту: Ag 63,35; Cl 8,21; Br 28,44; сумма 100 мас.%. Кристаллохимическая формула  $Ag_{1,00}Cl_{0,39}Br_{0,61}$ . В ассоциации с ним отмечаются серебро и медная зелень.

Эмболит указывается Т. Н. Шадлун (1948) в гипсово-кварцевой сыпучке Блявинского рудника. В сыпучке установлено до 0,65 % Ag и до 0,20 % Cl+Br+J, однако диагностические признаки недостаточны. Встречен Ю. С. Кобяшевым (личное сообщение) в виде пленок на сульфиды и арсениды серебра Соколовско-Сарбайского рудника в Зауралье.

#### V.4.3. Бромаргирит — AgBr, куб. с. (Bromargyrite)

Указывается Т. Н. Шадлун в 1948 г. в зоне окисления Блявинского месторождения, однако его диагностические признаки недостаточны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амирасланов А. А. Минералогическая характеристика колчеданных месторождений Урала и вторичные процессы в них. М.: ВИМС, 1937.
- Аполлонов В. Н. Аммоний в сильвине Верхнекамского месторождения // Докл. АН СССР. 1976. Т. 231, № 3. С. 709—710.
- Бахвалова О. Н. Соляные месторождения Урала // Соляные месторождения европейской части СССР. М.: Гостеолтехиздат, 1945.
- Бурковская Е. Г. К геологии Жилинского месторождения калийных солей в Актюбинском Приуралье // Вопросы геологии агрономических руд. М., 1956. С. 218—221.
- Вахрамеева В. А. О генезисе пестрых сильвинитов Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1954. Вып. 29. С. 129—142.

Вахрамеева В. А., Горкун О. П. Петрографическое описание пород подсолевой толщи и нижней каменной соли Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1960. Вып. 40. С. 371—391.

Вахрамеева В. А., Чирвинский П. Н. Минералогическая характеристика соликамского карналлита // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1943. № 3—4. С. 213—223.

Герасимова В. В. Геологическое строение, литология и условия формирования соленосной толщи Яр-Бишкадака // Тр. ВНИИГ, 1956. Т. 32. С. 339—367.

Герман-Русакова Л. Д. Некоторые минералы зоны окисления Блявинского месторождения // Кора выветривания. М., 1960. Вып. 3. С. 117—145.

Гмелин И. Г., Ломоносов М. В. Минеральный каталог (1743—1745 гг.) // М. В. Ломоносов. Полное собрание сочинений. М.; Л., 1954. Т. 5. С. 7—233.

Дзенс-Литовский А. Е. Геологическое строение и структура Илецкого соляного купола // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1942. № 5, 6. С. 83—102.

Дзенс-Литовский А. Е. Геология дна минеральных озер СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1945. № 6. С. 111—132.

Дубинина В. Н. Галит из Верхнекамского месторождения // Докл. АН СССР. 1951а. Т. 79, № 5. С. 859—862.

Дубинина В. Н. К вопросу о генезисе сильвина // Докл. АН СССР. 1951б. Т. 80, № 2. С. 233—236.

Дубинина В. Н. К минералогии и петрографии Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1954. Вып. 29. С. 3—128.

Дубинина В. Н. О красной окраске минералов соляных пород (сильвина, карналлита и др.) на примере Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1969. Вып. 54. С. 124—133.

Еремеев П. В. Заседание 22 января 1875 г. (§ 67) // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1876. Вып. 2. С. 352—353.

Заварицкий А. Н. Таналькско-Баймакский меднорудный район // Горное дело. М., 1920. Т. 1. С. 3—38.

Иванов А. А. Верхнекамское месторождение калийных солей. М.; Л., 1932.

Иванов А. А. К вопросу о генезисе сильвинитов Верхнекамского месторождения калийных солей // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1932. № 2. С. 343—357.

Иванов А. А. Карналлиты Верхнекамского месторождения // Соликамские карналлиты. М., 1935. С. 3—12.

Иванов А. А. Илецкое месторождение каменной соли // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1939. Ч. 68, вып. 1. С. 69—98.

Иванов А. А. О пестрых сильвинитах Верхнекамского месторождения // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1963. Вып. 99. С. 153—180.

Иванов А. А., Воронова М. Л. Геология Верхнепечорского соленосного бассейна и его калиеносность // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1968. Вып. 161. С. 3—79.

Иванов А. А., Воронова М. Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: ВСЕГЕИ, 1975.

Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений СССР. Л.: ВСЕГЕИ, 1960.

Иванов А. А., Морачевский Ю. В. Воспоминания о П. И. Преображенском // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1955. Ч. 84, вып. 1. С. 63—68.

Клевцов П. В., Леммлейн Г. П. Определение условий образования кварца с Южного Урала по жидким включениям CO<sub>2</sub> и водного раствора соли // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1958. Ч. 87, вып. 2. С. 159—165.

Кобяшев Ю. С., Борисков Ф. Ф. Нантоцит с Гайского месторождения // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1976. С. 103.

Кокшаров Н. И. О ложных кристаллах малахита Турьинских медных рудников, Богословского горного округа на Урале // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1872. Ч. 7. С. 311—315.

Кореневский С. М. О фациях, калиеносности и бороносности гало-

тенного кунгура Прикаспийской низменности Актюбинского, Чкаловского и Башкирского Приуралья // Докл. АН СССР. 1957. Т. 116, № 3. С. 474—477.

Кореневский С. М., Воронова М. Л. Геология и условия формирования калийных месторождений Прикаспийской синеклизы и Южно-Предуральяского прогиба. М.: Недра, 1966.

Кудряшова В. И. Новые минералы. Обзор 25 // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1982. Ч. III, вып. 2. С. 226—246.

Курнаков Н. С. О нахождении калиевого минерала — хлористого калия или сильвина в России // Изв. Рос. Акад. Наук. 1916. С. 1411—1412.

Кулибин К. А. Месторождение серебряной руды в Оренбургской губернии // Горн. журн. 1874. Ч. 4. С. 281.

Кулибин К. А. Засед. 11 февр. 1875 г. (§ 20) // Зап. Императ. минерал. о-ва. 1876. Ч. 11. С. 310.

Лепешков И. Н. Калийные соли Волго-Эмбы и Прикарпатья. М.: Изд-во АН СССР, 1946.

Литвиненко В. А. К петрографической характеристике Яр-Бишкадакского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1954. Вып. 29. С. 168—175.

Лобанова В. В. Петрографо-минералогическая характеристика калийных горизонтов Жилинского месторождения // Тр. ВНИИГ. 1960. Вып. 40. С. 137—156.

Мелкова Н. В. К петрографии зоны калийно-магниевого солей Верхнепечорского месторождения (по разрезу скв. 1012) // Тр. ВНИИГ. 1960. Вып. 54. С. 80—107.

Милованов. Новоусольские и Ленвенские соляные промыслы // Горн. журн. 1856. Т. 1, кн. 1. С. 1—12.

Минералы: Справочник. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Т. 2, вып. 1.

Михайлов. Описание Илецкого соляного промысла // Горн. журн. 1841. Т. 1, кн. 2. С. 95.

Морачевский Ю. В. О химическом составе соликамских отложений // Изв. Ин-та физ.-хим. анализа АН СССР. 1930. Т. 4, вып. 2. С. 113—132.

Морачевский Ю. В., Безденежных А. Г., Тихомирова М. М. Очерки геохимии Верхнекамских соляных отложений // Тр. ВНИИГ. 1939. Вып. 17. С. 35—43.

Морачевский Ю. В., Поленова Т. Б. Бессульфатность верхнекамских соляных отложений // Очерки геохимии Верхнекамских соляных отложений. Л., 1939. С. 3—34.

Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мнр, 1966.

Об илецких соляных коях // Горный журн. 1828. Т. 1, кн. 3. С. 111.

Островская И. В. Дугласит // Минералы, М., 1963. Т. 2, вып. 1. С. 268.

Паллас П. С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. Спб., 1773. Ч. 1; 1786. Ч. 2.

Преображенский П. И. Открытие калийных солей в районе г. Соликамска // Вестн. Геол. комитета. 1925. № 1. С. 9—11.

Пшеничный Г. Н. Гайское колчеданное месторождение. М.: Наука, 1975.

Разумовская Е. Э. Причина и характер красной окраски калийных соединений Соликамского месторождения // Материалы общей и прикладной геологии. 1927. Вып. 105. С. 61—74.

Разумовская Е. Э. Описание соленосной толщи Соликамского месторождения. М.; Л.: Всесоюз. геол.-развед. объедин. НКТП, 1931.

Роговер Г. Б. Медноколчеданное месторождение Блява. М.: ГОНТИ, 1939.

Рычков П. И. Топография Оренбургская, т. е. обстоятельное описание Оренбургской губернии. Спб., 1762. Т. 1, 2.

Семенов В. В. Селенит. Свердловск: Средне-Урал. кн. изд-во, 1984. Свойства неорганических соединений: Справочник. Л.: Химия, 1983.

Суставов С. Г. Аммонийсодержащие минералы из отвалов Копейского

месторождения бурых углей // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск, 1985. С. 59—64.

Федоров Е. С. Псевдоморфоза малахита по атакамиту из Богословского горного округа // Зап. Горн. ин-та. 1911. Т. 3, вып. 2. С. 158.

Ходьков А. Е. О происхождении замещенных зон на Верхнекамском месторождении // Тр. НИИГалургии. 1956. Вып. 32. С. 314.

Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П., Михаль Т. А., Дерябина Т. Н. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987.

Чесноков Б. В., Михаль Т. А., Дерябина Т. Н. Типы техногенной минерализации отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск, 1985. С. 47—58.

Чирвинский П. Н. Заметка о синей каменной соли Соликамского месторождения // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1943. Ч. 72, вып. 1. С. 51—55.

Чирвинский П. Н. Загадка окраски синей соли // Изв. Естеств. науч. ин-та при Пермском ун-те. 1948. Т. 1, вып. 5. С. 211—223.

Читаева Н. А. Делафоссит в зоне гипергенеза Гайского колчеданного месторождения // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1973. Ч. 102, вып. 2. С. 207—211.

Шадлун Т. Н. Минералогия зоны окисления колчеданного месторождения Блява на Южном Урале. М.: Изд-во АН СССР, 1948.

Ячевский Л. А. О некоторых термических наблюдениях в Илецкой Шахте // Горн. журн. 1914. Март. С. 315—334.

Юшкин Н. П. Опыт среднemasштабной топоминералогии. Л.: Наука, 1980.

Юшкин Н. П., Иванов О. К., Попов В. А. Введение в топоминералогию Урала. М.: Наука, 1986. 295 с.

ASTM. Diffraction data cards and grouped numerical index of X-ray diffraction data. Philadelphia, 1946—1969.

ASTM. Powder diffraction file search manual Inorganic. Swarthmore, Pennsylvania, 1973.

Beck W. W. Über eine neue entdeckte Lagerstätte von Silber-Erzen im Troitzkei Bezirk des Gouvernment Orenburg // Neues Jb. Miner. 1876. S. 162—170.

Lindqvist I. The structure of  $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5\text{H}_2\text{O}$  // Ark. Kemi, min. geol. 1947. Vol. 24A, N 1. P. 1—11.

Rose G. Mineralogische-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere. Berlin, 1837. Bd 1; 1842. Bd 2.

## УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Авогадрит	140	Джулукулит	23
Акташит	53	Джулукулит сурьмянистый	24
Алексит	117	Диафорит	69
Алтаит	114	Дискразит	67
Андорит	70	Дугласит	197
Анимикит	67		
Антарктикит	196	Жозеит-А	126
Атакамит	200	Жозеит-В	128
Атенеит	57		
Аргентотетраэдрит цинкистый	51		
Арсенопирит	4	Зелигманнит	51
Ауростибит	52		
		Изомертиит	60
Бенлеонардит	113		
Бертьерит	15	Ингодит	131
Берцелианит	138	Иорданит	73
Бишофит	196	Ирарсит	58
Боровскит	105	Ирарскит платино-родиевый	60
Брейтгауцит	34	Иридарсенит	64
Бромаргирит	203		
Буланжерит	76	Кадваладерит железистый	199
Бурнонит	81	Калаверит	106
		Карналлит	191
Веберит	167	Кераргирит	202
Веенит	76	Клаусталит	138
Вейссит	105	Кобальтин	20
Верлит	125	Кобальтин никелистый	23
Виллиомит	140	Кобеллит	85
Водные хлориды железа	199	Колорадоит	120
Вольнскит	113	Коннелит	201
Вулканиит	106	Копейскит	177
		Котуннит	202
Галит	183	Креннерит	107
Геарксунит	170	Криолит	159
Геверсит	60	Криолитионит	163
Геокронит	76	Крукесит	138
Герсдорфит	28	Купростибит	52
Герстлиит	3		
Гессит	110	Лавренсит	197
Гетероморфит	78	Лёллингит	3
Гидрогалит	188	Ливингстонит	71
Гидрофиллит	197	Люционит	37
Глаукокодот	17	Люционит сурьмянистый	37
Гуанахуатит	138		
Гудмундит	13		
		Майченерит	104
Джемсонит	83	Маухерит	24
Джемсонит висмутовый	85		

Мелонит	100	Теллурид Вi и Pd	124
Менегинит	80	Теллурид палладия	104
Меренский	102	Теллуровисмутит	122
Мертнит	60	Теллурозжозит (жозеит-В)	128
Молизит	197	Теннантит	38
		Тетрадимит	132
Нагиагит	107	Тетраэдрит	38
Нангокит	200	Тетраэдрит ртутистый	51
Нашатырь	175	Толокнит	65
Нейборит	140	Томсенолит	165
Никелин	25		
		Ульманнит	34
Овихит	70		
		Фаматинит	52
Паратакамит	201	Ферручит	140
Пахнолит	164	Флюорит	144
Петцит	110	Франкеит	87
Пираргирит	66	Фрейбергит	70
Пирсеит	66	Фробергит	96
Пирсеит сурьмянистый	67	Фторид-хлорид кальция	155
Плагионит	80	Фюлеппит	78
Полибазит	66		
Полибазит мышьяковистый	67	Халькостибит	53
Прозопит	169	Хедлинг	125
Протожозеит	128	Хнолит	161
Прустит	65	Хлоантит	28
Прустит медный	66	Хлораргирит	202
		Ходневит	161
		Холлингвортит	58
		Цинкенит	80
Раклиджит	115		
Ральстонит	169	Цумонт	126
Раммельсбергит	28		
Ратовкит	154	Швацит	73
Редикорцевит	176	Штютцит	114
Риккардит	105		
Риннеит	197	Эвкайрит	138
Рорисит	155	Эльпасолит	158
Рутенарсенит	64	Эмболит	203
Рутьерит	71	Эмпрессит	112
		Энарцит	36
Саффорит	18		
Сахароваит	85		
Селлаит	141	<b>Незванные минералы</b>	
Семсейит	78	Ag <sub>3</sub> TeS	113
Сильванит	108	Bi <sub>7</sub> Te <sub>2</sub> S	134
Сильвин	188	Bi <sub>3</sub> TeS <sub>2</sub> (?)	131
Синджарит	196	Bi <sub>5</sub> Te <sub>5</sub> S <sub>2</sub>	132
Скуттерудит	18	CaCl <sub>2</sub>	196
Смальтин	19	CaCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	196
Сперрилит	55	(Cu, Co)Te <sub>2</sub>	97
Стефанит	69	FeCl <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	199
Стибиолоционит	37	FeCl <sub>3</sub> ·2,5H <sub>2</sub> O	199
Стибиопалладинит	63	FeCl <sub>3</sub> ·3,5H <sub>2</sub> O	199
Стибиопирсеит	67	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	199
Стиллуотерит	57	Pd—Ag—Te фаза	104
Стистаит	89	Pd <sub>2</sub> Bi(Te, Sb)	105
Сульфожозеит (жозеит-А)	126	Pd(Te <sub>1+x</sub> )	104
Сульфохеддингит	125	Теллурид Вi и Pb	124
Сульфоцумонт	126		

## INDEX OF MINERALS

Aleksite	117	Enargite	36
Altaite	114	Empressite	112
Aktashite	53	Eukairite	138
Andorite	70		
Animikite	67	Famatinitite	52
Antarcticite	196	Ferric hydrochloride	199
Argentetrahedrite zinkian	51	Ferucite	140
Arsenopyrite	4	Fluorite	144
Atacamite	200	Franckeite	87
Atheneite	57	Freibergite	70
Aurostibite	52	Frohbergite	96
Avogadrite	140		
		Gearksutite	170
Benleonardite	113	Geocronite	76
Berthierite	15	Gerstleyite	3
Berzelianite	138	Gersdorffite	28
Bishofite	196	Geversite	60
Borovskite	105	Glaucodot	17
Boulangerite	78	Guanohuaitite	138
Bournonite	81	Gudmundite	13
Breithauptite	34		
Bromargyrite	203	Halite	183
		Hedleyite	125
Calaverite	106	Hessite	110
Cadwaladerite ferroan	199	Heteromorphite	78
Calcium fluoride-chloride	155	Hollingworthite	58
Carnallite	191	Hydrochlorides ferroan	199
Chalcostibite	53	Hydrohalite	188
Chiolite	161	Hydrophilite	197
Chloanthite	28		
Chlorargyrite	202	Ingodite	131
Chodnevite	161	Iordanite	73
Clausthalite	138	Irarsite	58
Cobaltine	20	Iridarsenite	64
Coloradoite	120	Isomertieite	60
Connellite	201		
Cotunnite	202	Jamesonite	83
Crucesite	138	Jamesonite bismuthoan	85
Cryolite	159	Joseite-A	126
Cryolithionite	163	Joseite-B	128
Cuprostibite	52		
		Kobellite	85
Diaphorite	69	Kopeiskite	177
Dyscrasite	67	Krennerite	107
Elpasolite	158		
Embolite	203		



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>I. Арсениды, стибниды, сульфоарсениды и сульфостибниды</b>	
I.1. Арсениды и стибниды щелочных металлов . . . . .	3
I.1.1. Герстлянит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	3
I.2. Арсениды и стибниды железа и кобальта . . . . .	3
I.2.1. Лёллинит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	3
I.2.2. Арсенопирит ( <i>С. Г. Суставов, В. В. Мурзин, О. К. Иванов, Д. Н. Литошко</i> ) . . . . .	4
I.2.3. Гудмундит ( <i>В. И. Силаев, О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	13
I.2.4. Бертьерит ( <i>С. Г. Суставов, В. В. Мурзин, О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	15
I.2.5. Глаукоцит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	17
I.2.6. Сафлорит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	18
I.2.7. Скуттерудит ( <i>Т. И. Широкова, О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	18
I.2.8. Смальтин ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	19
I.2.9. Кобальтин ( <i>О. К. Иванов, Д. Н. Литошко, Е. В. Бурлаков</i> ) . . . . .	20
I.3. Арсениды и стибниды никеля . . . . .	24
I.3.1. Маухерит ( <i>В. В. Мурзин, О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	24
I.3.2. Никелин ( <i>О. К. Иванов, В. В. Мурзин, Д. Н. Литошко</i> ) . . . . .	25
I.3.3. Раммельсбергит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	28
I.3.4. Хлоантит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	28
I.3.5. Герсдорфит ( <i>Р. О. Берзон, В. И. Кайнов, В. Д. Тихомирова, О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	28
I.3.6. Брейтгаунтит ( <i>Е. В. Бурлаков, С. Г. Суставов, О. А. Яковлева, О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	34
I.3.7. Ульманнит ( <i>О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	34
I.4. Арсениды, стибниды, сульфоарсениды и сульфостибниды меди и золота . . . . .	36
I.4.1. Энаргит ( <i>А. П. Бахтина</i> ) . . . . .	36
I.4.2. Люционит ( <i>О. М. Коптелова, О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	37
I.4.3. Теннантит — тетраэдрит ( <i>А. П. Бахтина, В. В. Мурзин, Д. Н. Литошко</i> ) . . . . .	38
I.4.4. Зелигманнит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	51
I.4.5. Купростибит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	52
I.4.6. Ауростибит ( <i>О. А. Яковлева</i> ) . . . . .	52
I.4.7. Фаматинит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	52
I.4.8. Халькостибит ( <i>Т. И. Широкова</i> ) . . . . .	53
I.4.9. Акташит ( <i>В. В. Мурзин</i> ) . . . . .	53
I.5. Арсениды, стибниды и сульфоарсениды платиноидов . . . . .	55
I.5.1. Сперрилит ( <i>В. Д. Бегизов, Е. Н. Завьялов</i> ) . . . . .	55
I.5.2. Стиллоутерит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	57
I.5.3. Атениит ( <i>А. А. Малюгин</i> ) . . . . .	57
I.5.4. Холлингвортит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	58
I.5.5. Ирарсит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	58
I.5.6. Геверсит ( <i>О. К. Иванов</i> ) . . . . .	60
I.5.7. Мертинит ( <i>А. А. Малюгин</i> ) . . . . .	60
I.5.8. Изомертнит ( <i>А. А. Малюгин</i> ) . . . . .	60
I.5.9. Стийнопалладинит ( <i>О. К. Иванов, А. А. Малюгин</i> ) . . . . .	63
I.5.10. Рутенарсенит ( <i>В. Д. Бегизов</i> ) . . . . .	64
I.5.11. Иридарсенит ( <i>В. Д. Бегизов</i> ) . . . . .	64
I.5.12. Толовкит ( <i>В. Д. Бегизов</i> ) . . . . .	65
I.6. Арсениды, стибниды, сульфоарсениды и сульфостибниды серебра, свинца и ртути . . . . .	65
I.6.1. Прустит ( <i>О. М. Коптелова</i> ) . . . . .	65

1.6.2. Пираргирит (О. К. Иванов)	66
1.6.3. Пирсеит (О. А. Яковлева)	66
1.6.4. Полибазит (О. А. Яковлева)	67
1.6.5. Анимикит (О. А. Яковлева)	67
1.6.6. Дискразит (Т. И. Широбокова, О. А. Яковлева)	67
1.6.7. Стефанит (Т. И. Широбокова)	69
1.6.8. Диафорит (О. А. Яковлева)	69
1.6.9. Овихит (О. А. Яковлева)	70
1.6.10. Андорит (Р. С. Куруленко)	70
1.6.11. Фрейбергит (О. А. Яковлева)	70
1.6.12. Ливингстонит (О. К. Иванов)	71
1.6.13. Рутьерит (В. В. Мурзин, В. Г. Суставов)	71
1.6.14. Швацит (О. А. Яковлева)	73
1.7. Сульфоарсениды и сульфостибниды свинца с медью, железом и оловом	73
1.7.1. Иорданит (Т. И. Широбокова, В. О. Поляков)	73
1.7.2. Веенит (Т. И. Широбокова)	76
1.7.3. Геокронит (О. М. Коптелова, О. А. Яковлева)	76
1.7.4. Семсейит — гетероморфит (О. А. Яковлева)	78
1.7.5. Буланжерит (Е. В. Бурлаков, О. А. Яковлева, О. М. Коптелова)	78
1.7.6. Плагнионит (О. К. Иванов)	80
1.7.7. Цинкениит (В. И. Силаев, О. А. Яковлева)	80
1.7.8. Менегинит (Т. И. Широбокова, Е. В. Бурлаков)	80
1.7.9. Бурнонит (О. М. Коптелова, В. И. Силаев, О. А. Яковлева)	81
1.7.10. Джемсонит (О. К. Иванов)	83
1.7.11. Висмутовый джемсонит — сахарованит (О. А. Яковлева)	85
1.7.12. Кобеллит (В. И. Кайнов)	85
1.7.13. Франкеит (О. К. Иванов)	87
1.7.14. Стистаит (О. М. Коптелова)	89
Список литературы	90

## II. Теллуриды

II.1. Теллуриды железа, никеля и кобальта	96
II.1.1. Фробергит (В. В. Мурзин, В. Ф. Рябинин)	96
II.1.2. (Cu, Co)Te <sub>2</sub> (В. В. Мурзин, В. П. Молошаг)	97
II.1.3. Мелонит (В. В. Мурзин)	100
II.2. Теллуриды платины и палладия	102
II.2.1. Меренскиит (В. В. Мурзин, В. П. Молошаг)	102
II.2.2. Теллурид палладия (О. К. Иванов)	104
II.2.3. Майченерит (О. К. Иванов)	104
II.2.4. Pd — Ag — Te фаза (О. К. Иванов)	104
II.2.5. Боровскиит (О. К. Иванов)	105
II.2.6. Pd <sub>2</sub> Bi(Te, Sb) (О. К. Иванов)	105
II.3. Теллуриды меди	105
II.3.1. Риккардит (О. К. Иванов)	105
II.3.2. Вейссит (О. К. Иванов)	105
II.3.3. Вулканит (О. К. Иванов)	106
II.4. Теллуриды золота и серебра	106
II.4.1. Калаверит (О. К. Иванов)	106
II.4.2. Нагиагит (Д. Н. Литошко)	107
II.4.3. Креннерит (О. К. Иванов)	107
II.4.4. Сильванит (О. К. Иванов)	108
II.4.5. Петцит (О. К. Иванов, Т. И. Широбокова)	110
II.4.6. Гессит (О. К. Иванов)	110
II.4.7. Эмпрессит (О. К. Иванов)	112
II.4.8. Вольтскиит (О. К. Иванов)	113
II.4.9. Ag <sub>3</sub> TeS (О. К. Иванов)	113

II.4.10. Бенлеонардит (В. В. Мурзин)	113
II.4.11. Штютцит (О. А. Яковлева)	114
II.5. Теллуриды свинца, висмута и ртути	114
II.5.1. Алтаит (О. К. Иванов, Д. Н. Литошко)	114
II.5.2. Раклиджит (Е. Н. Завьялов, В. Д. Бегизов, О. К. Иванов)	115
II.5.3. Алексит (А. В. Калиновский, О. А. Яковлева, В. В. Рожкова, Д. Н. Литошко)	117
II.5.4. Колорадоит (В. В. Мурзин)	120
II.6. Теллуриды и сульфотеллуриды висмута	122
II.6.1. Теллуровисмутит (О. К. Иванов)	122
II.6.2. Верлит (Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева)	125
II.6.3. Хедлнит (Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева)	125
II.6.4. Сульфохедлнит (Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева)	125
II.6.5. Цумоит (Д. Н. Литошко)	126
II.6.6. Сульфоцумоит (Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева)	126
II.6.7. Сульфожозеит (жозеит-А) (Е. Н. Завьялов, Д. Н. Литошко, В. Д. Бегизов)	126
II.6.8. Протожозеит (Е. Н. Завьялов, В. Д. Бегизов, Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева)	128
II.6.9. Теллурожозеит (жозеит-В) (Е. Н. Завьялов, В. Д. Бегизов, Д. Н. Литошко)	128
II.6.10. Ингодит (Д. Н. Литошко, О. А. Яковлева, О. К. Иванов)	131
II.6.11. $\text{Bi}_3\text{TeS}_2$ (О. А. Яковлева)	131
II.6.12. $\text{Bi}_5\text{Te}_3\text{S}_2$ (О. А. Яковлева)	132
II.6.13. Тетрадимит (О. К. Иванов, Е. Н. Завьялов, В. Д. Бегизов)	132
II.6.14. $\text{Bi}_7\text{Te}_5\text{S}$ (О. А. Яковлева)	134
Список литературы	134

### III. Селениды

III.1. Берцелианит (О. М. Коптелова)	138
III.2. Крукесит (Р. С. Куруленко)	138
III.3. Клаусталит (О. К. Иванов)	138
III.4. Гуанахуатит (А. С. Таланцев)	138
III.5. Эвкайрит (Т. И. Широкова)	138
Список литературы	139

### IV. Фториды

IV.1. Простые фториды	140
IV.1.1. Ферручит — авогардит (О. К. Иванов)	140
IV.1.2. Виллиомит (О. К. Иванов)	140
IV.1.3. Нейборит (О. К. Иванов)	140
IV.1.4. Селлаит (Е. В. Настасенко, Б. В. Чесноков, М. М. Сомов, Т. П. Нишанбаев)	141
IV.1.5. Флюорит (А. Ф. Кунц, Н. П. Юшкин)	144
IV.1.6. Фторид-хлорид кальция (Б. В. Чесноков, Т. П. Нишанбаев)	155
IV.2. Фторалюминаты	157
IV.2.1. Эльпасолит (В. О. Поляков)	158
IV.2.2. Криолит (В. О. Поляков)	159
IV.2.3. Хиолит (В. О. Поляков)	161
IV.2.4. Криолитионит (В. О. Поляков)	163
IV.2.5. Пахнолит (В. О. Поляков)	164
IV.2.6. Томсенолит (В. О. Поляков)	165
IV.2.7. Веберит (В. О. Поляков)	167
IV.2.8. Ральстонит (В. О. Поляков)	169
IV.2.9. Прозонит (В. О. Поляков)	169

IV.2.10. Геарксутит (В. О. Поляков)	170
Список литературы	172

### V. Хлориды, бромиды

V.1. Хлориды аммония	175
V.1.1. Нашатырь (С. Г. Сустанов)	175
V.1.2. Редикорцевит (Б. В. Чесноков)	176
V.1.3. Копейскит (Б. В. Чесноков)	177
V.2. Хлориды натрия, калия и магния	183
V.2.1. Галит (С. М. Корневский, С. А. Филиппов)	183
V.2.2. Гидрогалит (О. К. Иванов)	188
V.2.3. Сильвин (С. М. Корневский)	188
V.2.4. Карналлит (С. М. Корневский)	191
V.2.5. Бишофит (О. К. Иванов)	196
V.2.6. $\text{CaCl}_2$ (Б. В. Чесноков)	196
V.2.7. Риннеит (О. К. Иванов)	197
V.3. Хлориды железа, меди и свинца	197
V.3.1. Лавренсит (Е. П. Щербакова)	197
V.3.2. Молизит (Е. П. Щербакова)	197
V.3.3. Водные хлориды железа (Е. П. Щербакова)	199
V.3.4. Кадвалдерит железистый (Е. П. Щербакова)	199
V.3.5. Нантокит (Т. А. Михаль, Б. В. Чесноков, О. К. Иванов)	200
V.3.6. Атакамит (О. К. Иванов, Б. В. Чесноков, Т. А. Михаль)	200
V.3.7. Параатакамит (Т. А. Михаль, Б. В. Чесноков)	201
V.3.8. Котуннит (Т. А. Михаль, Б. В. Чесноков)	202
V.4. Хлориды и бромиды серебра	202
V.4.1. Хлораргирит (О. К. Иванов)	202
V.4.2. Эмболит (О. К. Иванов)	203
V.4.3. Бромаргирит (О. М. Колтелова)	203
Список литературы	203
Указатель минералов	207
Index of minerals	209

## МИНЕРАЛОГИЯ УРАЛА

АРСЕНИДЫ И СТИВНИДЫ. ТЕЛЛУРИДЫ.  
СЕЛЕНИДЫ. ФТОРИДЫ. ХЛОРИДЫ И БРОМИДЫ

*Рекомендовано к изданию  
Ученым советом Института минералогии  
и НИСО Уральского отделения АН СССР  
по плану выпуска 1991 г.*

Редактор **В. Е. Каюкова**  
Художник **М. Н. Гарипов**  
Технический редактор **Н. Р. Рабинович**  
Корректор **Г. К. Лохисва**

---

НИСО № 200(88)—1648. Сдано в набор 29.03.90. Подпи-  
сано в печать 10.06.91. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типо-  
графская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 15. Тираж 1000. Заказ № 113.  
Цена 3 р. 60 к.

---

456301, Миасс, Челябинская обл.  
Ильменский государственный заповедник.  
Типография изд-ва «Уральский рабочий».  
Свердловск, пр. Ленина, 49.