


М. Н. ШОРТ

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ



ОНТИ НКТП СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

1934

М. Н. ШОРТ

1:553:621,92

553.1/2

ш 92

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО А. И. ЯКОВЛЕВА
ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФ. И. Ф. ГРИГОРЬЕВА



ОНИ НКТП СССР 1984

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА □ ЛЕНИНГРАД □ НОВОСИБИРСК



ГР-65-5-2(4)
Прот. ГРК 98

Отв. ред. проф. И. Ф. Григорьев

Техн. ред. Г. Г. Поргин

Слано в производство 16/IV 1933 г.
Подписано к печати 5/1 1934 г.
В п. л. 48 т. зн.

Объем 12½ л.
Статформ. 62 × 841/16
Изд. № 17

Уполн. Главл. № В-60523

Заказ № 538.

Тираж 4 000

Типография Профиздата. Москва, Крутицкий вал, д. 18

Типография проф.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	5
-----------------------	---

Часть I. Микроскопическая техника

Введение	7
Металлографический микроскоп	9
Монтировка шлифа	13
Монтировка на пластелине	13
Монтировка в медную оправу	13
Печь для нагрева	15
Полировка образцов	15
Процесс полировки в Геологическом комитете САСШ	16
Процедура	16
Общие замечания	19
Пронитывание образцов	20
Процесс полировки в Харвардском университете	21
Процесс полировки в Миннесотском университете	22
Фотографирование шлифов	22
Микрофотографическая камера	22
Световые фильтры	27
Формула экспозиции	30
Проявление и печатание	31
Литература	32

Часть II. Физические свойства

Цвет	33
Твердость	39
Исследование непрозрачных минералов в поляризованном свете	42
Сущность метода	42
Литература	43
Аппаратура	43
Подробности метода	45
Методы наблюдения	48
Установка инструмента	49
Источники ошибок	50
Электропроводность	51

Часть III. Реакция травления и определительные таблицы

Реакции травления	52
Определительные таблицы	60
Введение	60
Указатель	62
Схема определительной таблицы	66
Мягкие минералы	73
Твердые минералы	99
Билентальские минералы	105
Минералы оспариваемые и сомнительные	106
Указатель минералов, классифицированных по элементам	107

Часть IV. Микрохимические методы

Введение	114
Процедура и аппаратура	115
Собирание материала	117
Стеклоплавильные пластинки	118
Микрогелевка	119
Реактивы	120
Капиллярные трубки	120
Методы испытательной практики	121
Чувствительность микрохимических испытаний	124
Реактивы	126
Подробности испытаний	127
Цинк	127
Медь	130
Никель	132
Кобальт	133
Железо	137
Ртуть	140
Свинец	141
Серебро	145
Золото	150
Мышьяк	152
Сурьма и висмут	156
Олово	160
Теллур	162
Селен	163
Марганец	165
Сера	166
Систематический ход микрохимического анализа	170
Твердые минералы	171
Мягкие минералы	173
Специальные испытания для минералов	175
Указатель	197

Предисловие

Развитие и усовершенствование методов определения рудных минералов и соби́рание данных относительно этих минералов были предметом занятий автора настоящей книги в течение более чем четырех лет. Большая часть этой работы проделывалась в лабораториях U. S. Geological Survey (Геологический комитет США) с перерывом от сентября 1927 до июля 1928 г., когда автор состоял лектором прикладной геологии в Харвардском университете и работа его шла на средства Харвардской лаборатории прикладной геологии.

Едва ли возможно воздать должное всем, кто содействовал осуществлению настоящего труда. Особую признательность автор желает засвидетельствовать своему бывшему учителю профессору Грейтону (L. C. Graton), впервые заинтересовавшему его в предмете и во многих случаях помогавшему ему своими советами при разрешении встречавшихся трудностей. Проф. Грейтон предоставил в распоряжение автора комплект рудных минералов Мордока (Murdoch), переданный на хранение в Харвардскую лабораторию прикладной геологии.

Много помогли автору его бывшие слушатели доктора Фрэзер и Поуерс (H. J. Freser и H. A. Powers), сообщившие ценные новые данные и содействовавшие ему советами и критическими замечаниями.

Доктор Фошег (William F. Foshag), хранитель отдела минералогии Национального музея США, многократно содействовал автору в его усилиях добыть подлинные образцы рудных минералов. Фактически весь подбор минеральных образцов автора настоящей книги получался им именно из Национального музея. Весьма ценный комплект редких минералов представляют собою минеральные коллекции Реблинга (Roebling) и Кэнфильда (Canfield), недавно приобретенные Национальным музеем. Доктор Тиль (George A. Thiel) из Миннесотского университета познакомил автора с результатами своего замечательного исследования марганцевых минералов и щедро тратил свое время на проверку определения марганцевых образцов из коллекции автора.

Проф. Принстонского университета Сэмпсон (Edward Sampson) много содействовал последним успехам техники шлифовки, и именно ему мы обязаны усовершенствованием методов применения поляризованного света при исследовании непрозрачных минералов. Много сведений, вошедших в нашу работу, были взяты из последней статьи проф. Сэмпсона.

В заключение автор желает поблагодарить за оказанную ему помощь своих коллег по Геологическому комитету США. Стейгер (George Steiger) сделал количественный анализ нескольких сомнительных минералов. Ловеринг (Thomas Lovering) прочел рукописи автора, дал несколько ценных советов и сделал ряд критических замечаний.

Часть I

МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Введение

Металлографический микроскоп является весьма ценным инструментом для определения непрозрачных минералов и для изучения их взаимоотношений. Он столь же нужен для работы над непрозрачными минералами, как петрографический микроскоп для работы над минералами прозрачными. Металлографический микроскоп отличается от петрографического тем, что в тубусе этого микроскопа непосредственно над объективом помещен рефлектор. Свет отражается сквозь объектив в вертикальном направлении вниз на изучаемый образец. Образец или минерал готовится для исследования посредством стачивания и полировки плоской поверхности. Он вкладывается затем в микроскоп таким образом, что его полированная поверхность становится параллельно столику микроскопа, и микроскоп фокусируется на исследуемую поверхность.

Определение непрозрачных рудных минералов в полированных шлифах с 1916 г., когда были опубликованы первые исследования Мордока в этом направлении, сделало большие успехи¹. Учебники Дэви и Фарнхэма (Davy и Farnham)², Шнейдерхена (Schneiderhöhn)³ и Ван-дер-Вена (Van der Veen)⁴ внесли в это дело новые идеи и новые приемы.

Не все приемы, описанные в названных работах, оказались вполне удовлетворительными, и поэтому важно уметь выбрать из описанных методов те, которые имеют наибольшую ценность. Задачей автора настоящей книги было отобрать методы, оказавшиеся, по его мнению, наиболее полезными и в то же время не требующими сложной и дорогой аппаратуры. Схема определения, нами принятая, основывается на следующих наблюдениях.

1. При помощи поляризованного света минералы, кристаллизующиеся в кубической системе, могут быть отделены от минералов, кристаллизующихся в пяти других системах.

2. При помощи иглы минералы могут быть разделены в отношении своей твердости на два разряда: в первый входят минералы твердые, которые царапать иглой можно лишь с трудом или даже нельзя царапать совсем, а во второй — мягкие, легко поддающиеся царапанию. Три градации твердости, описанные Мордоком, Дэви и Фарнхэмом, соответственно изменены путем исключения «промежуточного» разряда.

3. Схема систематического травления, описанная Дэви и Фарнхэмом, сама по себе далеко несовершенная, очень ценна благодаря достигаемой при ее помощи экономии времени. Испытания при помощи травления вполне достаточны для определения лишь некоторых минералов, но для большинства минералов определения, основанные на этом методе, должны быть проверены при помощи других методов.

4. Качественный микрохимический анализ представляет собою самый надежный метод для определения рудного минерала. Испытания эти требуют значительного времени. Если исследователь заранее не имеет ключа к тому, какие элементы имеются в образце, приемами обычного качественного анализа он должен систематически перебрать ряд разных элементов. Самый действительный и самый быстрый метод для определения минерала состоит в получении в первую очередь всех данных, доступных путем применения 1, 2 и 3-го методов. Применение такой процедуры обычно ограничит задачу определения объемом шести или даже меньшего количества минералов. Заключительный выбор устанавливается при помощи определенных микрохимических испытаний, направленных на один или несколько предположительных элементов.

Наши последние исследования вскрыли потребность в более точных данных, чем те, которыми располагает современная литература. Микроскопические опыты над рядом рудных минералов коллекции Мордока и над рядом образцов, подобранных автором в Национальном музее США, показали, что около 20% этих минералов были обозначены в каталоге неверно. Отсюда видно, какое существенное значение имеет тщательный отбор образцов.

Наше исследование ни в коем случае не исключает всех ошибок, связанных с неправильным обозначением образцов. Микрохимическое исследование имеет качественный, а не количественный характер и потому не обеспечивает различия разных минералов, включающих одни и те же элементы. Так автор до настоящего времени не в состоянии различить бегерит $Rb_2Bi_2S_9$, козалит $Pb_2Bi_2S_8$ и лиллианит $Pb_2Bi_2S_8$. Единственный надежный путь для различия между этими минералами — количественный химический анализ исследуемых образцов и попытка установить различительные критерии на полированных шлифах при помощи указанных выше методов 1—3. Обычно, но не всегда, достаточно взять минеральный материал из типичных местностей. Имея такой материал, нет надобности делать анализы, так как первоначальное определение минералов из этих местностей часто опирается на данные количественных анализов. Такой план особенно полезен по отношению к минералам, взятым из одной или двух местностей. Например минерал из Рецбании (Венгрия), содержащий свинец и висмут и этикетированный как «рецбаниит», верно и является таковым.

Не следует однако забывать, что многие опубликованные анализы, особенно более старые, производились на нечистом материале. Прежде чем микроскоп с рефлектором был применен к изучению руд, многие рудные минералы считались чистыми, когда в штуфе не было заметно загрязнения. Микрохимическое

исследование показало ошибочность такого предположения. Даже совершенно чистые с виду кристаллы далеко не всегда чисты. Точная формула борнита не удавалась более 100 лет, потому что анализируемые кристаллы с виду чистого борнита на деле не были чистыми, а, как выяснено было позднее, представляли собою смеси борнита и халькопирита. Отсюда ясно, что не следует приступать к анализу рудного минерала прежде, чем не будет доказано микроскопически, что он действительно чист. Описания минералов, приводимые в настоящей работе на основании анализа соответствующего материала, будут сопровождаться ссылками на проделанные анализы.

До сих пор не установлено подходящего термина для обозначения исследования рудных минералов под металлографическим микроскопом. Предложенный Мордоком термин «минералография» очевидно не годится, так как исследование это обнимает лишь известную группу минералов. Предложенный Уайтхэдом⁵ (Whitehead) и применяемый Дэви, Фарнхэмом и Ван-дер-Веном термин «минераграфия» груб и неприятен для слуха. Введенный Шнейдерхеном термин «халькография» не годится потому, что его уже применяли к искусству графирования на меди⁶. Автор предпочитает отказаться от употребления всех этих терминов и пользоваться хотя и громоздким, но точным определением «микроскопическое исследование рудных минералов».

Металлографический микроскоп

Всякий сложный микроскоп может быть превращен в металлографический посредством вертикального иллюминатора, состоящего из короткой трубки, в которой монтирован рефлектор. Рефлектор отражает свет вертикально вниз сквозь объектив на полированную поверхность исследуемого минерала. Отраженный затем вверх от полированной поверхности свет проходит через объектив позади рефлектора или через него и, пройдя через окуляр, попадает в глаз.

В зависимости от типа применяемого рефлектора есть два типа вертикального иллюминатора. Призматический иллюминатор состоит из стеклянной призмы, занимающей около половины площади трубки. Такое устройство позволяет пропускать часть лучей, отраженных изучаемой поверхностью, позади рефлектора (рис. 2). Дискосый стеклянный иллюминатор состоит из тонкого прозрачного стеклянного диска, занимающего всю площадь трубки. У обоих типов иллюминатора рефлектор в трубке вращающийся; он устанавливается так, чтобы получить изображение наибольшей отчетливости.

Вертикальный иллюминатор привинчивается к нижнему концу тубуса микроскопа, а объектив в свою очередь привинчивается к нижнему концу иллюминатора или закрепляется на нем пружинным зажимом.

Стеклянный дисковый иллюминатор, называемый также плоскостеклянным, дает более ровное освещение, чем иллюминатор призматический, но на полированный препарат отражается при-

мерно лишь половина света, падающего на стеклянный диск. Остальной свет поглощается диском или, проходя через него горизонтально, поглощается стенками трубки иллюминатора. Свет, падающий вниз на полированную поверхность, отражается кверху. Ударившись снова о плоский стеклянный диск, часть устремляющегося кверху света отражается обратно к лампе и покидает микроскоп. Незначительная доля стремящегося кверху света поглощается самим диском, а остаток его проходит сквозь диск и попадает в глаз. В результате этих потерь лишь небольшая часть, возможно одна четверть, первоначальной силы света служит целям микроскопического наблюдения.

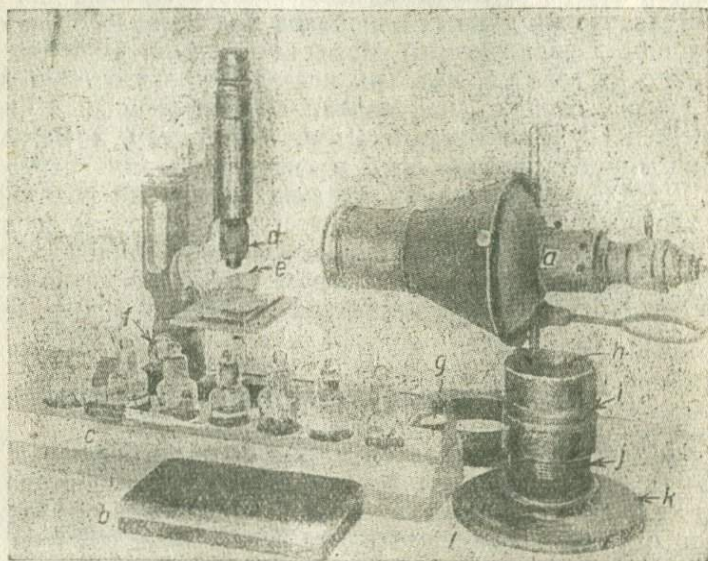


Рис. 1. Металлографический микроскоп с оборудованием для исследования полированных шлифов. *a* — спенсеровская лампа № 374; *b* — брусок для полировки; *c* — реактивы для травления; *d* — вертикальный иллюминатор; *e* — полированный шлиф; *f* — винт для поднимания и спускания столика микроскопа; *g* — полированный шлиф в медной монтировке; *h* — площадка свинцового заполнения; *i* — муфта; *j* — шпатель; *k* — флянцевая подставка; *l* — прибор для монтировки шлифов.

Призматический иллюминатор отражает вниз весь свет, падающий на призму. Однако лишь часть света, отраженного полированным шлифом, достигает глаза, так как самая призма занимает половину сечения трубы, и вся та часть света, которая при своем устремлении кверху попадает на призму, отбрасывается из микроскопа в сторону и теряется. Глаза достигает лишь часть стремящегося кверху света, проходящая позади осветительной призмы. Для того чтобы получить максимум освещения, призма повернута так, что лучи движутся вниз не вполне вертикально, а ударяются о поверхность с легким отклонением от вертикального направления и в свою очередь отражаются с уклоном от вертикального направления, как раз достаточным для того, чтобы пройти через призму.

Разницу между обоими типами иллюминаторов Ван-дер-Вен⁷ характеризует следующим образом:

„Относительная интенсивность освещения при призматическом иллюминаторе выше, чем при стеклянном (дисковом) иллюминаторе, потому что пучок лучей, хотя он и разделен на двое, все же сохраняет свою первоначальную интенсивность. В типе иллюминатора с плоским стеклом каждый луч ослабевает в своей интенсивности, хотя весь пучок остается в целости. Вот почему разрешающая сила (резкость изображения) иллюминатора с плоским стеклом гораздо выше, чем у стеклянного призматического иллюминатора. По этим соображениям для сильного увеличения первый особенно желателен“.

Автор предпочитает для работы при дневном свете и при обычном искусственном освещении (обычная электрическая лампочка накаливания и стеклянный экран, дающий оттенки дневного света) тип призматического иллюминатора. Он достаточно для работы с 16- и 4-мм объективами. Для объективов более сильного увеличения, чем 4-мм, и при меньшем увеличении, чем 16-мм, и для микрофотографии предпочтителен стеклянный

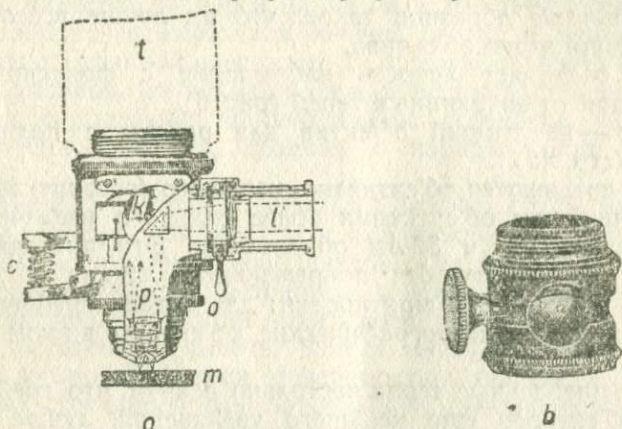


Рис. 2. *a* — призматический иллюминатор Лейтца. *t* — тубус микроскопа; *h* — призма; *l* — собирательная линза; *o* — объектив с короткой монтажкой; *p* — пучок лучей, проходящих сверху позади призмы; *m* — полированный шлиф; *c* — пружинный зажим, скользящий по трубке иллюминатора. *b* — стеклянный дисковый иллюминатор Бауш и Ломба.

нодисковый иллюминатор. Для более сильного увеличения требуется и более сильный искусственный свет. Автор находит, что всего лучше для этой цели 6-вольтовая 108-ваттная вольфрамовая ленточная лампа Mazda. Дуговая лампа дает свет интенсивный, но изменчивого напряжения.

Наиболее обычный тип металлографического микроскопа изображен на рис. 1. При помощи зубчатой рейки и шестерни предметный столик может передвигаться вертикально, но не вращается. Тубус микроскопа с прикрепленным к нему иллюминатором и объективом остается неподвижным, а полированный шлиф ставится на фокус посредством передвижения столика вверх или вниз. Выгода этого устройства в том, что при перемене объектива нет надобности передвигать источник света. Расстояние полированной поверхности шлифа от стеклянной пластинки, на которой лежит шлиф, точно также может изменяться без передвижения тубуса микроскопа или источника света. Металло-

графический микроскоп этого типа вполне удовлетворителен для большинства работ, но имеет ту невыгоду, что его нельзя применять при исследованиях, требующих поляризованного света.

Для работы при искусственном свете автор предпочитает петрографический микроскоп. При помощи кольца и зажима иллюминатор можно прикрепить или снять в несколько секунд, и микроскоп с минимальным усилием может превратиться из петрографического в металлографический. Почти вся работа с отраженным светом производится при коротком объективе с 16-мм фокусным расстоянием. Объектив ввинчивается в вертикальный иллюминатор и не снимается с него, когда иллюминатор убирается с микроскопа.

16-мм объектив является наилучшим для металлографических работ по следующим соображениям:

1. Он дает наилучшее поле зрения для наибольшего количества минеральных сростаний, так как разрез минеральных зерен в большинстве образцов таков, что их лучше всего наблюдать при помощи этого объектива.

2. Он соединяет ясность наблюдения с фокусной глубиной и свободой от закраинных теней (рис. 6).

3. Это — наилучший объектив для работы с поляризованным светом (стр. 45).

Чаще пользуются объективами меньшего (сравнительно с 16-мм) увеличения, чем объективами более сильного увеличения. Обычно работают 24- и 32-мм объективами. Эти последние не рассчитаны на работу без покрывающего стекла и не требуют специально короткой монтировки; для металлографической работы 24- и 32-мм петрографические объективы вполне удовлетворительны.

Если минеральные зерна настолько велики, что требуют применения объективов еще меньшего увеличения, лучше совсем отказаться от применения металлографического микроскопа и наблюдать полированный препарат под биноклярным микроскопом, пользуясь косым светом. Установив наблюдаемую поверхность под правильным углом, мы получим отражение, похожее на зеркальное и сходное с отражением, полученным при вертикальном освещении.

8- и 4-мм объективы короткой монтировки и реже 1.9-мм короткой монтировки с масляной иммерсией применяются иногда для более сильных увеличений, но трудность получения плоской поверхности на полированном минеральном препарате препятствует применению объективов с масляной иммерсией. К счастью размер зерна в минеральных прорастаниях редко бывает настолько мелким, чтобы требовался объектив с масляной иммерсией.

Вращающийся столик и тубусный анализатор петрографического микроскопа необходимы, если полированные шлифы рассматриваются в поляризованном свете.

Дневной свет является достаточным освещением для обычной микроскопической работы, когда не требуется установка двух соединенных микроскопов, позволяющая производить сравнение цветов. При некотором навыке глаз легко приспосабливается к переменной силе дневного света. Требуется только освещение с се-

верной стороны или защита от непосредственного солнечного света. Если перед микроскопом находятся деревья, здания или другие предметы значительного размера, формы этих предметов могут отражаться на поверхности минерала под микроскопом. Автор пользовался спенсеровской лампой № 374 для микроскопа, изготовленной компанией Спенсер Ленс в Буффало, САСШ, снабженной 115-вольтовой 100-ваттной лампочкой Mazda, конденсатором и экраном от дневного света.

Монтировка шлифа

Монтировка на пластелине. Полированный шлиф монтируется посредством вдавливания в комок пластелина (скульптурного воска) на стеклянной пластинке. Для пластинки подходящим является размер 9 на 3,8 см и толщина 3 мм. Полированная поверхность находится конечно сверху и должна быть параллельной стеклянной пластинке. В продаже есть много выравнивающих приборов, но ни один из них не предоставляет таких удобств, как самодельная монтировочная установка, сделанная из 5-см трубки (рис. 1), сходная с изображенной у Дэви и Фарнхэма⁵.

Она состоит из 5-см трубки (ниппеля) длиной 7,5 см, наполненной свинцом, муфты длиной 6 см и флянцевой подставки. Верхняя поверхность трубки и наполняющего ее свинца и верхний край муфты установлены под прямыми углами к их длине. Муфта вращается так, что ее верхний край находится над поверхностью свинца на достаточной высоте. Взятая высота определяет расстояние между полированной поверхностью шлифа и верхней поверхностью стеклянной пластинки. Шлиф вдавливается рукой в пластелин; полированная поверхность устанавливается приблизительно параллельно стеклянной пластинке; стеклянная пластинка с пластелином и шлифом перевортывается затем своей нижней стороной вверх, и полированная поверхность опускается вниз до тех пор, пока она не придет в контакт со свинцовой поверхностью чашечки. Стеклянная пластинка вдавливается затем вниз до тех пор, пока она не дойдет до муфты. Выгода этого монтировочного прибора в том, что высота полированной поверхности над стеклянной пластинкой может регулироваться по желанию.

Монтировка в медную оправу. Более основательным способом монтировки по сравнению с временным вдавливанием в пластелин является закрепление полированного осколка в отрезе прямоугольной медной трубки при помощи сургуча. С полированными препаратами при такой монтировке легче обращаться, а мелкие или ломкие осколки, которые трудно было бы удерживать в руке или можно было бы искрошить при полировке, прочно удерживаются цементирующей их массой сургуча, и полирующая шлифовка может происходить до желательного предела. Мы получаем более плоскую поверхность при монтировке осколка в медной оправе, чем без монтировки, так как для препарата опорой при стачивании служит вся площадь медной оправы. В лаборатории Геологического комитета США полирован-

ные препараты, подлежащие единичному исследованию, а затем выбрасыванию, полируются без монтировки, а подлежащие перманентному хранению монтируются в медную оправу.

До укрепления в медной трубке препарат стачивается на одной стороне шероховатой плоской поверхности. После монтировки препарата стачивание продолжается, а затем сменяется полировкой. При желании также препарат может быть совершенно отполирован до монтировки в медь.

Применяемые при монтировке прямоугольные трубки имеют по внешней стороне в поперечном сечении 3,8 и 2,8 см и нарезаются на отрезки в 2,2 см длиной. Эти трубки доставляются уже нарезанными фирмой Америкэн Брасс в Уотерборн, САСШ, стоимость их около 3 центов за штуку. До монтировки препарата на каждой из двух более длинных сторон трубки пробиваются две конических зазубрины для того, чтобы предупредить скольжение монтируемых предметов в медной трубке. Эти зазубрины насаждаются стальным центрированным зубилом; для предупреждения вдавливания трубки внутрь при пробивании в трубку вкладывается стальной стержень, имеющий выемку треугольного поперечного сечения, прорезанную на одной стороне под прямым углом к длине бруска.

До вливания сургуна на короткой стороне медной трубки молотком и 2,4-мм штампом выбиваются номер и другие обозначения препарата. При штамповке трубка поддерживается изнутри стальным стержнем без треугольного желобка.

Когда препарат монтируется сургучом, самый препарат и трубка должны быть согреты приблизительно до температуры расплавленного сургука, в противном случае сургуч при остывании будет отставать от стенок трубки. Если трубка нагрета до наливания сургука, медь сжимается более, чем сургуч, и охватывает препарат плотнее.

Согреть можно на электрической плите, но всего удобнее делать это в особой закрытой печи, описание которой приводим на следующей странице. На стальной плите $24 \times 25 \times 0,6$ см с одной поверхностью помещаются и препараты и их медная монтировка. На эту плиту кладется лист картона, а на него фасом вниз кладутся препараты. Медные трубки накладываются на препараты таким образом, чтобы каждый препарат в своей монтировке имел центральное положение. Затем эта стальная плита вставляется в закрытую печь или ставится на горячую плиту, пока температура ее верхней поверхности не достигнет приблизительно 100°C . Далее стальная плита вынимается и расплавленный сургуч вливается в медные трубки до тех пор, пока не поднимется чуть выше зазубрин. Одним разливом сургука можно монтировать около 30 препаратов. Удалить картон от монтировок при остывании бывает нетрудно.

Сургуч имеет свойство плавиться в жаркую погоду, и потому следует делать сургучу подкладку из парижского пластыря (гипса). Препарат кладется фасом вниз, а парижский пластырь вливается до тех пор, пока он почти наполнит трубку; оставляется около 3,5 мм незаполненного пространства, чтобы медная оправка при выпрямлении могла стать на медные края.

Сургуч, приготовленный из 120 г шеллака, 90 г смолы и 45 см³ терпентина, удовлетворяет всем требованиям и отсутствием всякой песчанистой примеси превосходит сорта сургуча, имеющиеся на рынке. Эти ингредиенты помещаются в каменную (graniteware) кастрюлю около 14 см диаметром и 6,5 см глубиной; кастрюля подогревается до тех пор, пока не начнется сильное кипение; смесь от времени до времени размешивается столовой ложкой. Когда ингредиенты хорошо перемешаны, кастрюля с плиты снимается и смесь размещивается до тех пор, пока не прекратится выделение пузырьков. Пузырьки на поверхности монтировки, т. е. около полированной поверхности, вредны, так как они имеют свойство собирать обломки зерен во время последующего стачивания и полирования. Препараты, монтированные, как описано выше, и защищенные от солнца или других источников тепла, продержатся несколько лет без заметной порчи сургуча. Автор имеет препараты, монтированные 5 лет назад, и большинство их свободно от повреждений на поверхности сургуча; повреждены лишь некоторые, но в слабой степени. Опыты в Харварде показали, что иногда сургуч дезинтегрируется и препарат приходится монтировать заново.

В качестве материала для монтировки предлагали портландский цемент⁹, но опыт показал, что предупредить отрыв песчинок от поверхности и царапание ими мягких минералов почти невозможно.

Несомненно самым лучшим из известных нам монтировочных составов является твердый бакелит, но он требует гидравлического пресса с прибором для нагревания. В общем употребление он едва ли войдет, так как нужный для него аппарат стоит около 500 долларов. Метод этот применяется в Харвардском университете, но его описания в литературе пока нет.

Печь для нагрева. В лаборатории Геологического комитета САСШ нагревание производится в печи, оборудованной нагревающими электрическими катушками. Печь имеет размеры 28 × 28 × 37 см и была изготовлена фирмой Централь Сайентифик в Чикаго. В ней поддерживается при помощи термостата ровная температура. Шкала температуры 70—115° С.

Хорошую службу сослужит и простая самодельная печь. Чертеж такой печи был предложен доктором Коксом (Edwin P. Cox), ранее работавшим в Орегонском университете. Печь Кокса представляет собою металлический ящик, для предупреждения утечки тепла обложенный асбестом. Ящик имеет снаружи об'ем 42 × 32 × 32 см. Нагревание производится шестью параллельно поставленными 75-ваттными электрическими лампами. Каждая лампа может быть ввинчена в патрон или вывинчена из него. Такая печь, построенная в Харвардском университете, через 2 часа довела температуру до 40° С при включении одной лампы и до 120° С при включении всех шести ламп. Температура поддерживалась на очень устойчивом уровне. Промежуточные температуры получались путем варьирования числа включаемых в цепь ламп. Такая печь очень успешно напильвает пористый образец бакелитом, как описано на стр. 20.

Полировка образца

Процесс полировки в Геологическом комитете САСШ

Процедура. Нижеописанная процедура применяется в петрографической лаборатории Геологического комитета для стачивания и полировки немонтированных образцов:

А. Получение кусочков рудного образца при помощи зубила или алмазной пилы.

В. Стачивание плоской поверхности при помощи карборунда 120. Применяется только к твердым и не применяется к мягким рудам.

С. Стачивание при помощи карборунда F. Это первое стачивание для мягких руд и второе для твердых.

Д. Стачивание при помощи карборунда 600.

Е. Полировка на круге с муслиновой крышкой при помощи алунда 65.

F₁. Полировка на бильярдном сукне окисью магия или черным магнитным крокусом. Не применяется к некоторым твердым рудам.

F₂. Полировка на круге с муслиновой крышкой хромовой окисью или крокусом. Применяется на некоторых твердых рудах вместо процедуры F₁; не применяется к большинству руд.

А. Подлежащий исследованию осколок образца сначала откалывается зубилом. Дэви и Фарнхэм¹⁰ рекомендовали применение алмазной пилы, состоящей из стального диска с алмазами, монтированными на его периферии. Хотя эта процедура и представляет значительные выгоды, особенно, если требуется определенный поперечный разрез образца, применения его лучше по возможности избегать вследствие быстрого износа пилы при распиливании твердых минералов. Простая алмазная пила, состоящая из тонкого медного диска, питаемого алмазной пылью, описана Вандеруильтом (Vanderwilt)¹¹.

Удовлетворительную поверхность можно приготовить в чрезвычайно короткое время стачиванием на горизонтальном круге с карборундовым порошком. В обычном случаеготавливаемая поверхность не должна превосходить площадки в 1 кв. дюйм, т. е. в стороне не больше 2,5 см.

В. Если образец состоит в значительной степени из твердых минералов, например пирита, первое грубое стачивание лучше производить при помощи карборунда 120. Стачивание производится до тех пор, пока не получится поверхность достаточной площади. Затем образец снимается и тщательно обмывается, чтобы удалить карборундовые крошки. Надо тщательно вымыть руки, чтобы предупредить попадание грубых крошек в последующий более тонкий абразивный материал. Если в образце преобладают мягкие минералы и если он содержит лишь незначительную долю пирита или других твердых материалов, лучше начинать стачивание с карборунда F, так как более грубые порошки образуют в мягких минералах глубокие дыры и разрывы. Применяется при этом горизонтальный стальной круг диаметром 30 см при 1150 об/мин.

После стачивания первого слоя поверхности, углы и выступы образца должны быть сточены, дабы избегать больших царапин на поверхности образца вследствие отламывания обломков в последующие стадии обработки. Рекомендуется придать краю поверхности угол по крайней мере в 60° относительно фаса, осо-

бенно на образцах, подлежащих монтировке медью, так как монтировочное вещество более или менее вязкое и ему трудно будет стекать под относительно плоско скошенный край. Скашивание угла легче всего получить, наставляя осколок на боковой край быстро вращающегося карборундового или наждачного колеса. Если такого колеса нет, стачивание можно произвести на горизонтальном круге.

С. Затем препарат стачивается на горизонтальном круге при помощи карборунда F, причем удаляются ямки, образованные более грубыми приемами стачивания, но образуется новая серия ямок и царапин более мелких, чем первая. Для этой операции обычно достаточно одной минуты. Скорость вращения круга — 1150 об/мин.

Д. Руки и образцы тщательно моются для того, чтобы удалить приставшие частицы карборунда F. Окончательное стачивание производится на горизонтальном стальном круге с карборундом 600. Ямки и царапины, образованные карборундом F, стачиваются и образуется новая серия таковых, но более мелких и узких. Для этой стадии стачивания обычно достаточно 30 сек. Теперь препарат готов для полировки. Скорость круга также 1150 об/мин.

Е. В первую стадию полирования пользуются алундом на круге, обернутом муслином или тонким полотном. Полотно дороже, но его можно реже менять вследствие его большей прочности. Круг имеет 15 см в диаметре, скорость вращения — 1150 об/мин. Ткань сначала смачивается, а затем туго натягивается на поверхность круга при помощи обруча по его окружности или при помощи крепких эластичных тесемок, удерживаемых на месте желобком, проходящим по окружности. Количество времени, требующегося для полировки при помощи алунда 65-F, меняется в зависимости от характера образца. Лучше всего полировать подряд по одной минуте, проверяя эффект работы под микроскопом после каждой минутной стадии работы. Если после данной полировки нельзя отметить нового улучшения поверхности, препарат готов для дальнейшей обработки. Алунд 65-F дает все, что может дать, в течение 3 мин. Если по истечении этого срока остаются ямки, их лучше удалять на хромовом или крокусовом круге. Некоторые материалы так легко раскрашиваются и так мягки, что алунд, стачивая старые ямки, с такой же быстротой вызывает появление новых. Для определения момента, когда прекращать полировку алундом 65-F, лучшим руководством должен служить опыт.

F₁. Полировка завершается при помощи магнезии или черного магнитного крокса на горизонтальном круге, покрытом биллиардным сукном. Рыночное обозначение этого сукна Jamson cloth; получать его можно от фирмы Мэгэн в Бостоне, САСШ. Окись магния или магнезия применима для полировки цирита и минералов средней твердости. Она дает хорошую полировку и более мягким материалам, но вызывает больше царапин, чем черный магнитный крокус. Магнезия смешивается с двумя примерно объемными частями воды и выдувается из несмывной бутылки. Открытием магнезии, как полировочного материала, мы обязаны доктору Шнейдерхену из Высшей технической школы в Аахене,

в Германии. Он рекомендует держать бутылку крепко закупоренной, так как магнезия стремится поглощать из воздуха угольную кислоту, образуя магниевый карбонат, царапающий мягкие минералы. Окись магнезия тверже карбоната, но ломается и очень мелко раскрошивается при полировке. Магнезия удаляет с пирита мелкие ямки и царапины. Для того чтобы вполне отполировать пирит, обычно достаточно 5 мин. или даже меньше; для полировки некоторых минералов, в роде марказита, призматического строения и более или менее пористого работа полировки должна быть несколько продолжительнее. Автор находил выгодным продолжать ее в течение 15 мин. Магнезия не годится при полировке железного блеска и некоторых других минералов одинаковой или большей твердости; эти минералы лучше полировать окисью хрома или крокусом.

«Черный магнитный крокус» — полировочный порошок, изготовляемый фирмой Бинней и Смит в Нью-Йорке. Применение его рекомендовано Геологическому комитету проф. Бэтмэном (Alan M. Bateman).

В объяснении изготовляющей его фирмы говорится, что он получается при помощи патентованного процесса осаждения и состоит на 98% из Fe_2O_3 . Действие его вообще сходно с магнезией, но режет он не так быстро. Это лучший состав для полировки мягких минералов в роде галенита и халькозина. Он более стоек, чем магнезия, и не портится от действия воздуха. Он смешивается с небольшим количеством воды и накладывается на ткань при помощи красильной кисточки. При применении в сыром состоянии он до конца удаляет все царапины, но, несмотря на усилия избежать повреждений вследствие попадающих извне крошек, все же, как бы долго полировка ни продолжалась, несколько царапин останутся. При фотографировании препарата эти последние царапины обычно могут быть удалены при помощи следующей процедуры, описанной Ридом (F. S. Reed).

Приложите влажный магнитный крокус к вращающемуся кругу и слегка прижимайте к нему шлиф, сообщая шлифу медленное вращательное движение. Продолжайте вращение до тех пор, пока полотно совершенно не высохнет. Для этой манипуляции нужны известные уменье и опыт. Если полировка продолжается слишком долго после того, как полотно высохло, препарат перегревается. Если полировка останавливается слишком рано, магнитный крокус становится клейким и пристаёт к препарату.

2. Описанное выше полирование на бильярдном сукне магнезией или черным магнитным крокусом дает хорошие результаты для огромного большинства образцов. Оно однако не дает окончательной полировки очень твердым минералам, в роде железного блеска (спекулярита), хромита, франклинита и твердых марганцевых окислов. Для этой цели рекомендуется применять в качестве последнего полирующего реактива вместо магнезии тонкую, медленно оседающую в воде пыль хромовой окиси или крокуса на круге, покрытом муслином или полотном. Ни тонкой пыли хромовой окиси, ни тонкой пыли крокуса на рынке достать нельзя, но оба эти продукта приготавливаются в лаборатории Геологического комитета США размалыванием в небольшой шаровой

мельнице в течение 100 час. Масса удаляется с шаровой мельницы и сыпается в высокую цилиндрическую банку 7,2 см в диаметре и 56 см в высоту с объемными делениями. В банку почти до краев наливается вода. Затем содержимое взбалтывается и оставляется на 10 мин. в покое. Верхние 15 см содержимого банки удаляются затем посредством сифона, конец которого, вводимый сначала сверху, должен опускаться вниз медленно, чтобы не замутилось отстой на дне. Вытянутый сифоном материал сливается в 2,5-л бутылку. Измерительная банка снова наполняется водой почти до краев, сильно встряхивается и ставится спокойно на 10 мин. Верхние 15 см снова оттягиваются сифоном в бутылку, содержащую уже удаленный отстой. Процесс этот повторяется до наполнения 2,5-л бутылки. Бутылку ставится на ночь, и отстой оседает в ней на дно. Избыток чистой воды оттягивается сифоном, и отстой готов для употребления.

Эффект крокуса одинаков с эффектом хромовой окиси, но полирующее действие хромовой окиси несколько быстрее. Оба порошка хорошо полируют кварц, стекло и силикатные материалы.

Общие замечания. Средняя продолжительность стачивания и полировки немонтированного образца при вышеописанной процедуре — от 12 до 15 мин. Если образец монтирован в медь, требуются лишние 10 мин. Монтировку следует делать после того, как будет сточена первая плоская поверхность, другими словами — между стадиями В и С. Если первая плоскость стачивается карборундом F, образец следует монтировать и затем опять стачивать карборундом F до тех пор, пока все края медной трубки не лягут ровно на стальной круг и вся поверхность сургуча не придет в контакт со шлифующим материалом. Верхние края и углы медной монтировки должны быть косо срезаны после того, как эта стадия стачивания закончена, для того чтобы предупредить разрыв полирующей ткани острыми углами медной монтировки. Косой срез должен образовывать со стенками трубки примерно 45-градусный угол. Монтировка в медь несколько замедляет полировку, но сообщает образцу более ровную поверхность и не вредит качеству полировки.

Следующая таблица резюмирует характерные особенности шлифующих минералов, как они вскрываются под микроскопом. Величины измерены при помощи микрометричного окуляра.

Характеристика шлифующих материалов, применявшихся при шлифовке минеральных препаратов

Шлифующий минерал	Размер в мм		Характерные особенности
	самого крупного з'рна в пол. наблюдения	большой части материала	
120 карборунд	0,291	0,156	Угловатый и хорошо отсортиров. То же.
F карборунд	0,26	0,052—0,104	Содержит значительную пропорцию 0,06 и много тонкого материала, плохо отсортирован.
600 карборунд	0,135	0,02—0,04	Содержит значительную пропорцию 0,025 и много тонкого материала, плохо отсортирован.
65 алунд	0,075	0,004—0,01	

Наблюдения эти имеют более или менее качественный смысл, но они показывают и относительные характерные черты разных шлифующих материалов. Они имеют известное значение, потому что рыночные наименования не содержат указания на реальную калибровку материала. Наблюдения эти впервые сделаны Сэмпсоном. Они были проверены и дополнены автором настоящей книги и снова проверены Россом (С. S. Ross).

Пропитывание образца. Огромное большинство образцов, подлежащих полировке, достаточно прочно для того, чтобы при операциях шлифовки и полировки не развалиться в заметной степени. В рудах пористых и ломких однако зерна имеют склонность отрываться до окончательной полировки и при своем продвижении по шлифуемой поверхности они проделывают на ней желобки и царапины. Этого можно избежать, заполняя пористые пространства каким-нибудь связывающим материалом, вводимым в поры капиллярным путем или под вакуумом. Для того, чтобы связующий раствор мог легко войти в поры, связывающая среда должна быть растворена в какой-нибудь жидкости низкой вязкости. Препарат подогревается затем для испарения растворителя, а связующее вещество остается в порах. Пропитывание всего действительнее на внешней поверхности препарата, и поэтому рекомендуется придавать образцу плоскую поверхность еще до пропитывания. Некоторые образцы слишком рассыпчаты и придать им плоскую поверхность невозможно даже приблизительно. Такие образцы должны быть пропитаны перед шлифовкой и вторично после нее. Росс¹² описал технику пропитывания бакелитовым лаком; он разработал этот метод в приложении к препарированию тонких шлифов рыхлых пород. Метод пропитывания образцов бакелитом под вакуумом описан в его статье в «Economic Geology».

Процедура, описанная Россом, весьма успешна в приложении к полированным рудам. Образец погружается в ванну, содержащую раствор бакелита в эфире и алкоголе или в эфире и ацетоне. Бакелит должен быть разжижен до плотности жидкого водянистого сиропа. Ванна накрывается, чтобы предупредить слишком быстрое испарение растворителя. Бакелитовый раствор благодаря капиллярности втягивается в поры образца. Спустя 4—8 час. крышка снимается с ванны, и содержание ее выставляется на ночь на воздух. Раствор имеет тогда густоту неразжиженного бакелита или бывает даже гуще его. Затем образец вынимается из ванны и вкладывается плоской стороной сверху в согревательную печь. Раствор должен хорошо покрывать поверхность образца, поверхность его должна быть поставлена горизонтально так, чтобы раствор не стекал с нее. В течение 24 часов поддерживается температура приблизительно в 40° С. Затем температура постепенно поднимается примерно до 110° С и поддерживается на этом уровне еще 24 часа. По истечении этого срока бакелит становится твердым и похожим на янтарь. Не следует ускорять процесса высушивания бакелита. Слишком высокая температура или слишком крутое ее повышение вызовет разложение бакелита и появление пузырьков, что повлечет за собою вздувание материала уже в порах. Лишний бакелит сошлифовывается

с поверхности горизонтальным кругом с карборундом F. Затем образец исследуется под микроскопом. Если пропитывание недостаточно, весь процесс может быть повторен, так как высушенный бакелит не подвержен действию применяемого растворителя. Вторичное пропитывание обычно излишне, так как бакелит крепко держит зерна минерала и образец при заполнении 50% пространства его пор бакелитом хорошо поддается полировке.

Описанный выше метод является, по мнению автора, наилучшим из применяемых до сих пор для пропитывания образца, но он невыгоден потому, что для производства всей этой операции требуется по крайней мере два с половиной дня. Описанный автором¹³ метод пропитывания канадским бальзамом и ксилолом в вакууме требует только полчаса, но при большей затрате труда, чем при пропитывании бакелитом, и получаемые при его применении результаты несколько менее удовлетворительны.

Более быстрый и удовлетворительный для большинства случаев метод состоит в применении «коллолита» — искусственного продукта, сходного с канадским бальзамом. Коллолит изготавливается фирмой Фойгт и Хохгезанг в Геттингене, в Германии. Он готовится в двух видах — твердом и мягком. Для пропитывания образцов рекомендуется твердый вид. Кусок коллолита отрезается или отламывается от тубика, в котором он упакован, кладется в форфоровый тигель и подогревается до растапливания. Образец шлифовывается с шероховатой плоской поверхностью, а затем погружается в расплав, подвергается затем в течение 3 мин. кипячению. Далее образец вынимается плоскою стороною все время кверху, чтобы предупредить стекание сиропообразного коллолита. При остывании коллолит опять твердеет.

Процесс полировки в Харвардском университете

Самым действительным из описанных выше методов полирования является метод Вандеруильта (Vanderwilt¹⁴), выработанный в лаборатории прикладной геологии Харвардского университета. Метод этот основан на двух основных факторах.

1. Полировка требует такой шлифовки, при которой шлифовочные царапины имеют субмикроскопическую ширину. Чтобы отполировать образец при помощи тонкой шлифовки, шлифовальные материалы должны быть калиброваны очень осторожно; при окончательной шлифовке диаметр самых значительных зерен должен быть менее 0,001 мм. Вандеруильт предложил метод калибровки крупинок при помощи медленного циркулирования отстоя по ряду цилиндров. Это метод медленный, но он дает гораздо более однородный продукт, чем быстрый метод, описанный выше на стр. 18.

2. Крути из материи не нужны, и полировка производится на кругах свинцовых. Вода исключается в последних стадиях процедуры и полировка происходит на масле. Круги движутся медленно, и вся процедура от начала до конца требует от 6 до 12 час. И шлифовка и полировка производятся машинами; всех машин четыре, на каждой устанавливается шесть образцов; все стадии процедуры развиваются в одно и то же время. Учитывая

затрату времени на остановки машин, для обработки каждого образца надо от 20 до 40 мин.

Этот метод дает поверхность, почти лишенную рельефа, даже на минералах, резко различающихся по твердости, как пирит и галенит. Он выше обычных методов полировки поверхностей для микроскопического наблюдения и микрофотографии при большом увеличении. Особенно ценен он при изучении тонких переходных зон между твердыми и мягкими минералами, каковы например зоны первоначального халькозинового обогащения вдоль границ между пиритом и халькопиритом. Главные невыгоды этого метода в большей затрате времени и в большем техническом умении, чем при обычных методах, и в необходимости иметь более дорогую аппаратуру.

Процесс полировки в Миннесотском университете

При процедуре, применяемой в Миннесотском университете, первая поверхность шлифуется на горизонтальном круге на пасте из алунда 46 или 120. Полученная плоская поверхность обтачивается с краев на карборундовом круге. Затем следует ручная шлифовка на стеклянной доске при помощи алунда 5-F, а затем на другой доске при помощи алунда 60-F. На это обычно надо около одной минуты, но на некоторые образцы полезно тратить больше времени. Полировка производится на трех вертикальных кругах, вращающихся со скоростью 1800 об/мин. Круги обтянуты плотным льняным или бумажным полотном. Лучший сорт бумажного полотна стоит гораздо дешевле, чем льняное полотно, и дает очень удовлетворительные результаты. Все шлифовальные вещества накладываются на него при помощи красильных щеток, обмакиваемых в шлифовальное вещество, растворенное в воде. Алунд 60-F применяется на первом круге, окись хрома (10 мин.) на втором и либо крокус, либо магнезия (60 мин.) для окончательной полировки. Шварц¹⁵, описывающий эту процедуру, полагает, что среднее количество времени, затраченное на образцы, не представляющие особых затруднений, равняется 6—10 мин.

Фотографирование шлифов

Микрофотографическая камера. Дэви и Фарнхэм полагают, что для рудничных геологов фотографии рудных минералов и взаимоотношений между ними, снятые в отраженном свете, почти необходимы для составления отчетов. Умело выбранная иллюстрация будет более убедительной для читателей, чем многие страницы описания. Для исследования рудных месторождений такие фотографии являются драгоценными документами, подлежащими хранению в качестве справочного материала.

Микрофотография гораздо более простая операция, чем обычно полагают. Для нее необходима только фотографическая камера, прикрепленная к микроскопу, причем объектив и окуляр микроскопа служат для камеры сложной линзой. Микроскоп представляет проекционный агрегат сам по себе и будет проек-

тировать объект, на который он фокусируется. Если держать над окуляром микроскопа лист белой бумаги, круглое изображение объекта будет проектироваться на бумаге. Диаметр изображения зависит от силы окуляра и от расстояния между окуляром и бумагой над ним. Окуляр слабого увеличения, в роде № 1 Лейтца, проектирует конус лучей относительно небольшого вертикального угла. Окуляр более сильного увеличения проектирует конус лучей с более значительным углом. Соответственно этому на данном расстоянии проектированное изображение бывает крупнее. Диаметр изображения изменяется в зависимости от расстояния между ним и окуляром, потому что изображение является основанием правильного круглого конуса лучей.

Для фотографирования изображения нужно поэтому только поместить фотографическую пластинку на некотором расстоянии над окуляром микроскопа, причем расстояние определяется желательным размером изображения, и загородить экраном посторонний свет кроме лучей, проектируемых окуляром самого микроскопа. Камера должна быть непременно жесткой для избежания вибрации пластинки при ее экспозиции.

На рис. 3 изображена комбинация, дающая отличные результаты. Эта камера (фирмы Фолмер и Шивинг) для пластинок 10×12 см; линза из нее удалена. Она укреплена на треножнике, ножки которого привинчены к ящику камеры. Кассетка с пластинкой находится на высоте 57 см вертикально над основанием треножника и на 20 см над окуляром микроскопа: 16-мм объектив фокусируется на пленочном шлеме, монтированном в медь. Длина тубуса микроскопа с прикрепленным к нему вертикальным иллюминатором равняется 205 мм. Изменения в фокусном расстоянии регулируются мехами. Перехват, где окуляр входит в меха, изолирован от света черным сукном. Изменения в увеличении достигаются переменной объектива или окуляра. лейтцевский окуляр № 3 в изображенной комбинации как раз соответствует пластинке 10×12 см. При этом окуляре разные объективы дают следующие увеличения: 32-мм Бауш и Ломба — 29;

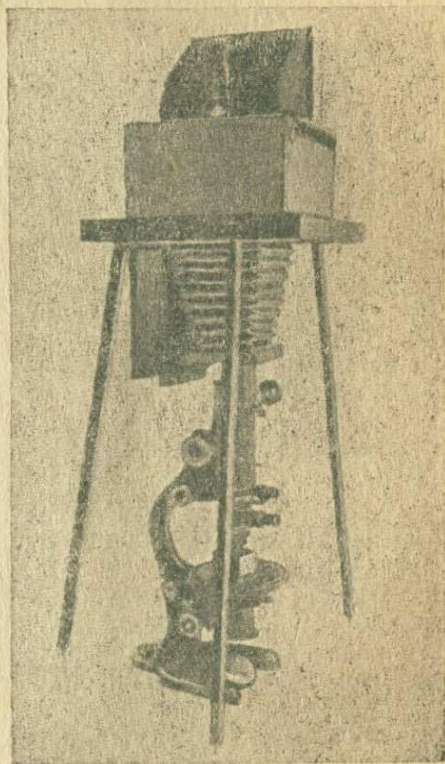


Рис. 3. Импровизированная микроскопическая камера. Камера вставлена в квадратную раму, поставленную на треножник. Лейтцевская линза для фокусирования изображения поставлена на кассетку.

23

24-мм № 2 Лейтца — 49; 16-мм Бауш и Ломба — 78; 9-мм № 4 Лейтца — 144; 4-мм Бауш и Ломба — 360.

В данном соединении нет затвора для регулировки экспозиции посредством включения и выключения электрического света. Обычная длительность экспозиции от 1 сек. до 10 мин., поэтому затвора, дающего экспозиции в долях секунд, и не нужно.

Изображение сначала фокусируется самым тщательным образом на шлифованном стекле сверху камеры; полированное стекло находится в том положении, которое впоследствии займет фотографическая пластинка, и точно демонстрирует изображение, которое должно появиться на фотографии. Оно помогает оператору также выравнить освещение, поворачивая вертикальный иллюминатор или изменяя положение лампы. Свет должен быть максимальной силы, и вначале не следует применять никакого светового фильтра. Если световые эффекты разных минералов неодинаковы, тогда пробуют поочередно эффекты разных световых фильтров, как это описано ниже, стр. 27.

Для точной установки фокуса матовое стекло неудобно, так как получаемое изображение недостаточно отчетливо и нужна прозрачная пластинка. Это можно сделать просто, намочив фотографическую пластинку горячей водой и соскаблив эмульсию. Вместо матового стекла в камеру вставляется прозрачное. При наблюдении последнего невооруженным глазом сначала мы не видим никакого изображения, а только пятно света в окуляре микроскопа; поэтому мало кто знает, что фокусировать можно на прозрачном стекле. Если однако фокусировать на стекле небольшую ручную лупу, а глаз поместить на известном расстоянии, определяемом зрительным нащупыванием, то появится отчетливое изображение. Оптическая ось ручной лупы должна быть параллельной в этой точке световому лучу, поэтому лучше всего фокусировать в центре пластинки, где пластинка и срединная плоскость линзы параллельны. Для того чтобы добиться получения изображения, необходима некоторая сноровка, но раз навык приобретен, оператор уже не встречает затруднений. При некоторой практике он почти инстинктивно находит определенную точку, на которой появится изображение. Изображение видимо только на части пластинки, покрытой лупой, но это изображение отчетливо, и количество света, необходимое для того, чтобы дать поддающееся наблюдению изображение, представляет собою лишь незначительную долю света, необходимого для того, чтобы дать хорошее изображение на матовом стекле.

По отыскании фокуса фокусирующая пластинка прозрачного стекла вынимается, и на ее место вставляется кассетка со вставленной в него фотографической пластинкой. Задвижная дверка кассетки вынимается, и включается свет для данной экспозиции. Затем свет выключается, дверка кассетки откидывается на свое место, кассетка вынимается, уносится в темную комнату, в которой негатив проявляется и фиксируется.

Накладная лейтцевская камера «Макам», применяемая в лаборатории Геологического комитета США, сходна с только что описанной импровизированной камерой, но имеет некоторые выгодные отличия. Она состоит из камерного ящика с 5-кратным окуля-

ром. Окуляр камеры пригнан к стволу микроскопа и заменяет собою обычный окуляр микроскопа. Микроскоп поддерживает камеру и заменяет собою треножник. Камера имеет глазок (горизонтальный окуляр для фокусирования) в тубусе под прямым углом к окуляру микроскопа. Призма, помещенная на оптической оси

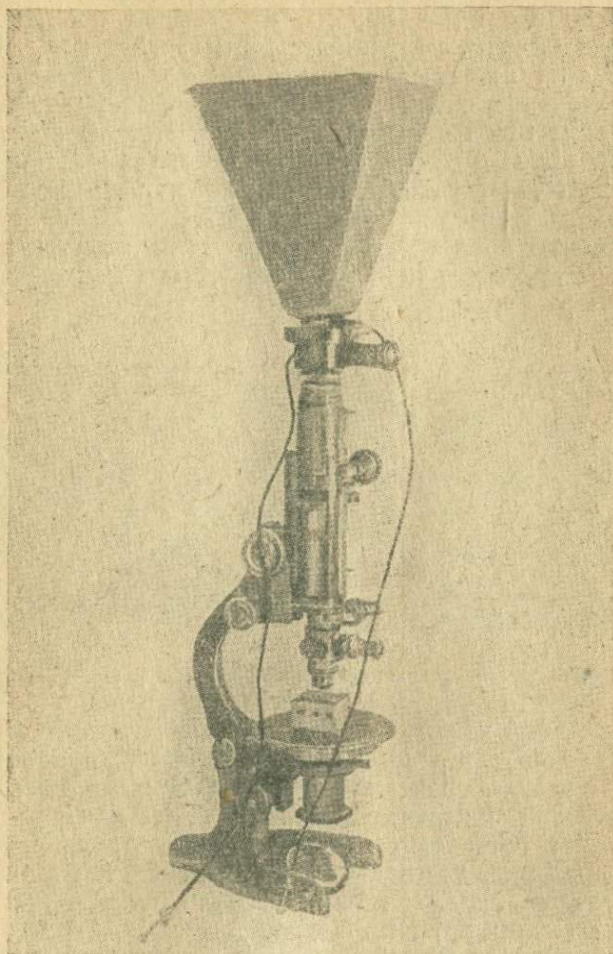


Рис. 4. Лейтцевская накладная камера „Макад“.

камеры, как раз над окуляром микроскопа, отбрасывает микроскопическое изображение через глазок (горизонтальный окуляр) камеры. Ушко, прикрепленное к окуляру глазка, движется по спиральному вырезу и посредством круговой вертикальной шкалы при наведении изображения на фокус в окуляре точно фокусирует его и на пластинке. Выгода этого приспособления в том, что при нем нет надобности фокусировать изображение на полированном или прозрачном стекле при каждом фотографировании. Окуляр

пригнан так, что изображение попадает в его фокус одновременно с попаданием в фокус на полированном стекле. Если затем приходится снимать дополнительные фотографии, надо только сфокусировать изображение в окуляре глазка камеры. Установка окуляра варьируется однако в зависимости от характера объектива, но при помощи круговой шкалы достигается точность установки. Непосредственно перед экспозицией светочувствительной пластинки призма, отбрасывающая изображение сквозь окуляр камеры, убирается с пути световых лучей посредством нажима на затвор. Такое устройство делает возможным почти моментальное фокусирование перед экспозицией и имеет особое значение при фотографировании растущих кристаллов.

Все фотографии микроскопических испытаний, приведенные в 4-й части настоящей работы, сняты были при помощи такой накладной камеры. Размер этих фотографий 8 на 11 см. Так как накладная камера представляет собою опрокинутую пирамиду, более крупные размеры прибора сделают его менее устойчивым и более подверженным вибрации.

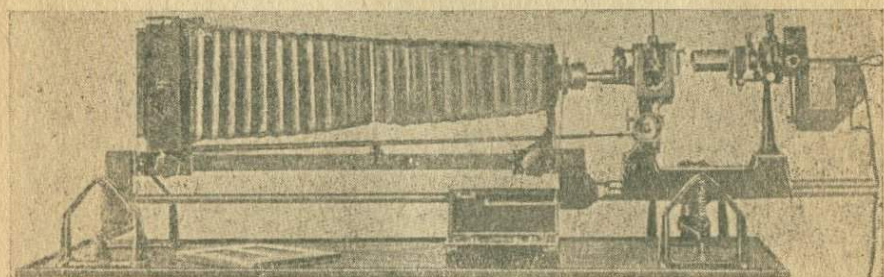


Рис. 5. Большая металлографическая камера Бауш и Ломба.

Такой накладной камерой снимались удовлетворительные фотографии в лаборатории автора при экспозиции, продолжавшейся 12 мин., хотя эта лаборатория очень подвержена вибрации, вызываемой работой тяжелых машин. При более длительных экспозициях следует принимать меры к защите от вибрации и камеры и микроскопа, дожидаясь для производства фотографической работы времени, когда работа машин остановится и движение на прилегающих улицах стихнет.

Так как расстояние между окуляром и кассеткой с пластинкой является постоянным, каждый объектив дает следующий ряд увеличений: 32 мм — 40; 24 мм — 68; 16 мм — 95; 9 мм — 170; 4 мм — 365. Длина тубуса микроскопа с прикрепленным к нему вертикальным иллюминатором — 205 мм.

Во многих металлургических лабораториях и университетах, где фотографируется много непрозрачных образцов, применяется горизонтально повернутый микроскоп системы ле-Шателье с прикрепленной к нему камерой. Он выделяется несколькими фирмами, например Лейтц, Бауш и Ломб и Цейсс. Автор настоящей книги пользуется инструментом Бауша и Ломба, изображенным на рис. 5.

Шлиф кладется на платформу микроскопа полированной поверхностью вниз; монтаж поэтому не нужен, а объект может быть любого размера, лишь бы платформа выдерживала его вес без перенапряжения. Мехи горизонтальны и могут быть вытянуты более чем на 1 м в длину. Камерный ящик, мехи, микроскоп и лампа опираются на крепкую горизонтальную стойку, в свою очередь подвешенную на пружинах. Стойка вибрирует на пружинах свободно, и камера вместе с другими частями аппарата вибрирует вместе с ней, как одно целое, но во время этих вибраций камера и микроскоп сохраняют те же самые относительные положения, и поэтому на снимке не получается смазывания. Вибрации самого здания передаются частью пружинами инструмента, но на снимок они почти не оказывают влияния. Для увеличений больших 800-кратных этот инструмент лучше, чем уже описанные накладные камеры: оперировать им удобнее, и так как мехи имеют значительную длину, увеличения могут быть даны желательного размера. Однако инструмент этот стоит 482,50 доллара (январь 1930 г.), а увеличения в 800 диаметров требуются не очень часто. Более того, если полированный шлиф имеет значительный рельеф, такое сильное увеличение и невозможно, так как часть снимка будет вне фокуса (рис. 6, Д).

Световые фильтры. Микрофотографии тонких шлифов, если их фотографировать при белом свете, обычно демонстрируют достаточно ясно контрасты между входящими в них разными минералами, и светового фильтра в этих случаях не требуется. Во многих тонких шлифах минералы слишком контрастируют в свете или окраске и фотографические снимки с них получаются хорошие; они удовлетворительно фотографируются без экранирования некоторых составных цветов белого цвета. Получаемые негативы могут считаться удовлетворительными, но печатная фотографическая бумага не передает контрастов так, как их передает негатив. Светло окрашенный минерал выходит на негативе темным, между тем как минерал, окрашенный в темный цвет, — прозрачным. Если контраст между минералами на негативе слишком велик, светло окрашенный минерал придется для выявления деталей печатать так долго, что темно окрашенный минерал будет перепечатан, и его детали будут стертые. В этом случае надо принять некоторые меры для того, чтобы смягчить контраст между минералами. Это достигается при помощи замены белого света красным или желтым. Наблюдения над многими микрофотографиями тонких шлифов, помещенными в геологических журналах, показывают, что указанное следствие сверхконтрастирования принималось во внимание недостаточно.

С другой стороны, большая часть минералов в полированном шлифе имеет серую окраску разных оттенков, и контраст между цветами может быть так незначителен, что границы между минеральными компонентами будут почти не видны. В таких случаях надо найти средства для усиления контраста между минеральными компонентами. Это достигается путем экранирования некоторых цветов, входящих в белый цвет. Для получения хороших результатов нужна панхроматическая пластинка, т. е. пластинка,

чувствительная ко всем цветам видимого спектра. Автор пользовался удивительно хорошо удовлетворявшей этому требованию пластинкой М. Раттена (Wratten), изготовляемой фирмой Истмэн Кодак. Подробные сведения об этой пластинке даем ниже.

Цветным фильтром является слой цветной эмульсии между двумя стеклянными пластинками. При прохождении света например сквозь зеленый фильтр поглощаются цвета красного конца спектра, и проходит только зеленый с несколькими другими цветами, близко находящимися от него в спектре. Для получения контрастного снимка между двумя минералами, находящимися близко один к другому в цветном спектре, берется фильтр, пропускающий свет на другом конце спектра.

Возьмем следующий специфический пример. Халькопирит имеет светложелтый, а галенит серебристо-белый цвет. Задание состоит в усилении контраста их окраски. Если применяется желтый фильтр (например фильтр К₂ Раттена), халькопирит отражает желтый цвет, и его окраска вследствие прохождения света через фильтр существенно не изменяется. Галенит вследствие своей белой окраски отражает значительную часть видимого спектра, включая и желтый цвет, но только желтые лучи и близкие им по длине световой волны достигают глаза; такое же количество лучей на другом конце спектра поглощается спектром. Поэтому и халькопирит и галенит отражают желтый свет, и контраст между ними уменьшается. Желтый фильтр очевидно не годится для выявления контраста между двумя желтыми минералами или между желтым и белым минералом. С другой стороны, если пользоваться для халькопирита и галенита голубым фильтром, галенит, отражающий большинство цветов спектра, будет отражать его голубые компоненты. Халькопирит поглощает цвета вблизи голубого конца спектра, и если голубой луч попадет на него, минерал будет казаться темным. На фотографии поэтому халькопирит будет темнее галенита.

Фильтры Раттена, изготовляемые фирмой Истмэн Кодак, сказались для данной цели весьма удовлетворительными. Они не вполне монохроматичны, но их монохроматичность была бы скорее невыгодна. Голубой фильтр например передает, но не в одинаковой пропорции все цвета спектра; поглощая большую часть красных лучей, он пропускает лишь незначительную их долю. С другой стороны, он пропускает большую часть синих лучей, поглощая незначительную их долю.

Фильтры, применявшиеся автором: А — красный, В — зеленый, К₂ — желтый, С — темножелтый и Н — синий. Некоторые исследователи предлагали другие цвета, но, по мнению автора, подбору оттенков того или другого цвета придают при этом слишком большое значение.

Приводим частичный список фильтров этой группы, пригодных для разных минеральных комбинаций:

Халькопирит и галенит — Н — наилучший; В — очень хорош.

Халькопирит и пирит — Н.

Халькопирит и халькозин — В.

Халькозин и борнит — пригоден любой фильтр; фильтра не требуется.

Халькозин, борнит и халькопирит — В.

Пестрый халькозин, нужен — В.

Халькозин и ковеллин — Н (ковеллин дает темные отпечатки и надо принимать меры к ослаблению контраста).

Железные блеск и магнетит — Н.

Борнит и ковеллин — Н — наилучший; В дает очень слабый контраст.

Борнит и теннантит — В.

Аргентит и галенит — В.

Сфалерит — К₃; при других фильтрах этот минерал кажется слишком темным.

Жильные минералы — К₃ или G лучше других; при других фильтрах прозрачные минералы дают слишком темные отпечатки.

Фильтры А и G хороши для смягчения контраста.

Фирмы, изготовляющие фильтры, сообщают сведения о длительности экспозиции при каждом особом свете. Эта длительность является кратным от времени, требующегося каждым фильтром для того, чтобы придать негативному изображению ту же силу, какую он будет иметь при съемке белым светом. Микрофотография пирита и халькопирита, например изображенная на рис. 6, была снята горизонтальной микрофотографической камерой Бауша и Ломба при помощи 16-мм объектива и вольфрамовой лампочки накаливания. Увеличение равняется 112. Съемка потребовала 2-минутной экспозиции при фильтре В и только 20 сек. при отсутствии фильтра. Сила негативов в обоих случаях была одинаковой. Коэффициент экспозиции равен поэтому 6.

Экспериментальным путем при пластинке М и вольфрамовой лампочке накаливания получены были следующие коэффициенты, несколько отличные от цифр, сообщаемых изготовляющими фильтры фирмами: без фильтра 1; А — 2,5; В — 6; К₃ — 2,5; G — 5; Н — 21.

Коэффициенты экспозиции изменяются в связи с толщиной слоя эмульсии, характером цвета и света. Исследователю лучше всего определить эти данные самому экспериментально. Подойти к этому всего удобнее, разделив негатив на пять полос и сняв фотографию с каждой полосы порознь. Дверка кассетки выдвигается настолько, чтобы закрывать только одну пятую часть ширины негатива. На противоположной стороне задвижной дверки, там, где пластинка соприкасается со своим пазом, делается цветным карандашом отметка. Затем дверка вдвигается настолько, что начинает закрывать две пятых негатива, и на противоположной стороне ее делается новая отметка карандашом. Ту же процедуру повторяем и для следующих полос негатива.

Длительность экспозиции возрастает в геометрической прогрессии. Например первая полоса экспонируется на 10 сек., вторая — на 20 сек., третья — 40 сек., четвертая — 80 сек. и пятая — 160 сек. Если последняя полоса при появлении покажется недодержанной, та же самая процедура экспонирования продолжается в течение уже не секунд, а минут, например 1, 2, 3, 4, 8 и 16 мин. Экспозиция полос совершается следующим образом.

Дверка выдвигается до полного обнажения пластинки, подвергаемой экспозиции в течение 10 сек. Затем она задвигается на одну пятую своей длины, и пластинка снова экспонируется на 10 сек. Одна пятая пластинки следовательно экспонируется на 10 сек., а четыре пятых на 20 сек. Дверка продвигается затем

еще на одну пятую ширины пластинки, и на 20 сек. экспонируется остальная часть пластинки. $\frac{3}{5}$ пластинки прошли таким образом экспозицию в течение 40 сек. Затем дверка продвигается еще на $\frac{1}{5}$ ширины пластинки, и остальная часть пластинки экспонируется на 40 сек. Последние $\frac{2}{5}$ доли пластинки прошли следовательно через экспозицию в течение 80 сек. Затем дверка подвигается далее, и не закрытой остается только $\frac{1}{5}$ часть негатива, которая и экспонируется на дополнительные 80 сек., так что эта последняя полоса подвергается экспозиции в течение 160 сек. Пластика проявляется, исследуется и на ней выбирается полоса, имеющая желательную силу отпечатка; или, если желательная степень силы окажется между двумя прилегающими друг к другу полосами, выбирается срок средней между длительностью двух экспозиций.

Если для сѐмки вместо вольфрамовой лампы накаливания применяется дуговая лампа, приемы фильтрования будут несколько отличны от только что описанных, и экспериментатор должен сам устанавливать таковые. Дуговая лампа может оказаться нужной при снятии фотографии с очень большим увеличением.

Формула экспозиции. На длительность экспозиции влияют и другие факторы, самым важным из которых является числовая апертура примененной линзы и увеличение. Апертура линзы есть угол наиболее широкого конуса лучей, который линза может использовать. Числовая аппаратура (обычно отмечаемая на объективе буквами *NA*) представляет собою произведение синуса половины угла отверстия на показатель преломления среды (воздуха, масла и пр.), в которой происходит работа с объективом. Чем длиннее фокус и чем слабее увеличение объектива, тем меньше будет числовая апертура. Экспозиция негатива изменяется в обратном отношении к квадрату числовой апертуры. Нижеследующая таблица содержит числовые апертуры разных объективов, применявшихся автором, и соответственные сроки экспозиции, относительно вычисленные для 16-мм объектива.

Линзы	<i>NA</i>	$\left(\frac{1}{NA}\right)^2$	Приблизительный срок экспозиции
32-мм	0,10	100	6,2
24-мм, Лейтц № 2	0,20	25	1,7
16-мм	0,25	16	1,0
9-мм, Лейтц № 4	0,45	5	$0,31 = \frac{1}{3,2}$
4-мм	0,85	1,4	$0,096 = \frac{1}{11,6}$

Срок экспозиции негатива изменяется пропорционально квадрату увеличения. Таким образом коэффициент числовой апертуры и коэффициент увеличения стремятся уравновесить друг друга.

Возьмем конкретный случай: негатив (рис. 6 В) был экспонирован в течение 2 мин. с фильтром В, при 16-мм объективе и вольфрамовой лампочке накаливания и при увеличении 112. При снятии той же фотографии при 32-мм объективе с увеличением 47 по этому расчету потребуется экспозиция длительностью в

$$2 \text{ мин.} \times 6,2 \times \frac{47^2}{112^2} = 2,2 \text{ мин.}$$

Фактическая длительность, установленная путем экспонирования последовательных полос негатива, равнялась 3 мин. (рис. 6 А). Очевидно приведенный выше коэффициент не очень точен.

Та же самая процедура применялась и к другим объективам, и результаты расчетов и наблюдений могут быть сведены к ниже следующей таблице:

Линзы	Увеличение	Экспозиция в минутах	
		по расчету	по данным опыта
32-мм	47	2,2	3
24-мм	70	1,33	2,67
16-мм	112	2	2
9-мм	200	2	1,5
4-мм	455	2,85	2,0

Из приведенных данных видно, что объективы слабого увеличения действуют медленнее, а объективы сильного увеличения быстрее, что и можно заключить из теоретических расчетов. Экспериментатору следует вести аккуратную запись сделанных экспозиций, и эти данные окажутся более полезными для определения длительности будущих экспозиций, чем расчеты, приведенные выше.

Проявление и печатание. Панхроматические пластинки должны быть проявлены в полной темноте или при специальном зеленом свете Раттена. Автор предпочитает работать в полной темноте, проявляя определенные сроки в зависимости от температуры. Пластинка проявляется в ванне, вынимается из нее, прополаскивается в воде, и затем кладется в ванну с вираж-фиксажем.

Пиро- или эломгидрохиноновые проявители, формулы которых приводятся на карточках внутри коробок с М пластинками Раттена, удовлетворительны. Автор предпочитает однако пользоваться проявителем родинал, изготовляемым фирмой Агфа Анско и продаваемым в жидком виде в полулитровых бутылках. Разводя 5 см³ раствора 95 см³ воды, получаем достаточный раствор для ванны размером 10 × 12 см. Проявитель родинал окисляется менее быстро, чем проявитель пиро, и поэтому может быть использован для нескольких пластинок. Если проявление происходит в течение трех часов, в одном и том же растворе можно проявить шесть и более пластинок. По мере проявления новых

пластинок раствор теряет силу, и лучше сменить его на свежий, чем тратить неопределенное время на дальнейшее проявление в том же растворе. Автор предпочитает снимать и проявлять каждую фотографию порознь. Это может быть менее экономно в смысле времени, чем с'емка и проявление нескольких негативов сразу, но сомнительно, чтобы при большом количестве этих операций последний способ оказался выгодней. При снимании и проявлении каждой фотографии порознь ошибки в процедуре и дефекты аппарата или материалов открываются сразу и можно немедленно же принять меры к их исправлению.

Как видно из нижеследующих данных, время проявления зависит от температуры: $26,5^{\circ}\text{C}$ — 1,5 мин., 24°C — 2 мин., 21°C — 3 мин., 18°C — 4 мин. Виражем лучше всего пользоваться кислым. Фиксирование пластинок в такой ванне не требует абсолютной темноты. После их погружения в фиксаж можно впустить в небольшом количестве дневной свет. Хорошим составом его является следующий: серноватистокислый натрий («гипо») 300 г, метабисульфит калия 25 г, 1 000 см³ воды. Фиксирование продолжается до тех пор, пока на эмульсии, если смотреть на нее с противоположной стороны пластинки, не исчезнет молочность. Затем негатив моется полчаса в проточной воде и высушивается.

Выбор печатной бумаги зависит от контраста между минералами, наблюдаемого на негативе. Если контраст слаб, требуется контрастная бумага; контрастный негатив требует бумагу, дающую меньший контраст.

Глянцевитая бумага желательна, так как детали выступают на ней отчетливее, чем на матовой. Отпечатки монтируются на ферротипной пластинке.

Литература. Предмет микрофотографии слишком обширен и сложен для того, чтобы описывать его здесь во всех его тонкостях. Отличным руководством является Handbook of Photomicrography, by H. Lloyd Hind and W. Brough Randles, изданные фирмой George Routledge (Ltd); London, 1927 г. Укажем еще книжечку Photomicrography, изданную фирмой Eastman Kodak Co.

Рис. 6.

Микрофотографии полированной поверхности образца из рудника Магма Супериор (Аризона).

Пирит *py*, халькопирит *cp*, борнит *bn* и кварц *qtz*.

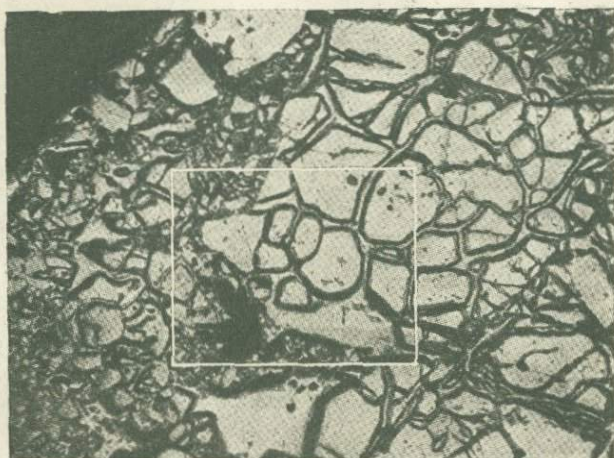
То же самое поле, снятое для иллюстрации рельефа разными объективами. Белые прямоугольники на *A*, *B* и *C* отмечают площади, снятые соответственно *B*, *C* и *D*. Фильтр *B* зеленый. Горизонтальная фотографическая камера Бауш и Ломба.

A. 32-мм объектив, 3-минутная экспозиция, $\times 47$. Черные края на периферии зерен пирита выражены очень сильно. Это вызвано отражением от скошенных краев пирита (стр. 40).

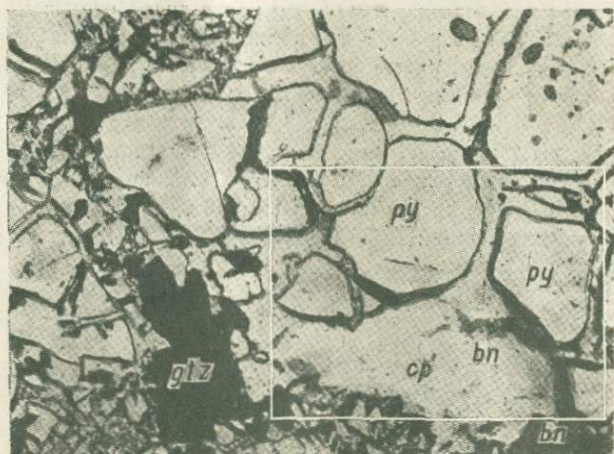
B. 16-мм объектив, 2-минутная экспозиция, $\times 112$. Черные края выражены гораздо менее, чем в *A*, благодаря тому, что конус лучей, отражаемый поверхностью, имеет более плоский характер, чем при 32-мм объективе, и лучи, падающие на скошенный край пирита, имеют более скошенное направление. 16-мм объектив является для большинства задач наиболее подходящим.

C. 9-мм (№ 4 Лейтца) объектив, 1,5-минутная экспозиция, $\times 200$. Этот снимок тоже удовлетворителен, но объектив был фиксирован на более мягких минералах и несовершенства поверхности (небольшие ямки) пирита слегка вышли из фокуса. Черные края вышли очень слабо.

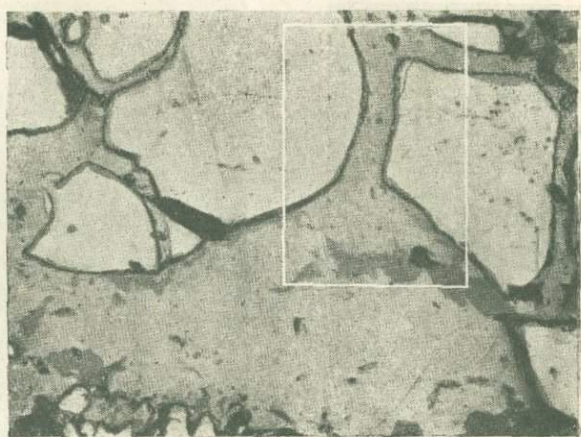
D. 4-мм объектив, 2-минутная экспозиция, $\times 455$. Пирит совершенно вне фокуса.



A



B



C



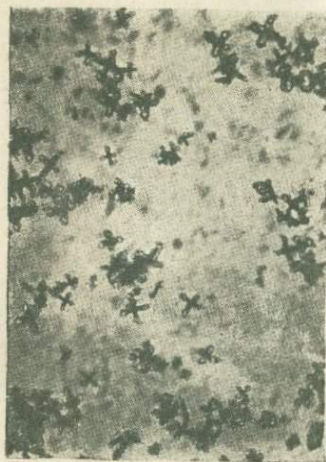
D



A



B



C



D

Рис. 18. Микрохимические испытания на цинк.

A, B — кристаллы двойной роданистой соли ртути и цинка, полученные из 0,5% раствора азотнокислого цинка, $\times 128$.

C, D — кристаллы двойной роданистой соли ртути и цинка, полученные из 0,1% раствора азотнокислого цинка, $\times 208$.

Часть II

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Цвет

Цвет прозрачного минерала в отраженном свете в значительной степени зависит от показателя его преломления. Минералы невысокого показателя имеют слабую способность отражения и большую часть падающего на них света поглощают. Цеолиты почти черны, кальцит и кварц имеют темносерый, а сфалерит светлосерый цвет. Когда свет падает косо, эти минералы имеют внутреннее отражение. Внутреннему отражению способствуют незначительные швы и спайные трещины внутри зерен. Внутреннее отражение минерала имеет обычно тот же самый цвет, как и сам минерал в штучном образце. Кварц — белый, сфалерит — бурый, куприт — красный и т. д. Внутреннее отражение лучше всего заметно при выключении света, падающего из вертикального иллюминатора, и при такой установке лампы, чтобы ее свет падал косо на поверхность образца.

Непрозрачные минералы при хорошей полировке отражают почти весь свет, на них падающий, и поэтому при вертикально отраженном свете кажутся светлее, чем прозрачные минералы. При вертикальном отражении света отчетливую цветную окраску имеют лишь немногие непрозрачные минералы. Огромное большинство их белые или имеют разные оттенки и тона серого цвета. Минералы с определенной окраской распознаются по своему внешнему виду или при помощи царапания иглой. При навыке цветовая память может быть развита так сильно, что исследователь с одного взгляда распознает некоторые из наиболее обычных белых и серых минералов, равно и минералы с какими-нибудь более характерными цветами. Мордок ¹⁷ имеет полное основание утверждать, что начинающий эту работу может вначале испытывать в распознавании минералов по их цвету некоторые затруднения, но способность различения тонкостей окраски возрастает очень быстро по мере навыка, и можно удивляться, что даже после недельной практики в этом деле наблюдатель начинает замечать значительно больше, чем в самом начале работы.

Цвет минерала является, пожалуй, самой ценной особенностью его при определении. Благодаря окраске, облику кристаллов и рельефу можно по внешнему виду определить все наиболее обычные рудные минералы в роде пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, арсенопирита, галенита и гематита. Это чрезвычайно благоприятно, потому что, если бы при определении каждого минерала следовало проходить через испытание травлением и через

микрoхимический анализ, количество времени, необходимое для исследования ряда образцов, крайне задерживало бы работу.

Описать цвет полированной поверхности минерала так, чтобы человек, не знакомый с делом, по этому описанию мог распознать его, трудно. Тэлмейдж (Talmage¹⁸) в своем очень интересном рассуждении о значении описания окраски говорит следующее:

„Описания цвета имеют столько же толкований, сколько толкователей. Ни один из этих по-ледних не в состоянии добраться до той идеи, которую в свое описание вкладывал автор его. Описания одного и того же цвета, вышедшие из под пера разных исследователей, бывают разноречивы между собой. Возьмем например очень обычный минерал пирротин. Цвет его описывался на разные лады, как светлoбронзовый, кремoвый, бледный красновато-желтый, бледный кремoно-бурый, бронзово-желтый и бледный буровато-кремoвый, но никто не может сказать по любому из этих описаний, как выглядит пирротин на самом деле. Однако, если человек поработал с ним, термин „пирротинoвый цвет“ вызывает в его уме очень определенное представление“.

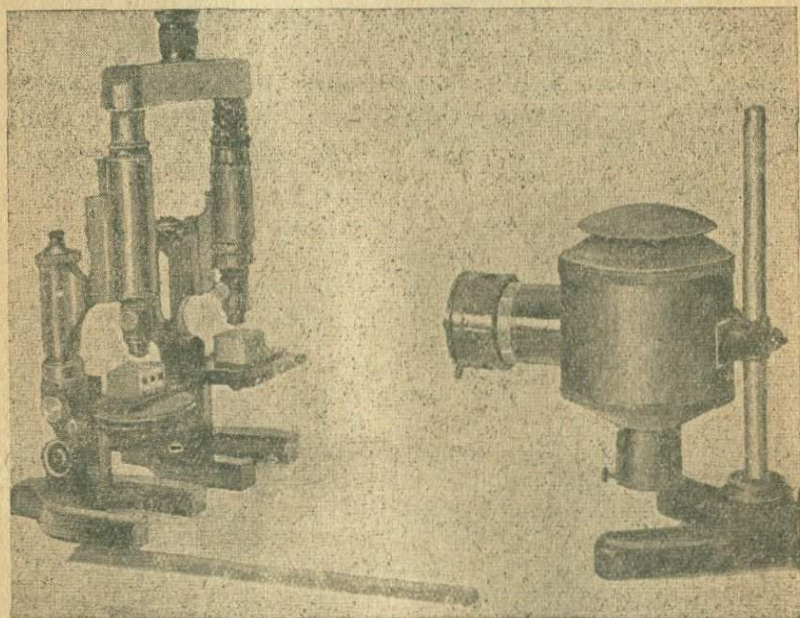


Рис. 7. Микроскоп для сравнений.

Взгляд этот автор принимает целиком. Пирротин имеет определенный цвет, но он плохо поддается точному описанию. Если представление об этом цвете прочно врезалось в память при исследовании достаточного числа полированных шлифов пирротина, его можно распознать сразу. Кубанит CuFe_2S_3 и быть может один-два других минерала имеют такой же «пирротинoвый цвет».

То же самое надо сказать о сфалерите, имеющем своеобразный серый цвет с синеватым оттенком. При некоторой практике цвет этот распознается без промаха, но никакое, даже самое многословное, описание его не передает воображению точного пред-

ставления «сфалеритового цвета». Дэви и Фарнхэм особенно настаивают на формуле «кремовый цвет», прилагаемой ими к пириту, марказиту, пирротину, чальмерзиту, пентландиту и некоторым другим минералам. Но ни один из этих минералов, по мнению автора, кремового цвета не имеет. Пирит, марказит, пентландит и миллерит близко похожи один на другой по цвету, который можно определить как бледножелтый.

Не следует забывать, что способность различать цвета очень различна у разных лиц, и это обстоятельство весьма затрудняет проведение на основании цвета какой-либо систематической классификации цветов в роде предлагаемой в книге Мордока.

Микроскоп для сравнения¹ (рис. 7) является наилучшим инструментом для сопоставления цветов двух минералов, не имеющих контакта друг с другом. Он состоит из двух укрепленных микроскопов, имеющих каждый свой объектив и отражательный иллюминатор. Вместо двух окуляров у него только один, помещенный между трубками, и изображение проектируется с объективов в окуляр при помощи призм. Окуляр показывает обе изучаемые поверхности, занимающие каждая половину поля зрения. Для работы с ним нужны хорошо подобранные один к другому рефлекторы. Тэлмейдж рекомендует вместо призматического стекляннодисковый рефлектор, так как он дает более ровное освещение. Одинаковое освещение необходимо: оно достигается путем полировки шлифов одного и того же образца галенита, кладущихся по одному на каждую платформу микроскопов; источник света и рефлектор устанавливаются так, чтобы вид обеих половин поля зрения, рассматриваемого через сравнительный окуляр, был одинаков¹⁹.

Работа микроскопом для сравнения убедила Тэлмейджа в том, что нет двух минералов, даже среди отнесенных к разряду серых или белых, которые имели бы один и тот же цвет, и что следовательно каждый наблюдатель, независимо от своей собственной светочувствительности, при помощи такого микроскопа может наблюдать разницу в окраске минералов.

Микроскоп для сравнения выявляет также тот факт, что цвет минерала зависит частью от его окружения. По мнению Тэлмейджа²⁰,

„Халькопирит в поле из серых или белых минералов выглядит мелко-желтым: на фоне чистого самородного золота халькопирит имеет грязный зелено-оливковый цвет, а в соседстве с самородной медью имеет почти травянисто-зеленую окраску. Теннантит и тетраэдрит представляют собой другую почти неразличимую пару. Но при сравнении их обоих с галенитом, теннантит выглядит бледно-зелено-оранжевым, тогда как тетраэдрит бурым с зеленоватым оттенком“.

Сделано много попыток, чтобы дать определение степеней окраски рудных минералов. Мордок²⁰ говорит:

„Исключая случаи стечливой окраски минералов, различия в цвете так незначительны, что даже спектроскопические измерения длины отраженной волны окажутся вероятно малодейственными. Книги в цветах и цветовых стандартах имеют дело с гораздо более яркими цветами, чем те, которые мы наблюдаем у большинства окрашенных белых минералов. Книга Риджвея (Ridgway) Color standards and nomenclature, дающая словесные обозначения для 1100 цветов, лучшая среди них. Риджвей дает цветные таблицы, воспроизво-

¹ У нас он известен под названием камеры Иностранцева. (Прим. ред.).

дящие оттенки и тона цветов спектра наряду с белым бланком для сравнения с самым слабым тоном каждого цвета. Невыгодно то, что за исключением относительно немногочисленных отчетливо окрашенных минералов, все сульфидные минералы имеют цвета, промежуточные между чисто белым и окрашенной очень слабо, обычно очень близкой к белому, поэтому его стандарты и мало полезны для данной цели».

Шнейдерхен²¹ пользуется рисовальным окуляром при camera lucida, посредством которой он отражает изображение минерала на белый край бумаги цветной таблицы. Этот прием кажется автору менее совершенным, чем непосредственное сравнение при помощи микроскопа для сравнений.

Автор советует разделить белые и серые минералы путем их сравнения с самородным серебром, наиболее белым, и сфалеритом, наиболее темным из рудных минералов, на четыре разряда. Тогда получится следующая схема:

Серебро	—	A
Галенит	—	B
Аргентит	—	C
Тетраэдрит	—	D
Сфалерит	—	

Халькозин например темнее галенита и светлее аргентита и поэтому принадлежит к разряду B. Схема эта требует микроскопа для сравнений, и в настоящее время в определительных таблицах ею не пользуются.

Для работы микроскопом для сравнений дневной свет не дает достаточного освещения, так как в течение дня он слишком часто меняется и подвергается влиянию облачности и других атмосферных изменений. Искусственный свет, рекомендуемый Тэлмейджером, состоит из 75-ваттной 115-вольтной синей матовой лампы, экранированной фильтрами Раттена № 78b и 78c. «Это устройство, — пишет Тэлмейджер, — дает силу света в пределах шкалы нормального дневного освещения и обеспечивает хорошую видимость цветных оттенков. Минералы при таком освещении выглядят почти совсем так, как при дневном свете».

Следующие минералы, наблюдаемые при вертикально отраженном свете, окрашены не в белый или серый, а в иной цвет:

Цветные минералы

Цвет	Минерал	Состав
Фиолетовый или бледнолиловый	В оларит	$(Ni, Fe)_3S_4$
То же	Бравойт	$(Ni, Fe)S_2$
Пурпурный	Борнит (потускневший)	Cu_5FeS_4
То же	Рикардит	Cu_4Te_3
"	Умангит	Cu_3Se_2
"	Германит	Cu_2GeS_4
Индиго-синий	Ковеллин	Cu_2S
Синевато-серый	Халькозин	Cu_2S
Бледный розово-желтый	Пирит	FeS_2
То же	Миллерит	NiS
"	Марказит	FeS_2
"	Пентландит	$(Fe, Ni)S$

Цвет	Минерал	Состав
То же	Электрум	Au, Ag
Бронзово-желтый	Халькопирит	CuFeS ₂
Золотисто-желтый	Золото	Au
Бледный медно-розовый	Маухит	Ni ₃ As ₂
То же	Мелонит	Ni ₂ Te ₃
Медно-розовый	Медь	Cu
То же	Никелин	Ni As
"	Брейтгауптит	NiSb
Розовато-кремовый	Кобальтин	CoAsS
То же	Висмут	Bi
Розовато-серый	Энаргит (разновидность лузонит)	Cu ₂ S.4 Cu S, As ₂ S ₃
То же	Фаматит	Cu ₂ S ₄ Cu S, Sb ₂ S ₃
"	Колорадоит	HgTe
Дымчато-розовый	Борнит	Cu ₅ FeS ₄
Бурый	Штерибергит	AgFe ₂ S ₃
Бурый или розово-кре- мовый	Пирротин	FeS ₁ +
То же	Кубанит	CuS.2FeS
Кремовый	Эмплектит	Cu ₂ S, Bi ₂ S ₃
То же	Калаверит	(Au, Ag) Te ₂

Полированные шлифы многих прозрачных минералов имеют под микроскопом при косо (не вертикально) падающем свете отчетливую окраску. Ямки, трещины и плоскости спайности под поверхностью шлифа отражают обратно часть света, проникающего в минерал. Цвет минерала при таком освещении обычно почти одинаков с цветом порошка из этого минерала. Внутренние рефлексы наблюдаются и при вертикально падающем отраженном поляризованном свете (между скрещенными николями), если освещение достаточно сильно.

Минералы, имеющие отчетливое внутреннее отражение (рефлексы)

Цвет внутреннего отражения	Минерал	Состав
Оранжевый	Реальгар	AsS
То же	Кермезит	Sb ₂ S ₂ O
"	Рутил	TiO ₂
Зеленовато-желтый	Алабандит	MnS
Желтый	Аурипигмент	As ₂ S ₃
Желтовато-коричневый	Сфалерит	ZnS
То же	Касситерит	SnO ₂
"	Вольфрам	4ZnS. ZnO
Красный	Гематит	Fe ₂ O ₃
То же	Куприт	Cu ₂ O
"	Полибазит	8Ag ₂ S. Sb ₂ S ₃
"	Псарцит	8Ag ₂ S. As ₂ S ₃
"	Гираргирит	3Ag ₂ S. Sb ₂ S ₃
"	Прустит	3Ag ₂ S. As ₂ S ₃
"	Миаргирит	Ag ₂ S. Sb ₂ S ₃
"	Ялаит	3Ag ₂ S. Cu ₂ S ₃
"	Лорандит	Tl ₂ S. As ₂ S ₃
"	Баумгауерит	4PbS. 3As ₂ S ₃
"	Ливингстонит	HgS. 2Sb ₂ S ₃
"	Гаусманнит	Mn ₂ O ₄

Из неметаллических и некоторых металлических минералов, в роде сфалерита, гюбнерита и касситерита, получают порошки, окрашенные в цвета от белого до светлокоричневого. Из прозрачных и просвечивающих минералов, отчетливо окрашенных в штуфном образце, при обычном косом освещении,— получают обычно порошки, почти того же самого цвета. В отраженном свете эти минералы, как правило, серые или голубовато-серые. Порошки лучше всего изготовлять под отражательным микроскопом, держа иглу наклонно к полированной поверхности, нажимая ею на эту поверхность и сообщая ей в то же время вращательное движение. Порошок собирается кучками по обоим сторонам протачиваемой бороздки.

Минералы, дающие характерно окрашенные порошки

Цвет порошка	Минерал	Состав	Цвет минерала при вертикально отраженном свете
Красный	Куприт	Cu_2O	Синевато-серый
"	Киноварь	HgS	То же
"	Полибазит ¹	$8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Серый
"	Пираргирит	$3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Синевато-серый
"	Ирустит	$3Ag_2S \cdot As_2S_3$	"
"	Миаргирит	$Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Пепельно-серый
"	Пеарцит ¹	$8Ag_2S \cdot As_2S_3$	Зелено-оливково-серый
"	Ливингстонит	$HgS \cdot 2Sb_2S_3$	Серый
"	Лорандит	$Tl_2S \cdot As_2S_3$	То же
"	Янтраит	$(Ag, Cu)_3S$	То же
Красновато-бурый	Гематит	Fe_2O_3	Серовато-синий
Темный буровато-красный	Гаусманнит	Mn_2O_4	То же
Оранжевый	Резальгар	AsS	"
Светлооранжево-желтый	Аурипигмент	As_2S_3	Серый
Буровато-красный	Тетраэдрит ²	$5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$	"
То же	Теннантит ²	$5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2As_2S_3$	"
Красновато-оранжевый	Лимонит	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	"
Белый, переходящий в светло-бурый.	Сфалерит	ZnS	Синевато-серый
Оливково-зеленый	Алабандит	MnS	То же
Светлобурый	Хромит	$FeO \cdot Cr_2O_3$	Серый, подобно сфалериту
Темнобурый	Франклинит	$(Fe, Zn, Mn)O$	То же
То же	Манганит	$(Fe, Mn)_2O_3$	"
"	Браунит	Mn_2O_3	Серый
"	"	$Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$	То же

¹ Большинство образцов дает черный порошок.

² Некоторые образцы дают темный порошок.

Твердость

Относительно определения твердости тоже нет согласия между специалистами²². Методы для определения относительной твердости материалов вкратце состоят в следующем:

1. Царапание иглой или другим острым инструментом.
2. Давление на поверхность при помощи стального шара.
3. Удар по поверхности посредством бросания на нее стального шара.
4. Шлифовка поверхности на стальном круге с наждаком или другим подобным шлифующим материалом. Продолжительность времени, необходимого на стачивание известного весового количества минерала стандартных размера и формы, и является мерилом твердости.
5. Сверление алмазным наконечником стандартного размера и формы, число оборотов сверла, требующееся для просверливания минерала на известную глубину, и является мерилом твердости.

Из всех перечисленных приемов методы царапания являются самыми приложимыми к минералам вообще, они — единственно приложимы к полированной поверхности под микроскопом. Метод царапания, наиболее распространенный до настоящего времени, описан Мордоком²³. Игла Sharp № 10, вставленная в ручку длиной в 12—15 см, весом около 7 г. Игла вводится в поле зрения микроскопа, ставится под углом к полированной поверхности и протаскивается (не проталкивается) по поверхности минерала с острием, наклоненным вниз и назад. Мордок различает три следующие твердости:

1. Минералы мягкой или низкой твердости, которые могут легко царапаться тяжестью одной только ручки иглы или при самом незначительном нажиме на иглу.
2. Минералы средней твердости, которые едва царапаются при легком давлении, но легко при умеренном или сильном нажиме.
3. Твердые или весьма твердые минералы, которые едва царапаются или совершенно не царапаются при сильном нажиме.

Автор применял этот метод самым старательным образом в течение нескольких лет, но неточности определений, на нем основанных, повинны во многих серьезных ошибках. Конец иглы бывает острым только при небольшом количестве испытаний на твердость, он загибается подобно концу лыжи, и его царапающее действие ослабляется.

Рудные минералы имеют все степени твердости — от очень твердых до очень мягких, и всякая схема деления их на группы является произвольной; перекрывания одной группы другой неизбежны. Далее — некоторые минералы в разных кристаллических направлениях степень своей твердости изменяют очень значительно.

Минералов, близко подходящих к границе между средним и мягким разрядами схемы Мордока, больше, чем минералов между средним и твердым разрядами. Острая игла оставит царапины на халькопирите, тетраэдрите и сфалерите — минералах, занесенных Мордоком, Дэви и Фарнхэмом в разряд минералов средней твердости. Средний работник бывает не в силах решить, царапаются ли эти минералы легко, попадая в «мягкий» разряд, или царапаются слабо и поэтому должны попасть в «средний» разряд.

По соображениям, изложенным выше, автор решил отказаться от «среднего» разряда Мордока и перечислить минералы, относимые прежде к разряду средней твердости, в «мягкий» разряд.

Предлагаемая им схема принимает только два разряда твердости:

1. Мягкие минералы, легко царапающиеся иглой.

2. Твердые минералы, царапающиеся иглой с усилием или не царапающиеся совсем.

Есть конечно минералы, относительно которых исследователь затруднится считать их легко или трудно царапающимися. Это неизбежно, и опыт является единственным руководителем при разрешении этого вопроса в отдельных случаях.

Заключения относительно твердости, исходящие из сопротивления сошлифовыванию, полезны лишь относительно. Из двух рядом расположенных минералов более твердый минерал будет более рельефным, чем мягкий. При полировке рельеф исчезает. Ца-

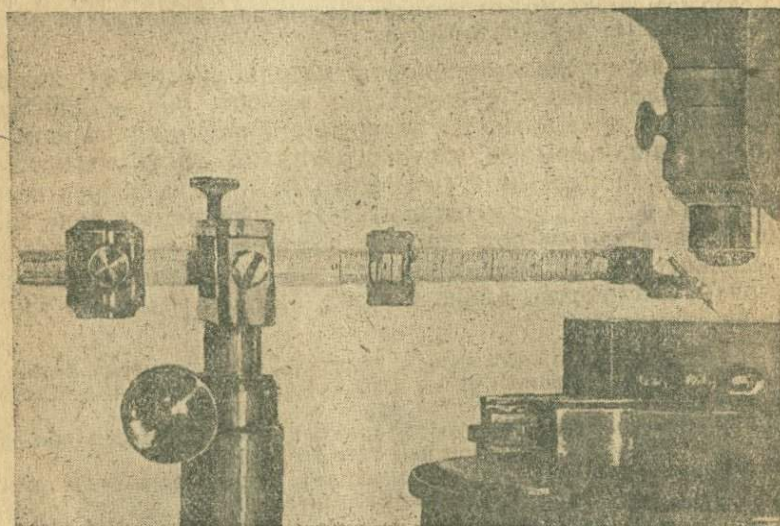


Рис. 8. Прибор Тэлмейджа для определения степени твердости. Детальное изображение царапающего механизма.

рапина, проходящая с мягкого минерала на твердый, менее заметна на твердом минерале, чем на мягком. Сверх того при определении различий твердости между двумя рядом лежащими непрозрачными минералами имеет значение одно явление, отчасти похожее на метод Бекке, применяемый в петрографии для установления разницы показателей преломления прилегающих один к другому прозрачных минералов. Более твердый минерал имеет край, наклоненный в сторону более мягкого минерала. Свет, падающий на этот край, отражается за пределы поля зрения, и поэтому появляется темная полоса. Вдоль темного края (со стороны более твердого материала и параллельно ему) тянется полоска света. Если тубус микроскопа поднимается, эта яркая полоска света движется от твердого минерала к мягкому, если тубус опускается, происходит обратное²⁴.

Недавно Тэлмейдж²⁵ дал описание прибора для измерения относительной твердости минералов. Он состоит в основном из алмаза, прикрепленного к коромыслу, с нанесенными на него де-

лениями (рис. 8). На коромысло надета скользящая гирька, сходная с гирькой десятичных весов. Конец алмаза клинообразно заострен наподобие топора. Коромысло укреплено горизонтально на алмазных осях и находится в состоянии равновесия, если подвижная гиря находится на нуле. Прибор устроен так, что царапающее острие находится прямо под объективом микроскопа, и всю операцию царапания можно в него наблюдать. При помощи подвижной гирьки Тэлмейдж определяет величину давления, необходимого для того, чтобы произвести царапину определенной ширины, называемую им стандартной царапиной. Алмаз остается неподвижным, а шлиф движется под ним при помощи микрометрической платформы.

Тэлмейдж делит минералы по их твердости на семь следующих разрядов:

Обозначение	Типичный минерал	Положение гирьки на коромысле	Действительный вес на весах (в г)
A	Аргентит	0,2	0,105
B	Галенит	0,4	0,210
C	Халькопнит	0,7	0,365
D	Те раздрит	1,0	0,520
E	Никелин	1,5	0,775
F	Магнетит	2,0	1,035
G	Ильменит	3,0	1,550

По Вандериульту²⁶

„Этот прибор дает надежные и легко доступные контролю результаты, если только поверхности изучаемых минералов имеют полировку, свободную от всяких царапин. Можно считать, что прибор Тэлмейджа дает гораздо более точные данные о твердости при царапании, чем всякий другой из применяемых до сих пор. На поверхностях поцарапанных и покрытых ямками царапина, сделанная краем алмаза, не может быть отчетливо видна, и испытание ненадежно“.

Опыты, делавшиеся автором при помощи прибора Тэлмейджа, показывают, что время, требующееся для производства надежных испытаний твердости, равняется приблизительно 15 мин.

Этот прибор не изготавливается ныне для продажи, и потому устройство его сопряжено с некоторыми затруднениями. Нет уверенности в том, возможно или нет построить другой такой же прибор, при помощи которого были бы повторены цифровые результаты, полученные Тэлмейджем, но нет сомнений в том, что прибор, вполне сходный с описанным, построить можно, и цифры, отвечающие типичным минералам таблицы Тэлмейджа, могут быть устанавливаемы без затруднений.

Разряды Тэлмейджа А, В, С и D соответствуют группе «мягких» минералов в классификации автора настоящей работы, а разряды F и G — разряду «твердых». Разряд E находится приблизительно на границе между твердыми и мягкими, и минералы этой степени твердости входят в оба разряда.

Определения твердости, полученные Тэлмейджом, даны в 3-й части настоящей работы. Некоторые из даваемых нами определений отличаются от данных, сообщенных Тэлмейджом, потому что данные относительно этих минералов он получил из опытов над образцами коллекции Мордока, неправильно обозначенными при этикетировании. Автор, пользуясь прибором Тэлмейджа, определил твердость ряда минералов, не входивших в эту коллекцию, и найденные результаты включил в свои таблицы. Он полагает, что определение Тэлмейджа открывает картину относительной твердости разных минералов, особенно минералов «мягкого» разряда. Нетрудно поэтому получить представление о твердости «гессита» (разряд А), близкого по твердости к типичному по Тэлмейджу минералу — аргентиту, в то время как миллерит (разряд D) находится почти на границе между разрядами «твердым» и «мягким». Всякий исследователь, приобретая некоторый опыт в царапании уже изученных минералов при помощи иглы и справляясь с определением твердости в таблицах Тэлмейджа, будет уметь подразделять в общих чертах минералы «мягкого» разряда по степени их твердости.

Исследование непрозрачных минералов в поляризованном свете

Сущность метода. Самым надежным способом определения неизвестного непрозрачного минерала является испытание на анизотропность. Испытание это требует меньше минуты времени, а результаты его весьма определены и поучительны. При таком испытании призма Николя помещается между источником света и вертикальным иллюминатором металлографического микроскопа; отраженный полярированной поверхностью свет проходит через другую призму Николя, плоскости колебания которой перпендикулярны или почти перпендикулярны с плоскостями колебания поляризующих призм. Изотропные минералы не вызывают перемены в поляризованном направлении света, в них ударяющегося. Анизотропные же минералы вызывают поворот плоскости поляризации падающего света, и когда свет проходит через анализатор микроскопа, наблюдаются явления интерференции света. Количественных оптических данных, соответствующих данным, получаемым при исследовании прозрачных минералов посредством петрографического микроскопа, при исследовании непрозрачных минералов получить нельзя. Степень получаемого поворота плоскости поляризации можно измерить, но он достигает примерно только 5° у минерала, вызывающего наибольший поворот; у всех других минералов он меньше. Наиболее ценные результаты имеют качественный характер. Минералы, кристаллизующиеся в кубической системе, и минералы аморфные — изотропны; минералы, кристаллизующиеся в пяти других кристаллических системах, анизотропны. При помощи этого испытания минерал может быть быстро отнесен к одному из двух главных разрядов, и в определительных таблицах такое разделение делается впервые в нашей работе.

Литература. Пионером в деле изучения действия поляризованного света на непрозрачные минералы был Кенигсбергер (Koenigsberger)²⁷.

Его прибор пользуется только одним никодем-анализатором. Между вертикальным иллиминатором и анализатором помещается пластинка Саварта. Он описывает анизотропность ряда минералов. Математическое обсуждение оптических принципов построения прибора Кенигсбергера дано Райтом (Wright)²⁸, описывающим некоторые усовершенствования этого аппарата и рекомендуя применение вместо пластинки Саварта райтовского бикварцевого клина.

Усиленный интерес к возможностям, открываемым этим методом, был вызван работой Шнейдерхена²⁹. В основном именно его прибор и применялся последующими исследователями, в том числе и автором настоящей книги. Теоретическое изучение этого явления, принадлежащее Береку (Berek), входит в работу Шнейдерхена. Сэмпсон (Sampson)³⁰ дал критическую оценку метода Шнейдерхена, присоединив к ней много оригинальных замечаний. Ван-дер-Вен³¹ дал критику некоторых теоретических заключений Шнейдерхена. Отличное описание прибора и указания, как им пользоваться, дали Осборн (Osborne)³² и Фейрбэнкс (Fairbank)³³. Самое новое и во многих отношениях самое полное описание метода дал Сэмпсон³⁴.

Аппаратура. Петрографический микроскоп с никодем-анализатором в тубусе является наилучшим инструментом для исследования анизотропности. В металлографический микроскоп он превращается путем простого включения вертикального иллиминатора между тубусом и объективом. Нижний никодем петрографического микроскопа не применяется на месте его нормального прикрепления, но может быть вынут из своей оправы и закреплен в таком положении, что свет будет проходить через него горизонтально и поляризоваться, прежде чем достигнет вертикального иллиминатора. Предпочтительнее однако оставлять нижний никодем на своем месте для того, чтобы иметь возможность быстро превращать инструмент обратно в петрографический микроскоп. В качестве поляризатора автор пользуется небольшим никодем (изготовленным Лейтцем), прикрепленным к вертикальному иллиминатору и имеющим вращательное движение (рис. 8). Вместо внутреннего анализатора можно пользоваться накладным анализатором. Он требуется, если применять райтовский бикварцевый клин (стр. 48). Накладной анализатор уменьшает поле зрения и очень утомителен для глаза; применения его нельзя рекомендовать кроме тех случаев, когда он не может быть заменен. В инструменте автора внутренний анализатор имеет вращательное движение в пределах 90° . Он удобнее, чем анализатор, укрепленный неподвижно, но безусловной необходимости в нем нет, так как тот же самый оптический эффект получается посредством поворотов поляризующего николя. Сэмпсон полагает, что плоскость колебания поляризатора должна быть параллельной или перпендикулярной к плоскости рефлектора вертикального иллиминатора; установка этих плоскостей в промежуточное положение вызывает серьезные нарушающие эффек-

ты. Обычно свет, например отраженный дневной, или обыкновенная электрическая лампочка накаливания недостаточны для исследования непрозрачных минералов в поляризованном свете. Для более сильного освещения достаточна небольшая дуговая лампа. Дуговая лампа, применяемая в Харвардской лаборатории прикладной геологии, изготовлена Лейтцем и известна как дуговая лампа-лилипут (рис. 9). Она снабжена часовым механизмом для автоматической подачи угля электрической дуге; это приспособление удобно, но необходимости в нем нет. Реостат, дающий приблизительно 13 омов, необходим при пользовании током в 110 V. Постоянный ток здесь предпочтительнее переменного.

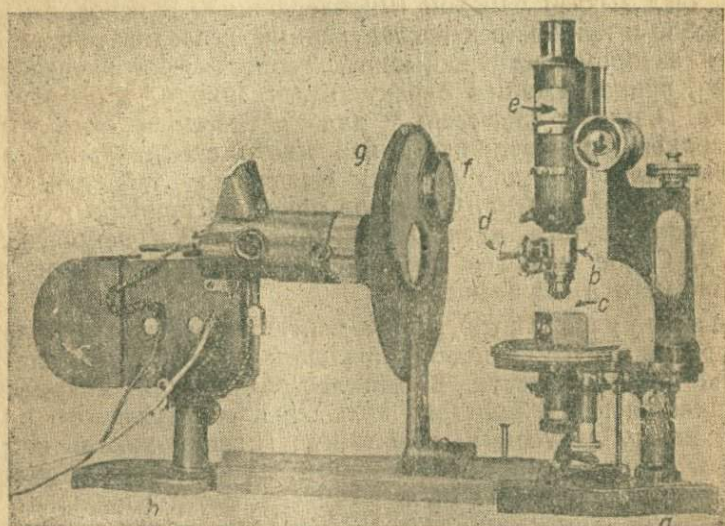


Рис. 9. Микроскоп, установленный для работы с поляризованным отраженным светом. *a* — петрографический микроскоп Бауш и Ломба; *b* — вертикальный иллюминатор; *c* — полированный шиф в медной монтажке; *d* — поляризатор, прикрепленный к вертикальному иллюминатору; *e* — анализатор; *t* — синее матовое стекло; *g* — вращающийся диск; *h* — небольшая дуговая лампа.

При удалении анализатора свет становится слишком сильным для глаз, и между светом и микроскопом приходится вставлять матовое стекло. В аппарате, изображенном на рис. 9, оно укреплено на вращающемся диске, при помощи которого его можно быстро вводить в линию света и выводить из нее. Осветительный аппарат, изготовляемый фирмой Бауш и Ломб, состоит из 6-вольтовой, 108-ваттной лампы накаливания Маэда, с вольфрамовой ленточной нитью, с патроном и трансформатором для понижения тока от напряжения в 110 V. Применяется эта лампа с переменным током. Главное преимущество лампы накаливания над дуговой состоит в ровности освещения. С другой стороны, 6-вольтовая, 108-ваттная лампа накаливания недолговечна — около 20 час. — и недешева, тогда как угли для дуговой лампы относительно дешевы. Для микрофотографирования автор пользуется вышеописанной вольфрамоволенточной лампой.

В лаборатории Геологического комитета США при исследовании анизотропности для освещения применяется микроскопная лампа Буша, изготовляемая в городе Ратенов, в Германии. Она несколько дешевле, приблизительная цена ее 21 доллар, чем лампы, уже описанные, и весьма удовлетворительна. В нее вставлена 110-вольтовая 250-ваттная проекционная лампа Mazda для переменного или постоянного тока. Эта лампа дешевле и долговечнее, чем 6-вольтовая ленточная лампочка. Она требует однако большего искусства при манипулировании, так как свернутая кольцом кадильная нить дает свое отчетливое изображение и лампу надо передвигать и ставить так, чтобы устранить его. Эта лампа почти одинакова с лампой, изобретенной проф. Бэтмэном (A. M. Bateman) из Иэльского университета и описанной Осборном в его уже цитированном докладе.

16-мм объектив в короткой монтировке является наилучшим для наблюдения непрозрачных минералов в поляризованном свете. Хорошие результаты дали также 24- и 8-мм объективы. 4-мм объектив, чаще всего применяемый для сильного увеличения, совсем не годится для этой цели; при пользовании им можно наблюдать только минералы с сильной анизотропностью.

Автор не может дать объяснения этому явлению и не встречал указаний на него в литературе.

Подробности метода. Непрозрачные минералы, принадлежащие к кубической системе, при изучении их по вышеупомянутому методу — изотропны. Если полированный шлиф повернуть на 360° , вращая столик микроскопа, кубический минерал не переменит при вращении цвета или напряжения света. Минералы пяти других кристаллических систем при таком же исследовании анизотропны. Некоторые из них дали при вращении четыре погасания, действуя таким же образом, как и анизотропные прозрачные минералы, изучаемые в поляризованном проходящем свете под петрографическим микроскопом. Огромное большинство анизотропных непрозрачных минералов при полном обороте дает только два погасания. Из минералов, дающих четыре погасания, до настоящего времени известны следующие: ковеллин, умангит, манганит, пиролюзит, гаусманнит, стибнит и молибденит. Список этот неполон, и вероятно со временем к нему будет прибавлено еще несколько минералов. Это свойство давать четыре погасания имеет большую диагностическую цену, потому что оно встречается у очень небольшого количества анизотропных непрозрачных минералов.

Следует отметить несколько исключений из общего правила, по которому все кубические минералы изотропны. Некоторые виды кобальтина, как уже было отмечено Шнейдерхеном и Сэмпсоном, проявляют слабый анизотропизм. То же самое надо сказать о некоторых разновидностях гессита, аргентита, станнина, куприта, пирита, борнита и быть может других. Впрочем, большинство образцов этих минералов изотропно. Возможной причиной анизотропности является присутствие в них в незначительной пропорции посторонних элементов, не встречающихся в большинстве образцов данного минерала. Вероятнее однако иное объяснение: эти минералы были кубическими при температуре

своего образования, но подверглись переходу к более низкой симметрии при остывании. Известно, что это свойство имеют халькозин и другие минералы, так же как и некоторые прозрачные кубические минералы, в частности лейцит. Аморфные минералы тоже изотропны. Очень мелкозернистые анизотропные минералы повидимому иногда изотропны. Спекулярит например умеренно анизотропен, но землистый красный гематит, являющийся вероятно не аморфным, а мелкокристаллическим, оказывается изотропным.

Прозрачные минералы с высоким двупреломлением анизотропны при исследовании в долированных шлифах, но прозрачные минералы с низким двупреломлением повидимому изотропны. При помощи этого метода карбонатные минералы могут быть сразу замечены и отличены от кварца и других жильных минералов. Свет проникает в прозрачные минералы глубже, и мы видим только отраженную часть его. Небольшие трещины и швы под поверхностью имеют тенденцию рассеивать отраженный свет и уничтожать эффекты поляризации. В приводимых ниже определительных таблицах отмечено, что рудные минералы реальгар и вуртцит повидимому изотропны.

Эффект, производимый на поляризованный свет анизотропным минералом, описать легко. Николи сначала ставятся в скрещенное положение. Это можно сделать при помощи наблюдения над изотропным минералом в роде галенита. Анализатор поворачивается до тех пор, когда минерал не станет наиболее темным. Если предметом наблюдения является анизотропный минерал, мы увидим, что такой минерал не находится в положении погасания, но погасание наступит, если анализатор будет поворачиваться на несколько градусов вправо или влево. Анизотропный минерал повернул плоскость поляризации падающих на него лучей; лучи, падающие на минерал с «северно-южным» колебанием, отражаются с направлением колебания, отклоняющимся на небольшой угол от первоначального направления. Направление колебания лучей уже не перпендикулярно к направлению колебания анализатора, и часть света проходит через анализатор. Угловое вращение, сообщаемое анализатору для того, чтобы вызвать погасание, является меркой углового поворота плоскости поляризации, вызываемого минералами.

При вращении столика микроскопа минерал оказывается поворачивает плоскость поляризации сначала направо, а после того, как вращательное движение столика достигло 90° , плоскость поляризации начинает вращаться налево; при полном повороте столика происходят два поворота плоскости поляризации вправо и два влево.

Как уже было сказано, обычно наблюдаются только два погасания, и даже при минерале, имеющем четыре погасания, как например молибденит, только два погасания, разделенные 180° , являются резкими и отчетливо выраженными; другие два — менее определенны. Как указывает Сэмпсон, это явление связано с абсорбцией света минералом; в одних направлениях она сильнее, в других — слабее. Она аналогична плеохроизму в прозрачном минерале. Благодаря абсорбции положения погасания во

время поворота столика микроскопа могут удлиниться; и там, где осветление минерала могло бы в иных условиях иметь место, оно маскируется абсорбцией. Если однако применять бикварцевую клинообразную пластинку Райта, четыре погасания дадут все минералы, потому что при этой пластинке действующим началом является фактический поворот, неизменный напряжением отраженного света.

Относительно лучей с разной длиной волн абсорбция селективна. Одни лучи абсорбируются больше, другие меньше, и степень абсорбции зависит от минерала. Поэтому цвет минерала, видимый в поляризованном свете, обычно очень отличается от его цвета при обыкновенном свете.

В минералах с сильной анизотропностью по-разному ориентированные зерна имеют совершенно разный цвет. Арсенипирит например имеет цвета, похожие на цвета тонких шлифов геперстена — от розового до голубого. Такие наблюдения надо принимать однако осторожно. Поляризационные цвета изменяются вместе с источником света (дуговая лампа или лампа накаливания), напряжением освещения, чистотою полировки в дополнение к эффектам, производимым самим минералом. В зависимости от этих факторов автор не мог проверить описаний, даваемых в таблицах Ван-дер-Вена.

Размер поворота плоскости поляризации, производимого каким-либо отдельным анизотропным минералом, колеблется от нуля до максимума, зависящего от сечения оптической ориентировки минерала в полированном шлифе. Базальные сечения гематита и молибденита например изотропны, между тем как призматические сечения этих минералов имеют самые различные степени анизотропности. Таким образом максимальный поворот для минерала является определенным характерным свойством (его постоянной).

Измерение такой постоянной однако связано с большими затруднениями, потому что измеряемое положение здесь, будучи не столь отчетливым, как в случае прозрачного минерала, является шатким и труднее поддается определению. Чтобы установить это положение, необходим бикварцевый клин Райта, и даже при его применении нужен ряд наблюдений, чтобы получить точный угол по методу средних величин. Этот прием можно распространить на ряд зерен, так как поворот плоскости поляризации, производимый минералом, зависит от ориентировки зерна, и поэтому изменяется в разных зернах, срезанных различно в полированном шлифе. С другой стороны, дело простое: выбрать зерна, дающие наибольший поворот, просто отмечая те из них, которые показывают наибольший контраст между светлым и темным положением по мере вращения столика микроскопа.

В дополнение к трудности получить максимальный угол поворота плоскости поляризации для данного минерала, есть еще и другая трудность, состоящая в том, что этот угол, будучи даже постоянным для всякого минерала, изменяется лишь на небольшое количество градусов у минералов с наибольшим поляризационным эффектом сравнительно с минералами с эффектом наименьшим. Халькопирит, анизотропность которого едва различима,

дает поворот лишь в размере незначительной доли одного градуса, между тем как ковеллин, имеющий среди изученных с этой стороны минералов наибольшую поляризацию, имеет поворот только примерно в 5° . Другие минералы попадают в пределы этой узкой шкалы. Вследствие указанных трудностей автор не думает, чтобы использование максимального поворота плоскости поляризации, как константы для определения минерала, было приемом вполне надежным, подобным определениям полевых шпатов; но минералы могут быть легко разделены на две группы — изотропную и анизотропную, а последняя может быть подразделена при помощи таких общих понятий, как слабо, умеренно и сильно анизотропны, на дальнейшие подгруппы. Конечно эти последние термины очень неточны, но в качестве общих указателей диагностических принципов они полезны.

Методы наблюдения⁸⁵. Анизотропность может быть установлена тремя способами: 1) с анализатором в скрещенном положении, 2) с анализатором, слегка повернутым от скрещенного положения, 3) посредством применения бикварцевого клина и николя Райта. Наименее чувствительный из них — метод со скрещенным анализатором. При вращении столика микроскопа сильно действующий минерал пройдет через градации от совершенной темноты до очень слабого освещения.

Если анализатор не вполне скрещен, анизотропный эффект можно видеть лучше, особенно там, где несколько смежных зерен минерала лежат в том же самом поле. При таком повороте анализатора минерал в четырех положениях без эффекта вращения плоскости поляризации будет в состоянии погасания, как если бы он был изотропным; но в положении наибольшего эффекта вращения плоскости поляризации он будет светлее или темнее, чем это было бы, если бы анализатор не был повернут, потому что своим эффектом вращения плоскости поляризации минерал или увеличивает или убавляет действие повернутого анализатора. Выгода этого метода наблюдения сходна с выгодой от применения гипсовой пластинки в петрографическом микроскопе для получения чувствительной окраски. Глаз может лучше открыть изменения в напряжении умеренной яркости, чем в напряжениях почти полной темноты. В полированном шлифе с несколькими зернами минерала эффекты анизотропности видны легко; одно зерно может быть в положении наименьшего освещения, между тем как соседние с ним — в положении максимальной яркости.

Эффект, сходный с эффектом, наблюдаемым в зернистом агрегате, получается и в отдельном зерне при применении бикварцевой клиновой пластинки Райта с анализатором в скрещенном положении. В этом случае мы сравниваем два умеренно ярких поля. Пластинка состоит из двух пластинок кварца, вырезанных параллельно основанию: одна из правовращающего кристалла, а другая из левовращающего. Соединены они так, что разделяющая их линия является срединной линией в поле зрения микроскопа. Половина пластинки вращает свет направо, а половина налево. Комбинированные кварцевые пластинки сошлифованы на клин, так что степень поворота плоскости поляризации изменяется соответственно толщине разных частей пластинки. Клин

Райта применяется с накладным никодем. Если свет, отраженный вверх по трубке микроскопа, плоско поляризован, а плоскость поляризации соответствует нулевой установке николя, обе половины ноля освещены одинаково. Если однако плоскость поляризации отраженного света повернута от нулевой установки, что может быть вызвано анизотропным минералом, напряжение освещения на противоположных сторонах пластинки будет меняться в зависимости от того, является ли поворот плоскости поляризации, вызванной этой стороной пластинки, тождественным или противоположным тому, который вызван минералом. Если накладной никодем вращает плоскость поляризации на столько же, на сколько вызывает поворот плоскости поляризации сам минерал, освещение опять будет одинаковым. При помощи этого метода размер возможного поворота плоскости поляризации для минерала поддается количественному замеру. Бикварцевый клин Райта полезен однако главным образом для более тонких качественных определений, особенно если такие определения приходится делать на изолированных зернах. При применении пластинки Райта для изучения такого изолированного зерна эффект легкой перемены в напряжении освещения увеличивается, потому что действие отраженного света увеличивает яркость на одной стороне пластинки и понижает ее на другой в зависимости от того, является ли поворот плоскости поляризации, вызываемый минералом, одинаковым или противоположным повороту плоскости поляризации кварца в каждой половине пластинки.

Установка инструмента. Автор пользуется исключительно вторым из двух вышеупомянутых методов. Клин Райта является действительным методом для определения анизотропности, но применение накладного николя является в нем серьезным недостатком. Второй метод дает результаты одинаково хорошие, допускает применение анализатора в тубусе и делает ненужной перемену окуляра.

Естественно возникает вопрос о том, как далеко должен быть повернут анализатор (или поляризатор) от скрещенного положения. Автор находит, что для наилучшей установки николей полезен полированный шлиф халькопирита из Содбери в Онтарио. Этот халькопирит имеет полисинтетические двойники, похожие на двойники плагиоклаза, но анизотропность его очень слабая. Никодем (или поляризатор или анализатор) поворачивается до тех пор, пока не получится максимальная разница в цвете между соприкасающимися пластинками. Более темные пластинки получают почти тот же цвет, как и борнит в обыкновенном свете, а более светлые пластинки будут зеленовато-желтыми. Такое приспособление оказывается удовлетворительным для всех анизотропных минералов. Рис. 10 изображает халькопирит, дающий эффект, одинаковый с эффектом халькопирита из Содбери.

Педагогический опыт показывает, что установка инструмента является самой трудной задачей, встречаемой студентами. Трудность эту можно преодолеть только достаточной практикой. Вначале николи ставятся в приблизительно скрещенное положение. Поляризатор и вертикальный иллюминатор направляются затем возможно прямее на источник света. Поверхность халько-

пирита наблюдается затем в микроскоп, в то время как один из николей поворачивается на несколько градусов сначала в одну, а потом в другую стороны. Если видимость халькопиритовых пластинок неудовлетворительна, поляризатор и вертикальный иллюминатор поворачиваются на вертикальной оси иллюминатора немного в сторону, и процесс этот повторяется до тех пор, пока халькопиритовые пластинки не покажут максимального контраста. Лампа передвигается то на ту, то на другую сторону, пока освещение, судя по изображению в микроскопе, не распределится ровно. После некоторого опыта студент со средними способностями может установить инструмент в 5 мин. и даже меньше.

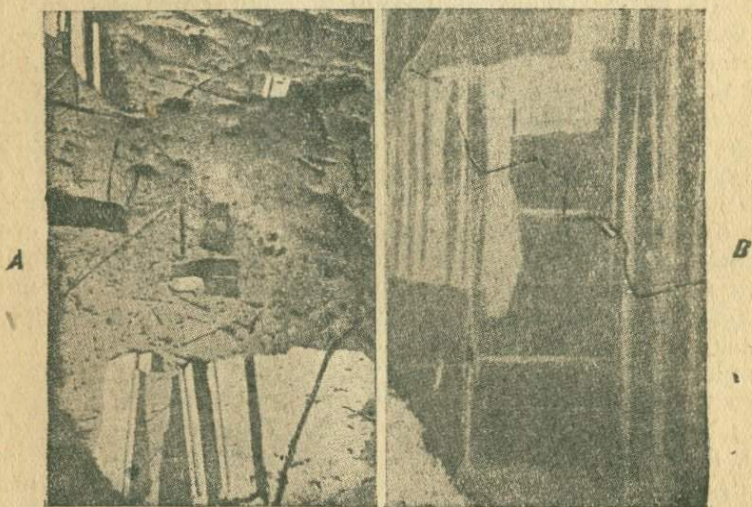


Рис. 10. Микро фотографии руд, снятые в поляризованном отраженном свете. А. Марказит в виде полисинтетических двойников в пирите. Николи почти скрещены. Снимок этот показывает также, что несовершенная полировка не влияет на отчетливость качественных результатов. $\times 60$. В. Двойники халькопирита из Басс в Вольшом Каньоне (Аризона). Зерно пирита в верхнем левом углу. Николи почти скрещены. Образец не подвергался травлению. $\times 150$.

Источники ошибок. Поверхность минерала должна быть перпендикулярной к оси микроскопа, т. е. параллельной столику микроскопа. В противном случае при вращении шлифа наблюдается неравномерность в напряжении света. При полном вращении столика, если шлиф и столик не параллельны, шлиф наклоняется то в сторону света, то в противоположную ей. Если шлиф наклоняется в сторону лампы, часть поля зрения, обращенная к лампе, освещена лучше, а другая часть затемнена. Если шлиф наклонен от лампы (в сторону наблюдателя), происходит обратное. Это колебание интенсивности света сходно с погасаниями анизотропных минералов, но его можно отличить от последнего и потому, что в данном случае наблюдается только одно погасание при полном обороте, и потому, что его можно наблюдать и без анализатора. Если полированные шлифы монтированы на пластелине, их легко установить при помощи прибора для

монтажировки (стр. 13) так, чтобы поверхность шлифов была параллельна столику. Когда образцы как следует смонтированы в медную оправу, верх и низ каждой коробочки должны быть сошлифованы параллельно.

Если в поле зрения находится более одного зерна анизотропного минерала, указанная ошибка наблюдения устраняется, потому что по-разному ориентированные зерна минерала имеют при скрещенных николях резкие очертания, разный цвет или разные оттенки одного и того же цвета. Хорошо, что большинство непрозрачных минералов мелкозернисты, т. е. размер индивидуальных зерен меньше, чем поле зрения 16-мм объектива, имеющее приблизительно 2 мм в диаметре.

Плохая полировка и неправильности рельефа — другой источник ошибок при исследовании поляризационных эффектов. Это относится особенно к твердым минералам в роде хлоантита и других арсенидов. Вращение столика бывает источником смутных неправильностей в освещении, обычно истолковываемых начинающим наблюдателем как проявления анизотропности. Разбираться в этих эффектах научит только опыт. Важнее всего уметь различить границы между зернами.

Источниками ошибок при изучении анизотропности являются недостаток освещения, плохая установка николей и ложные потухания, вызываемые отсутствием параллельности между полированной поверхностью и столиком микроскопа или неправильностями рельефа полированной поверхности.

Электропроводность

Методы определения электропроводности минералов описаны Фарнхэмом³⁶, Керром и Кэбином (Kerr и Cabee³⁷) и Харвейем (Harvey³⁸). Автор не имеет собственного опыта в данной области, но методы эти обещают принести при определении рудных минералов значительную пользу. Работа Харвея показывает, что электропроводность некоторых минералов изменяется в разных образцах в значительных пределах, и это обстоятельство ослабляет ценность метода. Согласно Харвею, главная причина этих колебаний заключается в небольших изменениях химического состава одного и того же минерала.

Часть III

РЕАКЦИИ ТРАВЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Реакции травления

Мордок и Дэви и Фарнхэм пользуются для обозначения эффектов травления, производимых азотной кислотой и другими реактивами на полированную поверхность изучаемого минерала, термином «микрoхимическое испытание»; мы думаем, что термин «травление», применяемый Шнейдерхеном и Ван-дер-Веном, предпочтительнее. Термины «микрoхимия» и «микрoхимическое испытание» для обозначения качественных микрoскопических испытаний или реакций на элементы стали применяться с 1877 г. Испытания эти обычно делаются на стеклянной пластинке. Во избежание путаницы в настоящей работе значение термина «микрoхимическое испытание» будет ограничено качественными химическими испытаниями на стеклянной пластинке; испытания, производимые непосредственно на полированном шлифе, будут обозначаться как «травление».

Эффекты травления или отсутствие таковых при применении ряда химических реактивов стандартной силы рассматривались вышеназванными учеными, как главное средство для определения неизвестных непрозрачных минералов.

Мордок делит минералы на группы по их отношению к действию следующих растворов: HNO_3 1:1; HNO_3 концентрированная; царская водка; HCl 1:1; HCl концентрированная; KCN 20%; FeCl_3 20%; KOH насыщенный раствор. В описаниях отдельных минералов Мордок дает реакции их со следующими растворами: NH_4OH , NaOH , иод, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, H_2SO_4 , AgNO_3 , KClO_3 .

Не все эти реактивы применялись на каждом минерале. Дэви и Фарнхэм очень упростили схему определения минералов, применяя только четыре реактива. Это HNO_3 1:1; HCl 1:1; KCN 20% и FeCl_3 20%. В своем подробном описании этих минералов названные авторы обобщают сведения и о их реакциях, вызываемых насыщенными растворами KOH и HgCl_2 в дополнение к перечисленным реактивам.

Ни тот ни другой не сделали попытки систематически классифицировать минералы по их отношению к химическим реактивам, но оба они подчеркивают значение реактивов, выявляющих двойники и другие особенности внутренней структуры минералов.

Не следует придавать слишком большого значения при определении минерала методу травления, так как против него есть

несколько очень сильных возражений. Самое большое неудобство этого метода состоит в том, что некоторые реакции очень слабы. Некоторые из них так слабы, что даже в одном и том же образце иногда они происходят, а иногда нет. Известно, что восприимчивость к травлению различна при разных ориентировках одного и того же минерала и одна только ориентировка может быть главным фактором, влияющим на наличие или отсутствие травления на минерале. Слабые различия в химическом составе минерала могут вызывать травление некоторых образцов, между тем как другие образцы того же самого минерала дадут на этот же реактив совершенно отрицательную реакцию. Эти колебания подробно рассмотрены в тексте работ Дэви и Фарнхэма и Вандер-Вена, но в первой из них колебания эти не были достаточно учтены и авторы не проверили испытаний на достаточном количестве образцов каждого минерала с целью выявления всех разновидностей.

Очевидно, что ошибка в истолковании даже одной из реакций разрушит всю определительную схему. В случаях слабости реакции мы встречаемся с затруднением решить вопрос о том, положительный или отрицательный характер она имеет. Единственным способом выйти из этого затруднения является помещение минерала, иногда поддающегося травлению реактивом, а иногда нет, в оба разряда: «положительная реакция» и «отрицательная реакция». Тетраэдрит например иногда поддается травлению 1 : 1 HNO_3 , а иногда инертен в отношении этого реактива. Его надо отнести одинаково и в разряд минералов «протравливаемых» HNO_3 и в разряд «отрицательных в отношении HNO_3 ». Сфалерит обычно отрицателен к 1 : 1 HCl , но указаны один или два образца его, дающие на HCl слабую реакцию. Факты эти при описании сфалерита надо отмечать, и сфалерит должен быть отнесен и к разряду «протравляемых HCl » и разряду «отрицательных к HCl ».

Когда на два различных минерала попадает капля реактива, вследствие разницы в потенциале между минералами появляется электрический ток. В результате действие реактива на одном минерале усиливается, а на другом падает. Если например находящиеся в контакте борнит и галенит покрываются раствором хлорного железа, реакция на борните будет сильнее, чем при одном только борните; с другой стороны, галенит, прилегающий к борниту, будет совершенно отрицателен к раствору хлорного железа, между тем как один только галенит дает с этим раствором сильную реакцию. Рекомендуются поэтому найти площадку минерала большую, чем капля реактива, и предупредить растекание капли на контакт с соприкасающимся минералом. Сделать это не всегда можно, и поэтому знакомство с электролитическими эффектами, вызываемыми разными минеральными ассоциациями, очень желательно для того, чтобы их учесть при определении минерала. К счастью в очень значительном большинстве минеральных ассоциаций эти электролитические эффекты слишком слабы, чтобы влиять на реакции травления.

Есть разные приемы наложения реактивов на полированную поверхность. Шнейдерхен погружает шлиф полированной поверхностью в сосуд с реактивом. Весь шлиф подвергается этим

путем действию протравливающего реактива, и электролитического эффекта избежать нельзя. Сверх того вся поверхность образца до перехода к новым испытаниям должна быть отполирована заново.

Мордок накладывает каплю реактива на полированную поверхность небольшой капиллярной пипеткой. Этот метод применяют Дэви и Фарнхэм. Отрицательные стороны его — хрупкость и ломкость капиллярной трубки, царапание образца неровным (при изломе) концом ее и трудность контролировать количество перенесенной жидкости.

Автор рекомендует метод проф. Грейтона, пользующегося платиновой проволокой с небольшой петелькой на конце. Другой конец проволоки прикреплен к стеклянной палочке или иному подходящему держателю. Диаметр проволоки, применявшейся автором, равнялся 0,32 мм, расстояние от конца держателя до конца петли — 20 мм; внутренний диаметр петли равен 0,41 мм. Конец с петлей согнут под углом относительно остальной части проволоки, образуя как бы крошечную палку для игры в гольф, как это показано на рис. 11. Петелька наполняется реактивом при помощи стеклянной палочки-капельницы. Глядя в микроскоп, исследователь вводит петлю в поле зрения и медленно опускает ее до тех пор, пока жидкость не придет в контакт с минералом. При поднятии петельки жидкость остается на минерале.

Ван-дер-Вен накладывает каплю на образец и оставляет ее на нем на одну минуту, затем смывает реактив и, прежде чем ввести образец в микроскоп, высушивает его. Он не считает удобным наблюдения над образцами под микроскопом при травлении, потому что газы, выделяемые реактивом, вредны для микроскопа, особенно для объектива. Но повидимому Ван-дер-Вен переоценил вредное влияние газов реактива. Автор настоящей книги пользовался для подобной работы в течение 3 лет одним и тем же микроскопным объективом и вредных влияний на инструмент не замечал.

При наблюдении за травлением образца под микроскопом можно тщательно следить за действием капли реактива, и образец можно вынуть из инструмента и вымыть прежде, чем протравливание пойдет слишком далеко. Протравливание линии спайности халькозина например выявляется раствором KCN, но если травление продолжается слишком долго, выявленная структура совершенно разрушается и поверхность делается черной.

Для наблюдения над наложением капли и ходом травления применяется 16-мм объектив. При наложении протравливающих жидкостей не следует пользоваться объективом более сильного увеличения, так как существует опасность соприкосновения объектива с едкими жидкостями. Жидкость должна быть удалена и образец должен быть вымыт прежде, чем менять 16-мм объектив на объективы более сильного увеличения.

Продолжительность травления изменяется в зависимости от минерала. Одни минералы при воздействии некоторых реактивов тускнеют моментально, и травящую жидкость можно удалить немедленно. Для более медленных реакций автор считает обычно достаточной одну минуту. Если по истечении одной минуты эф-

факты травления не обозначаются, испытание считается отрицательным. Если минерал в течение одной минуты вполне не протравлен, но на поверхности его заметны некоторые изменения, исследователь выжидает, чтобы действие травления определилось. Исключение делается для HNO_3 . В некоторых минералах, вроде джемсонита, травление этим реактивом вначале идет медленно, но, раз начавшись, оно происходит уже быстро. Поэтому, если капля HNO_3 дает отрицательный результат по окончании одной минуты, предпочтительно оставить ее на поверхности минерала до тех пор, пока она не начнет подсыхать, приблизительно в течение двух минут.

Реактивы, рекомендуемые Дэви и Фарнхэмом, вообще удовлетворительны, поэтому мы ими и пользуемся. Увеличение количества

реактивов ведет только к возрастанию упомянутых трудностей, но не дает компенсирующих выгод. Всякий реактив будет сильно травить одни минералы, но не окажет действия на другие; есть группа минералов, действие реактива на которые будет иметь средний между двумя крайностями характер, и эффекты некоторых из минералов будут слабыми и неопределенными. Реактив, предложенный Шнейдерхеном, KMnO_4 в H_2SO_4 хорошо выявляет структуру некоторых минералов. Но у него есть только что отмеченный недостаток, и кроме того он легко портится и его надо готовить заново по истечении нескольких дней. Поэтому его и нельзя рекомендовать для повседневных работ по определению травлением.

Из других реактивов, применяемых Дэви и Фарнхэмом, HNO_3 и HCl не оставляют по испытанию осадков. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 , представляющие растворенные соли, оставят по испарении осадок, образующий иногда радужную пленку, очень похожую на пятно от травления. Благодаря этой трудности не рекомендуется допускать испарения до выделения в реактиве растворенного в нем вещества. Рекомендуется поэтому насыщенный раствор KOH заменять 40-процентным раствором. Работать с HgCl_2 (сулемой) хлопотливо. Дэви и Фарнхэм рекомендуют насыщенный раствор (приблизительно 7% при обычных температурах). В насыщенном растворе выделяется хлористая ртуть (каломель) так же, как и хлорная ртуть (сулема). Хлористая ртуть прилипает к поверхности минерала и плохо счищается с него. Начинающие особенно склонны сме-

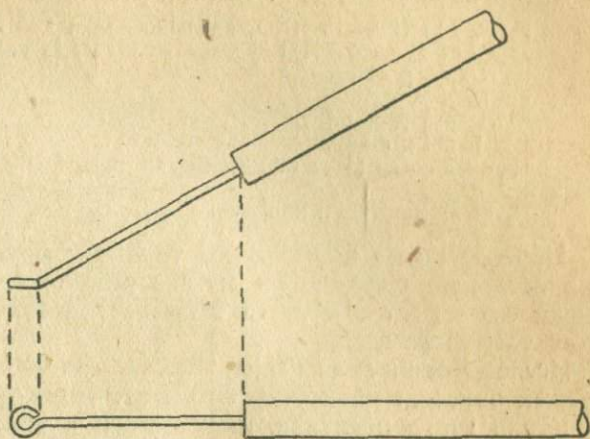


Рис. 11. Платиновая проволока для перенесения капли реактива на полированную поверхность. Плоскость петли согнута под углом.

шивать осадок сулемы с реакцией травления. Поэтому автор рекомендует 5-процентный раствор сулемы (1 г HgCl_2 разбавляется водою до 20 см³ раствора). Даже при такой концентрации будет медленно отделяться некоторое количество хлористой ртути, и поэтому от времени до времени раствор следует фильтровать.

Автор пользуется следующими реактивами:

HNO_3 1:1 (1 часть HNO_3 удельного веса 1,42 на 1 часть воды).

HCl 1:1 (1 часть HCl удельного веса 1,19 на 1 часть воды).

KCN 20% раствор.

FeCl_2 20% раствор.

KOH 40% раствор.

HgCl_2 5% раствор.

Царская водка (3 части концентрированной HCl на 1 часть концентрированной HNO_3)

H_2O_2 , имеющаяся в продаже.

Царская водка применяется только к минералам, имеющим отрицательную реакцию на другие реактивы. Сила кислот от времени до времени должна проверяться посредством гидрометра для удельного веса.

Исследования Тиля (Thiel)³⁹ показали, что большинство марганцевых окисных минералов разлагает перекись водорода H_2O_2 .

Капля этого реактива, имеющегося в продаже, наложенная на минерал, вскипает, а минерал не травится³⁹. По наблюдениям Смитерингейля (Smitheringale)⁴⁰ данные реакции менее положительные, чем об этом говорит в своей работе Тиль. Автор настоящей книги проверил данные Тиля довольно тщательно и нашел, что реакции эти несомненно (даже более) положительные, чем полагал Тиль. Качество реактива очевидно является первостепенным условием интенсивности действия. Автор пользовался 3-процентным раствором. Раствор этот применяется только для подкрепления определения марганцевых окислов.

Рекомендуется держать растворы HNO_3 и HCl в склянках с притертыми пробками, снабженными капельницами, похожими на те, которые применяются при изучении показателя преломления, так как резиновые пробки кислотами разъедаются. Четыре других раствора, наоборот, не следует держать в посуде с притертыми пробками, так как жидкости стремятся испариться, а твердый осадок прихватывает пробку пузырька. KOH часто образует цемент столь прочный, что пузырек при открывании пробки разбивается. Для растворов солей, не кислот, рекомендуется брать резиновые пробки. Пробка имеет отверстие, в которое проходит стеклянный стержень-капельница 4 мм в диаметре. Все пузырьки с реактивом имеют вместимость в 15 см³.

Минералы, вскипающие при обработке 1:1 HNO_3 , отделяются от тех, которые травятся, но не вскипают. Это полезное различие делается и Мордоком и Дэви и Фарнхэмом и проводится автором. Никелин и брейтгауптит например, не различимые иначе, как путем химических испытаний, разделяются по тому признаку, что никелин при обработке HNO_3 вскипает, а брейтгауптит тускнеет без вскипания. Большое затруднение со вскипанием, как критерием, заключается в том, что вскипание иногда очень слабо и может остаться незамеченным. Пирит например хотя и

дает медленное вскипание, — несколько пузырьков одновременно, если поверхность его гладкая и хорошо отполированная, — но обычно поверхность его шероховата, а зерна малы, и в таких случаях вскипание вовсе не имеет места. Здесь опять-таки минерал может быть отнесен и к разряду «тускнеющих со вскипанием» и к разряду «тускнеющих без вскипания». Следует обращать внимание на действие кальцита и других карбонатов. Если в руде присутствует карбонат, сильное вскипание, производимое кислотами, часто ошибочно принимается за реакцию соседнего рудного минерала. Ошибку эту учесть нетрудно, отметив отсутствие потускнения в минерале. Если на площади полированного шлифа юдинаково наблюдается вскипание под влиянием HNO_3 и HCl , следует подозревать присутствие кальцита.

Каплю реактива удобнее удалять с образца при помощи пипетки для наполнения так называемого «вечного пера». Конец такой пипетки нагревается, вытягивается, заостряется и обламывается, превращаясь в трубочку небольшого диаметра. Трубка наполняется водой. Если реакция на травление закончена, полированный шлиф снимается с микроскопа, только что травленная часть поверхности шлифа обрызгивается струей воды при помощи такой пипетки, и капля реактива смывается с поверхности шлифа. При надлежащей осторожности смачивается только часть поверхности. Полированный шлиф опять кладется под микроскоп, и поверхность, покрытая перед этим каплей травящего реактива, рассматривается еще в сыром состоянии. Операция травления этим заканчивается и полученные наблюдения отмечаются.

Затем поверхность высушивается фильтровальной бумагой и трется о замшу, надетую на деревянный брусок. Поверхность этого бруска следует посыпать очень тонкой пылью крокуса (стр. 18). Определяемый минерал готов затем для следующего испытания травлением. Автор не советует изучать шлиф после трения с бруском, как рекомендуют Мордок и Дэви и Фарнхэм. В обеих книгах этих авторов мы встречаем описание в роде следующего: «Дает бурый налет, стирается до серой шероховатой поверхности». Но опыт показал, что характер поверхности после стирания налета может меняться слишком различно, чтобы это изменение могло быть полезным при определении минерала. Крокус производит сошлифовывание и при продолжительном действии удалит травление со всякой поверхности.

В дополнение укажем на то, что некоторые следы реактивов вероятно останутся на поверхности и после смывания. Реактив мог всосаться в трещины, ямки и поры; или после испарения осадок мог пристать к самой поверхности и удержаться на ней, несмотря на все усилия смыть реактив. Прижатие пропускной бумаги и трение о брусок только распространяют содержимое по поверхности, покрыв ее радужной пленкой, которая, как показал опыт, нередко принимается за положительную реакцию травления.

Наиболее верным и надежным методом травления является микроскопическое наблюдение над процессом травления с того момента, когда капля реактива положена на поверхность, и до то-

го, когда шлиф убирается со столика микроскопа для смывания реактива. Действие можно наблюдать прямо сквозь каплю реактива при всех реактивах, кроме раствора хлорного железа. Этот раствор имеет густой желтый цвет, могущий затемнить цвет травимой поверхности. Действие хлорного железа можно наблюдать только после его смывания, удаляя встряхиванием с поверхности шлифа излишки воды и наблюдая шлиф сквозь воду, остающуюся на его поверхности. Не рекомендуется обсушивать образец перед окончательным микроскопическим наблюдением промокательной бумагой или как-нибудь иначе. Обычно сама вода содержит растворенного вещества достаточно для того, чтобы размазть по поверхности образца пленку при высушивании. Эту пленку можно удалить путем трения ее замшей, посыпанной крокусом.

Во всех названных руководствах характер травления описан хорошо. Действие его выражается обычно в изменении цвета поверхности. В тех случаях, когда действие травления сильно, поверхность может быть изъеденной, стать шероховатой и покрыться ямками. На многих минералах царапины, образовавшиеся при полировке и невидимые до травления, выявляются при травлении в связи с тем, что царапины благодаря растворению минерала расширяются.

На некоторых минералах, особенно халькозине, травление выявляет ряд тесно расположенных и параллельных трещин. Явление это известно под названием «спайности травления». Спайности травления отмечают направление наибольшего растворения, но не обязательно направление наименьшего молекулярного сцепления. Спайности травления ромбического халькозина например параллельны пинакоиду, между тем как спайности сцепления параллельны призме. В большинстве образцов спайности травления указывают вероятно на двойниковые плоскости. Эти плоскости структурной слабости, легко расширяющиеся благодаря введению в них реактивов⁴¹. В некоторых образцах, например кобальтине, эти трещины указывают на границы между облочками в зональных кристаллах.

Интенсивность травления различна в разных направлениях кристалла. Наудачу отполированный шлиф вырезает разные зерна одного и того же минерала в разных кристаллографических направлениях; соответственно, если травится полированная поверхность, соприкасающиеся зерна имеют после травления разные цвета. Это явление весьма полезно для выявления узоров минеральных зерен. В дополнение к этому дифференциальному травлению пространства между прилегающими зернами расширяются раствором и, бывшие субмикроскопическими до травления, могут делаться видимыми после него.

Часть реактивов не действует на поверхность некоторых минералов, покрытую каплей, но испарение реактивной жидкости вызывает потускнение части поверхности, непосредственно прилегающей к окружности капли, и образует вокруг нее ореол. Ореол этот обычно растворяется в воде и исчезает при обмывании образца. Но при некоторых условиях ореол устойчив и поэтому приобретает дополнительную диагностическую цену. Так

например при травлении 1:1 HCl некоторые серебряные минералы, в роде аргентита и стефанита, образуют ореол нерастворимый, служащий диагностическим признаком серебра. Одни авторы игнорировали эти ореолы, другие отмечали их значение. Автор полагает, что испытание, дающее ореол, имеет положительное значение. Конечно при слабом ореоле, или если он не окружает капли полностью, нужна известная осторожность в заключении. Обычно это последнее явление зависит от различной ориентации прилегающих зерен. Подобные затруднения неизбежны. Метод травления не является совершенным, и если результаты его не вполне доказательны, минерал надо изучать по другим его свойствам.

На некоторых минералах обозначаются только ореолы из небольших капелек жидкости, прилегающих к главной капле реактива. Капельки эти можно назвать «ореолом выпота». Таблицы реакций травления их не отмечают.

Важнейшим источником ошибок при травлении является вероятно недостаточно чистая поверхность в начале операции. Некоторые минералы, в роде борнита, тускнеют очень быстро и при операциях над ними ценных результатов получить нельзя. Замечательна та быстрота, с которой образец может получить при контакте с другим предметом тонкую пленку грязи или жира. Пленка эта мешает хорошему контакту между полированной поверхностью и жидкостью и может быть причиной неудачи реакции, положительной при других условиях. Помочь этому можно, получив уверенность в том, что такая пленка удалена до наложения реактива. Брусок с крокусом обычно хорошо удаляет пленку грязи и жира, но он может не снять слой окисления, дающий потускнение, если трение об него не будет продолжаться достаточно долго. При продолжительном трении однако брусок наверняка поцарапает более мягкие минералы. Все лаборатории, в которых происходит работа определения непрозрачных рудных минералов, должны быть снабжены полировальным станком для полировки на круге, покрытом бильярдным сукном с мокрой магнезией или черным магнитным крокусом (стр. 18).

Такой станок нетрудно устроить из электрического вентилятора, сняв с него лопасти воздушного винта, и укрепив на его оси деревянный или стальной круг. Подержав загрязненный образец несколько секунд на таком круге, мы очистим его от побезжалости окисления, жирной пленки или светового травления. Это колесо не может однако удалить с поверхности образца глубокой коррозии, вызываемой например HNO_3 на галените, обычно требующей новой шлифовки поверхности уже на стальном круге.

Только что описанная операция систематического травления имеет много невыгод, и начинающий исследователь не может следовать ей вполне уверенно, но она очень полезна благодаря той быстроте, с которой испытания могут быть проделаны, и тому количеству групп или разрядов, которые могут быть получены при помощи небольшого количества реактивов. Серия из шести испытаний травления, включая время, нужное для повторения испытаний при сомнительных реакциях, прорабатывается примерно в 20 мин. Сбивчивые случаи при травлении могут быть

уточнены при помощи достаточного количества наблюдений над образцами того же самого минерала, взятыми из разных местностей. Ошибки, вызываемой спутыванием осадка от испарения реактива с налетами травления, при некотором опыте можно избежать.

Но надо помнить, что как бы тщательно ни составлялись таблицы реакций травления, мы не будем никогда располагать таблицами совершенными. Девяносто девять образцов галенита посредством HNO_3 будут протравлены, а сотый не поддастся травлению, даже после тщательной полировки. Безусловно полагаться на таблицы травления поэтому при окончательном определении минерала нельзя, и определение посредством систематического травления должно проверяться наблюдением над другими особенностями данного минерала, как то: его цветом, твердостью, поляризационными или микрохимическими испытаниями, или всеми этими способами в совокупности.

Определительные таблицы

Введение

В нижеследующих определительных таблицах минералы разделены на два главных разряда — мягкий и твердый — и каждый разряд подразделен на группы — изотропную и анизотропную. Список мягких минералов дан на стр. 73—99, а твердых на стр. 100—106.

В каждой из основных групп минералы подразделяются на подгруппы на основании их реакций травления. Порядок этих подгрупп одинаков у нас с порядком у Дэви и Фарнхэма. Три главных подразделения основаны на реакции минералов с азотной кислотой, а именно: 1) вскипающие с HNO_3 ; 2) реагирующие с HNO_3 без вскипания; 3) не реагирующие с HNO_3 . Каждое из этих подразделений дробится далее по реакциям минерала с HCl , KCN , FeCl_3 .

Схема этих операций дана на стр. 66—72. Подразделения, основанные на действии азотной кислоты на минералы, указаны на каждой странице в крайней колонке слева. Они разделены горизонтальной чертой, проходящей через всю страницу. Подразделения, основанные на действии остальных реактивов, изображены на той же схеме. Один химический символ реактива без дальнейших пояснений указывает на то, что травление имеет положительный характер. Если реакция отрицательная, к химическому символу прибавлено сокращение «отр.». Ознакомление со схемой вскроет ту систему, которой подчинен порядок подразделений. В подробное описание включены и реакции на KOH и HgCl_2 .

Нижеследующие примеры покажут, как пользоваться этими таблицами.

1. Минерал мягкий, анизотропный, цвет галениново-белый, реакции травления: HNO_3 — вскипает, HCl — отрицательна, KCN — отрицателен, FeCl_3 — светлобурый налет, KOH — отрицателен, HgCl_2 — отрицательна. Справка в таблицах показывает, что минерал входит в группу на стр. 71. Это описание подходит ко вся-

кому минералу данной группы кроме калаверита, и если цветовая восприимчивость наблюдателя недостаточно хороша, он может заключить, что оно подойдет и к калавериту. Для определения минерала нужно применить микрохимические пробы. Мы видим также, что каждый минерал в этой группе содержит мышьяк, висмут или теллур, поэтому с этих элементов и надо начать исследование, но если понадобится, пробы делаются и на другие элементы.

2. Минерал мягкий, сильно анизотропный, при вертикально отраженном свете имеет серый цвет; реакции травления: HNO_3 — отрицательна; HCl — в парах дает слабое потускнение; KCN — бурый налет; FeCl_3 — отрицательно; KOH — радужный налет; HgCl_2 — отрицательна. Соответствующее подразделение в таблице — группа на стр. 93; определяемый минерал — стефанит или миаргирит. При царапании минерала иглой со специальных острием (стр. 118) получаем порошок красно-рубинского цвета, что дает основание определить минерал как миаргирит; микрохимическое исследование является в данном случае уже ненужным. Реакция на HCl очевидно сомнительна; исходя из предположения, что она отрицательна, мы должны отыскать минерал в группе на стр. 95. Миаргирит является одним из минералов этой группы — обстоятельство, служащее новым подтверждением диагноза.

Формулы, даваемые минералом в определительной таблице, принадлежат Уэрри и Фошагу (Wherry и Foshag⁴²).

УКАЗАТЕЛЬ ¹

	стр.
Агвиларит $Ag_2(Se, S)$	82, 88, 89
Айкинит $Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$	79, 80, 89, 91
Алабандит MnS	76
Алтаит $PbTe$	75
Альгодонит Cu_4As	73
Аляскаит $Ag_2S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$	83, 89
Андорит $Ag_2S \cdot 2PbS \cdot 3Sb_2S_3$	83, 97
Арамайонит $Ag_3S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$	91
Аргентит Ag_2S	81, 94, 95
Аргиродит $4Ag_2S \cdot GeS_2$	86, 87, 96
Арсенаргентит Ag_3As	74
Арсенопирит $FeAsS$	101, 103
Арсеноферрит $FeAs_2$	100
Аурипигмент As_2S_3	95
Баумгауерит $4PbS \cdot 3As_2S_3$	105
Бениаминит $(Cu, Ag)_2S \cdot 2PbS \cdot 2Bi_2S_3$	80
Бертонит $2(Pb, Cu)_2S \cdot Sb_2S_3$	92
Бертьерит $FeS \cdot Sb_2S_3$	91, 97
Борнит Cu_5FeS_4	77, 78
Бравоит $(Fe, Ni)S_2$	102
Браунит $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_2$	104
Брейтгауптит $NiSb$	102
Броньярдит $Ag_2S \cdot PbS \cdot Sb_2S_3$	92, 97
Буланжерит $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$	77, 80
Бурнонит $Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Sb_2S_3$	92, 97
Вейссит $Cu_5Te_3 (?)$	74
Вильямит $(Co, Ni)SbS$	84, 90, 102
Виоларит $(Ni, Fe)_2S_4$	79
Висмут Bi	75
Висмутин Bi_2S_3	76, 80
Висмутоплагмонит $5PbS \cdot 4Bi_2S_3$	77, 84
Виттихенит $3Cu_2S \cdot Bi_2S_3$	89
Вольтцин $4ZnS \cdot ZnO$	83
Вольфрамит $(Fe, Mn)WO_4$	105
Врбаит $Tl_2S \cdot 3(As, Sb)_2S_3$	91
Вуртцит ZnS	90
Галенит PbS	75, 82
Галеновисмутат $PbS \cdot Bi_2S_3$	79
Гауерит MnS_2	83, 94
Гаусмаэнит Mn_2O_4	85, 94, 101, 103
* Гаухекорнит $(Ni, Co)_7(S, Sb, Bi)_8$	106
Гематит Fe_2O_3	104, 105
* Генглейнит $(Fe, Ni, Co)S_2$	106
Геокронит $5PbS \cdot Sb_2S_3$	80, 92
Ге-ма-ит $Cu_x Ge Sy$	97
Герсдорфит $NiAsS$	100
Гессит Ag_2Te	81, 85, 89
Гётит $Fe_2O_3 \cdot H_2O$	105

¹ Минералы, отмеченные звездочкой (*), являются опровергнутыми или сомнительными.

Гитерманнит $3\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$	92
Глаукодит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$	103
Гуанахуатит $\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$	80, 92
Гунгилит Ag_3As (тождественен с арсенаргентитом)	
* Гуэхарит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	106
Гюбнерит MnWO_4	105
Делафоссит CuFeO_3	94
Джемсонит $4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	76, 79
Дискразит Ag_3Sb	81, 85, 88
* Догнаскант $\text{Cu}, \text{Bi}, \text{S}$	106
Домейсит Cu_2As	73, 85
Дюфренуазит $2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$	105
Зигенит $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$	89
Золото Au	95
Ильменит FeTiO_3	115
Иорданит $4\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$	93
Калаверит $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$	79, 80
Кальдилит $\text{Ni}(\text{Sb}, \text{Bi})\text{S}$	88, 90, 102
* Кальгурлит $\text{HgAu}_2\text{Ag}_6\text{Te}_8$	106
Канфильдит $4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{SnS}_2$ (содержит немного германия)	86
Карролит $(\text{Co}, \text{Cu})_3\text{S}_4$	89
Касситерит SnO_2	105
Кераргирит AgCl	95
Кермезит Sb_2S_3	87, 97
Килейит $\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	96
Киноварь HgS	98
Клапротолит (известный также, как клапорит)	
$3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	78, 88
Клаусталит PbSe	82
Клокманнит CuSe	87
Кобальтин CoAsS	102, 103, 104, 105
Ковеллин CuS	96
Козалит $2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	76, 83
Колорадоит HgTe	81, 89
* Комукцит	106
Коринит $\text{Ni}(\text{As}, \text{Sb})\text{S}$	97, 102
Креннерит $(\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}_2$	80, 93
Кубанит $\text{CuS} \cdot 2\text{FeS}$ (он же кубан и чальмерзит)	92, 98
Куприт Cu_2O	95
* Купровисмутит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$	105
Купродеклаузит $\text{Pb}_2(\text{Zn}, \text{Cu})_2 \text{V}_2\text{O}_9\text{H}_2\text{O}$	84
Лейкопирит Fe_3As_4	102
Ледьянгит FeAs_2	101, 103
Ленгенбахит $6\text{PbS} \cdot (\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_5$	105
* Лербихит $(\text{PbSe} + \text{HgSe})$	106
Ливингстонит $\text{HgS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	87, 95, 97
* Лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	106
Линнеит Co_3S_4	89
Лорандит $\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$	93
Лузонит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ (вид энаргита)	
Магнетит Fe_3O_4	94, 98, 103, 104
Манганит Mn_2O_3	94
Марказит FeS_2	97, 103
Матильдит $(\text{Ag}_2, \text{Pb})\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	76
Маухерит Ni_3As_2	99, 100
Медная смоляная руда (см. тенорит)	
Медь Cu	74, 77
Мелаконит CuO (вид тенорита)	
Мелонит Ni_2Te_3	79
Менегинит $4\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	77, 83
Метациннабарит HgS	94
Миаргирит $\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	87, 93, 95
Миллерит NiS	91

	Стр.
Молибденит MoS_2	98, 99
Мышьяк As	78
Нагниядит Pb, Au, Te, S	93, 98
Науманнит $(\text{Ag}_2, \text{Pb})\text{Se}$	85
Никелин NiAs	106
Овихиит $8\text{PbS} \cdot 2\text{Ag}_2\text{S} \cdot 5\text{Sb}_2\text{S}_3$	85
* Онофрит $\text{Hg}(\text{S, Se})$	90
Пеарцит $8\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	82, 88
Пентландит $(\text{Ni, Fe})\text{S}$	87, 95
Петцит $(\text{Ag, Au})_2\text{Te}$	100, 101, 102, 103, 104
Пираргирит $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	99
Пирит FeS_2	91
Пиролоюзит MnO_2	76, 80
Пирротин $\text{FeS}_1 +$	100
Плагионит $5\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$	105
Плессит $(\text{Ni, Fe})\text{AsS}$	106
Полианит MnO_2	85, 86
* Полиаргирит $12\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	79
Полибазит $8\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	85, 87
Полидимит Ni_2S_4	101
Псиломелан Mn_2MnO_5	100
Прустит $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	84
Раммельсбергит NiAs_2	100
Ратит $3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	80, 90
Реальгар AsS	98
* Регнолит $5(\text{CuS, FeS, ZnS}) \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	106
Рецбаниит $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	80
Риккардит $\text{Cu}_4\text{Te}_3(?)$	74
Рутил TiO_2	105
Селигманнит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	105
Семсейит $9\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$	76
Серебро Ag	74, 75, 77
Сильванит $(\text{Au, Ag})\text{Te}_2$	79, 81, 89, 93
Скуттерудит $(\text{Co, Ni})\text{As}_3$	100, 101
Сперрилит PtAs_2	104
Станнин $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2$	90, 93
Стефанит $5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	81, 85
Стибнит Sb_2S_3	75, 82, 87, 91
Стромейерит $(\text{Cu, Ag})_2\text{S}$	82
Сульванит Cu_3VS_4	95
Сурьма Sb	81, 85
Сфалерит ZnS	79, 90, 97
* Тапальпит $3\text{Ag}_2(\text{S, Te}) \cdot \text{Bi}_2(\text{S, Te})_3$	106
Теаллит $\text{SnS} \cdot \text{PbS}$	84, 94
Теллур Te	76, 78
Теннантит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu, Fe, Zn})\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	86, 90
Тенорит CuO	84
Тетрадимит $\text{Bi}_2(\text{Te, S})_3$	75, 78
Тетраэдрит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu, Fe, Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	86, 90, 97
Тиманнит HgSe	95, 97
Троилит FeS	76
Тунгстенит WS_2	96
* Тургит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	106
Уайтнеит Cu_3As	93
Ульманит NiSbS	88, 90, 102
Умангит Cu_3Se_2	82
Уранинит, уранат U, Pb и др.	104
Фаматинит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	88
Ферберит FeWO_4	105
Франкеит $5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 2\text{SnS}_2$	84, 91
Франклинит $(\text{Fe, Zn, Mn})\text{O} \cdot (\text{Fe, Mn})_2\text{O}_3$	103, 104
Фрейбергит $5(\text{Cu, Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu, Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	88, 90
Фрейслевенит $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot 4\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	94

	Стр.
Халькозин Cu_2S	74, 77, 78
Халькопирит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$	90, 92, 96, 98
Халькостибит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	87, 93
Халькофанит $(\text{Mn}, \text{Zn})\text{O} \cdot 2\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	97
Хлоантит NiAs_2 : :	—
Хлоантит-шмальтин $(\text{NiCo})\text{As}_2$	99
Хромит $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	104
Цилиндрит $6\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 6\text{SnS}_2$	83, 84, 98
Цинкениит $\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	76
Чальмерзит (одинаков с кубанитом)	106
* Чивиагит $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	106
* Чилениит Ag_3Bi	83
Шапбахит $\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	99
Шмальтин-хлоантит $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_2$	84
Штернбергит AgFe_2S_3	84
Эвкайрит $\text{Cu}_2\text{Se} \cdot \text{Ag}_2\text{Se}$	78
Электрум Ag, Au	80, 92
Эмплектит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	87, 96
Энаргит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	106
* Эпидуланжерит $3\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	

Схема определительной таблицы

Мягкие минералы

Реактивы				Изотропные			Анизотропные			
				Минерал	Формула	Страница	Минерал	Формула	Страница	
HNO ₃ вскип.	HCl	KCN	FeCl ₃	Медные арсениды:			Риккардит	Cu ₄ Te ₃ (?)	74	
				Домейкит	Cu ₃ As	73	Вейссит	Cu ₅ Te ₃ (?)	74	
				Алгодонит	Cu ₆ As	73	Халькозин	Cu ₂ S	74	
				Уай неит	Cu ₉ As	73	Куприт	Cu ₂ O	75	
				Медь (самородная)	Cu	74				
				Арсенаргентит	Ag ₃ As	74				
				Халькозин	Cu ₂ S	74				
		Серебро (самородное)	Ag	74						
				FeCl ₃ отриц.				Стибнит	Sb ₂ S ₃	75
				KCN отриц.	FeCl ₃	Серебро	Ag	75	Висмут	Bi
Алтаит	PbTe	75	Тетрадимит			2 Bi ₂ Te ₃ . Bi ₂ S ₃	75			
Галенит	PbS	75	Матильдит			(Ag ₂ Pb)S. Bi ₂ S ₃	76			
				Теллур	Te	76				
				Козалит	2 PbS. Bi ₂ S ₃	76				
		FeCl ₃ отриц.		Алабондит	MnS	76	Джемсонит	4 PbS. FeS. 3Sb ₂ S ₃	76	
						Плагионит	5 PbS. 4Sb ₂ S ₃	76		
						Семсейит	9 PbS. 4Sb ₂ S ₃	76		
						Цинкениит	PbS. Sb ₂ S ₃	76		
						Троилит	FeS	76		
						Висмутин	Bi ₂ S ₃	76		
						Висмутоплагионит	5 PbS. 4Bi ₂ S ₃	77		
						Буланжерит	5 PbS. 2Sb ₂ S ₃	77		
						Менегинит	4 PbS. Sb ₂ S ₃	77		
	HCl отриц.	KCN	FeCl ₃	Медь	Cu	77	Халькозин	Cu ₂ S	78	
Халькозин				Cu ₂ S	77	Борнит	Cu ₅ FeS ₄	78		
Серебро				Ag	77					
Борнит				Cu ₅ FeS ₄	77					

HNO ₃	HCl отриц.	KCN	FeCl ₃ отриц.	Электрум	Au, Ag	73	Клапротолит	3Cu ₂ S.2Bi ₂ S ₃	78		
		KCN отриц.	FeCl ₃				Мышьяк (самородн.) Теллур Тетралимит Айкинит Калаверит Галеноисмутит Мелонит Сильванит	As Te Bi ₂ (Te, S) ₃ Cu ₂ S.2PbS.Bi ₂ S ₃ (Au, Ag)Te ₂ PbS.Bi ₂ S ₃ Ni ₂ Te ₃ (Ag, Au)Te ₂	78 78 78 79 79 79 79 79		
			FeCl ₃ отриц.	Полидимит Сфалерит Виоларит	Ni ₃ S ₄ ZnS (Ni, Fe) ₃ S ₄	79 79 79	Джемсонит Плагионит Рачит Айкинит Висмутин Буланжерит Калаверит Эмплектит Бениаминит Геокронит Гуанахуатит Креннерит Менегинит Риббит Сильванит	4 PbS.FeS 3Sb ₂ S ₃ 5 PbS.4Sb ₂ S ₃ 3 PbS.2As ₂ S ₃ CuS.2PbS.Bi ₂ S ₃ Bi ₂ S ₃ 5 PbS.2Sb ₂ S ₃ (Au, Ag)Te ₂ Cu ₂ S.Bi ₂ S ₃ (Cu, Ag) ₂ S.2PbS.2Bi ₂ S ₃ 5 PbS.Sb ₂ S ₃ Bi ₂ (Se, S) ₃ (Ag, Au)Te ₂ 4 PbS.Sb ₂ S ₃ 2 PbS.3Bi ₂ S ₃ (Ag, Au)Te ₂	79 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 81		
HNO ₃	HCl	KCN	FeCl ₃	Сурьма Аргентит Дискаэзит Гессит	Sb Ag ₂ S Ag ₃ Sb Ag ₂ Te	81 81 81 81	Стефанит Аргентит Гессит Стромверит Умангит	5 Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃ Ag ₂ S Ag ₂ Te (Cu, Ag) ₂ S Cu ₃ Se ₂	81 81 81 82 82		
					FeCl ₃ отриц.				Стефанит Стибнит	5 Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃ Sb ₂ S ₃	82 82
				KCN отриц.	FeCl ₃	Агвиларит Петцит Клаусталит Галенит	Ag ₂ (Se, S) (Ag, Au) ₂ Te PbSe PbS	82 82 82 82	Цилиндрит Гессит Аляскаит Кзалит Шапбахит	6PbS.Sb ₂ S ₃ .6SnS ₂ Ag ₂ Te Ag ₂ S.PbS.2Bi ₂ S ₃ 2 PbS.Bi ₂ S ₃ Ag ₂ S.PbS.Bi ₂ S ₃	83 83 83 83 83

Мягкие минералы. (Продолжение)

Реактивы				Изотропные			Анизотропные						
				Минерал	Формула	Страница	Минерал	Формула	Страница				
HNO ₃	HCl	KCN отриц.	FeCl ₃ отриц.	Гауерит	MnS ₂	83	Андорит	Ag ₂ S.2PbS.3Sb ₂ S ₃	83				
				Сфалерит	ZnS	83	Цилиндрит	6PbS.Sb ₂ S ₃ .6S ₁ S ₂	84				
				Вольфцин	4ZnS.ZnO	83	Франкеит	5PbS.Sb ₂ S ₃ .2SnS ₂	84				
							Штернберgit	AgFe ₂ S ₃₋₄	84				
							Висмутоплагинит	5PbS.4Bi ₂ S ₃	84				
							Купродеклуазит	Pb ₂ (Zn, Cu) ₂ V ₂ O ₉ .H ₂ O	84				
							Овихит	8PbS.2Ag ₂ S.5Sb ₂ S ₃	84				
							Теаллит	SnS.PbS	84				
							Тенорит или мелаконит	CuO	84				
							Гаусманнит	Mn ₃ O ₄	85				
					HCl ₃ отриц	KCN	FeCl ₃	Домейкит	Cu ₃ As	85	Полибазит	8Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	85
								Сурьма	Sb	85	Стефанит	5Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	85
								Дискразит	Ag ₃ Sb	85	Науманнит	(Ag ₂ , Pb)Se	85
											Пеарцит	8Ag ₂ S.As ₂ S ₃	85
			Прутит					3Ag ₂ S.As ₂ S ₃	85				
			Эвкайрит					Cu ₂ Se.Ag ₂ Se	86				
			FeCl ₃ отриц					Канфильдит	4 Ag ₂ S.SnS ₂ с Ge	86	Канфильдит	4 Ag ₂ S.SnS с Ge	86
								Аргиродит	4 Ag ₂ S.GeS ₂	86	Полибазит	8 Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	86
								Теннантит	5 Cu ₂ S.2(Cu, Fe, Zn)S.2As ₂ S ₃	86	Прустит	3 Ag ₂ S.As ₂ S ₃	87
								Тетраэдрит	5 Cu ₂ S.2(Cu, Fe, Zn)S.2Sb ₂ S ₃	86	Пираргирит	3 Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	87
											Кермезит	Sb ₂ S ₃ O	87
											Ливингстонит	HgS.2Sb ₂ S ₃	87
											Миаргирит	Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	87
											Стибнит	Sb ₂ S ₃	87
							Клокманнит	CuSe	87				
							Аргиродит	4 Ag ₂ S.GeS ₂	87				
				Халькостибит	Cu ₂ S.Sb ₂ S ₃	87	Энарцит	Cu ₂ S.4CuS.As ₂ S ₃	87				
				Фаматинит	Cu ₂ S.4CuS.Sb ₂ S ₃	88	Кларотолит	3Cu ₂ S.2Bi ₂ S ₃	88				

HNO_3	HCl отриц.	KCN отриц.	$FeCl_3$	Агвиларит Дискразит Фрейбергит	$Ag_2(Se, S)$ Ag_3Sb $5(Cu, Ag)_2S_2 \cdot 2(Cu, Fe)S \cdot 2Sb_2S_3$	88 88 88	Виттихенит Агвиларит Гессиг	$3Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ $A_2(Se, S)$ Ag_2Te	89 89 89
				Петцит Колоралоит Каллилит Ульманит Вильямит	$(Ag, Au)_2Te$ HgTe Ni(Sb, Bi)S NiSbS $(Co, Ni)SbS$	88 88 88 88 89	Айкинит Аляскаит Сильванит	$Cu_2 \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$ $AgS \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$ $(Ag, Au)Te_2$	89 89 89
			$FeCl_3$ отриц.	Карролит Линнеит Зигенит Халькопирит Фрейбергит	$(Co, Cu)_2S_4$ Co_3S_4 $(Co, Ni)_3S_4$ CuFeS ₂ $5(Cu, Ag)_2S_2 \cdot 2(Cu, Fe)S \cdot 2Sb_2S_3$	89 89 89 90 90	Арамайонит Бертьерит Цилиндриит Франкеит Пиррогин	$Ag_2S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$ $FeS \cdot Sb_2S_3$ $6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 6SnS_2$ $5PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 2SnS_2$ FeS_{1+}	91 91 91 91 91
				Пентландит Сфалерит Станнин Теннантит	(Ni, Fe)S ZnS $Cu_2S \cdot FeS \cdot SnS_2$ $5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2As_2S_3$	90 90 90 90	Ратит Стибнит Врбаит Миллерит	$3PbS \cdot 2As_2S_3$ Sb_2S_3 $Tl_2S \cdot 3(As, Sb)_2S_3$ NiS	91 91 91 91
				Тетраэдрит	$5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$	90	Айкинит Бергонит	$CuS \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$ $2(Pb, Cu)_2S \cdot Sb_2S_3$	91 92
				Каллилит Ульманит Вильямит Вуртцит	Ni(Sb, Bi)S NiSbS Co, Ni(SbS) ZnS	90 90 90 90	Бурнонит Броньярдит Халькопирит Халькостибит Кубанит Эмплектит Геокронит Гуанахуатит Гитерманиг Иорданит Креннерит Лорандит Нагиагит Станнин Сильванит	$Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Sb_2S_3$ $Ag_2S \cdot PbS \cdot Sb_2S_2$ CuFeS ₂ $Cu_2S \cdot Sb_2S_3$ CuS ₂ FeS $Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ $5PbS \cdot Sb_2S_3$ $Bi_2(Se, S)_3$ $3PbS \cdot As_2S_3$ $4PbS \cdot As_2S_3$ $(Au, Ag)Te_2$ $Tl_2 \cdot As_2S_3$ Pb, Au, Te, S $Cu_2S \cdot FeS \cdot SnS_2$ $(Ag, Au)Te_2$	92 92 92 92 92 92 92 92 92 93 93 93 93 93

Мягкие минералы. (Продолжение)

Реактивы				Изотропные			Анизотропные			
				Минерал	Формула	Страница	Минерал	Формула	Страница	
HNO ₃ отриц.	HCl	KCN	FeCl ₃			Миаргирит	Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	93		
						Стефанит	5 Ag ₂ S.S ₂ S ₃	93		
		KCN отриц.	Fe I ₃ отриц.				Стефанит	5 Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	93	
			Fe I ₃ отриц.	Гауерит	MnS ₂	94	Миаргирит	Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	93	
				Магнетит	Fe ₃ O ₄	94	Делафоссит	3CuFeO ₂	94	
							Фрейясл. бенит	3Ag ₂ S.4PbS.3Sb ₂ S ₃	94	
	HCl отриц.	KCN	FeCl ₃	Аргентит	Ag ₂ S	: 4	Аргентит	Ag ₂ S	95	
			FeCl ₃ отриц.	Кераргирит	Ag ₂ I	95	Пираргирит	3Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	95	
				Аргиродит	4Ag ₂ S.GeS ₂	95	Ливингстонит	HgS.2Sb ₂ S ₃	95	
				Золото	Au	95	Миаргирит	Ag ₂ S.Sb ₂ S ₃	95	
				Сульфанит	Cu ₃ VS ₄	95	Аурипигмент	As ₂ S ₃	95	
				Тиманнит	HgSe	95	Аргиродит	4Ag ₂ S.GeS ₂	96	
					Ковелин	CuS	96			
					Энаргит	Cu ₂ 4CuS.As ₂ S	96			
		KCN отриц.	FeCl ₃	Колорадоит	HgTe	96	Килейит	PbS.Sb ₂ S ₃	96	
			FeCl ₃ отриц.	Цар. вод.	Халькопирит	CuFeS ₂	96	Тунгстенит	WS ₂	96
					Германит	Cu _x FeS _y	97	Андорит	Ag ₂ S.2Pb ₂ .3Sb ₂ S ₃	97
					Сфалерит	ZnS	97	Бертьерит	FeS.S ₂ S ₃	97
				Тетраэдрит	5Cu ₂ S.2(Cu, Fe, Zn)S.Sb ₂ S ₃	97	Кермезит	Sb ₂ S ₂ O	97	
				Тиманнит	HgSe	97	Ливингстонит	HgS.2S ₂ S ₃	97	
						97	Бурнонит	Cu ₂ S.2PbS.Sb ₂ S ₃	97	
						97	Броньардит	Ag ₂ S.PbS.Sb ₂ S ₃	97	
						97	Халькофанит	(Mn, Zn)O.2MnO ₂ .2H ₂ O	97	
						98	Халькопирит	CuFeS ₂	98	
						98	Кубанит	CuS.2FeS	98	
						98	Киноварь	HgS	98	
						98	Метадиннабарит	HgS	98	
						98	Молибденит	MoS ₂	98	
						98	Наггагит	Pb, Au, Te, S	98	
			Цар. вод. отриц.	Реальгар магнетит	AsS Fe ₃ O ₄	98 98	молибденит	MoS ₂	99	
							Пиролозит	MnO ₂	99	

Твердые минералы

Реактивы				Изотропные			Анизотропные		
				Минерал	Формула	Страница	Минерал	Формула	Страница
HNO ₃ вскип.	HCl отриц.	KCN отриц.	FeCl ₃	Хлоантит-шмальтин	(Ni, Co)As ₂	99	Маухерит Никкелин Плессит Раммельсбергит	Ni ₃ As NiAs (Ni, Fe)AsS NiAs ₂	100 100 100 100
				Коринит	Ni(As, Sb)S	99			
				Маухерит	Ni ₃ As ₂	99			
				Шмальтин-хлоантит	(Co, Ni)As ₂	99			
				Арсеноферрит	FeAs ₂	100			
				Герсдорфит	NiAsS	100			
				Скутгерудит	Co, Ni)As ₃	100			
			FeCl ₃ отриц.	Герсдорфит	NiAsS	100	Арсенопирит Лёллингит (никеле- содержащий) Марказит Пирит	FeAsS (Fe, Ni)As ₂ FeS ₂ FeS ₂	101 101 101 101
				Пирит	FeS ₂	100			
HNO ₃	HCl	KCN отриц.	FeCl ₃	Псиломелан	Mn ₂ MnO ₆	101	Гаусманнит	Mn ₃ O ₄	101
				FeCl ₃ отриц.					
			FeCl ₃	Скутгерудит (железо- содержащий)	(Co, Ni, Fe)As ₃	101			
	Каллилит	Ni(Sb, Bi)S		102					
	Ульманит	NiSbS		102					
		Вильямит	(Co, Ni)SbS	102					

Реактивы			Изотропные			Анизотропные				
			Минерал	Формула	Страница	Минерал	Формула	Страница		
HNO ₃	HCl	KCN отриц.	FeCl ₃ отриц.	Бравойт	(Fe, Ni)S ₂	102	Арсенопирит	FeAsS	103	
				Кобальтит	CoAs	102	Кобальтин	CoAsS	103	
				Кориннит	Ni(As, Sb)S	102	Глаукокодот	(Co, Fe)AsS	103	
				Пирит	FeS ₂	102	Лейкопирит	Fe ₃ As ₄	103	
			Вильямит	(Co, Ni)SbS	102	Лёллингит	FeAs ₃	103		
						Марказит	FeS ₂	103		
						Пирит	FeS ₂	103		
HNO ₃ отриц.	HCl	KCl отриц.	FeCl ₃ отриц.	Франклинит	(Fe, Zn, Mn)O. (Fe, Mn) ₂ O ₃	103	Гаусманнит	Mn ₃ O ₄	103	
				Магнетит	Fe ₃ O ₄	104				
	HCl отриц.	KCN отриц.	FeCl ₃	Уранинит		Уранат U, Pb и т.д.	104			
				Цар. вод.	Пирит	FeS ₂	104			
		Сперрилит	PtAs ₂		104					
	Цар. вод.	Браунит	Хромит	Кобальтин	Франклинит	3Mn ₂ O ₃ .MnSiO ₂	104	Касситерит	SnO ₂	105
						FeO.Cr ₂ O ₃	104	Кобальтин	CoAsS	105
						CoAsS	104	Ферберит	FeWO ₄	105
						(Fe, Zn, Mn)O.	104	Гетит	Fe ₂ O ₃ .H ₂ O	105
						(Fe, Mn) ₂ O ₃	104			
Гематит						Fe ₂ O ₃	104	Гематит (спекулярит)	Fe ₂ O ₃	105
Магнетит						Fe ₃ O ₄	104	Гюбнерит	MnWO ₄	105
								Ильменит	FeTiO ₃	105
			Полванит	MnO ₂	105					
			Рутил	TiO ₂	105					
			Вольфрамит	(Fe, Mn)WO	105					

Мягкие минералы

HNO_3 — вскип., HCl , KCN , FeCl_3

Изотропные

Медные арсениды. Учебники минералогии обычно описывают три медных арсенида: домейкит (Cu_3As), альгодонит (Cu_6As) и уайтнеит (Cu_8As). Недавнее микроскопическое исследование показало, что альгодонит является взаимным прорастанием двух различных минералов, близко похожих друг на друга по цвету и по отношению к протравам. Действительно тот и другой минерал редко можно распознать под микроскопом до травления, но их индивидуальные особенности выявляются реактивами благодаря тому, что один из составных минералов травится быстрее, чем другой. Точно так же и «уайтнеит» включает четыре разных минерала, из которых по меньшей мере два обычно представлены в каждом образце. Для среднего исследователя разделение составных компонентов альгодонита и уайтнеита считается недоступным; разрешение этой задачи требует значительного опыта в работе над данными рудами. Однако, следуя нижеприводимым описаниям, можно различить эти группы. Более подробные сведения приводятся у Бродрика (Broderick) (43).

КОН
 HgCl_2 С—. Домейкит (Cu_3As). — Кубический; цвет — белый; твердость С—. HNO_3 — вскипает, делает темносерым и выявляет треугольную спайность травления. HCl — выявляет треугольный узор травления; минерал медленно тускнеет. KCN — медленно вытравливает треугольный узор; поверхность не окрашивается. FeCl_3 — мгновенно окрашивает в черный цвет. KOH — окрашивает в различные радужные тона и выявляет треугольный узор травления. HgCl_2 — делает тусклым, черного цвета. Домейкит является бесспорным минералом, свободно отличаемым по своему цвету от альгодонита и уайтнеита. В косом отраженном свете его окраска имеет желтоватый оттенок. Режется довольно легко, но более хрупок, чем другие медные арсениды.

Альгодонит (Cu_6As). — Кубический; цвет зеленовато-серый; твердость С—. HNO_3 — вскипает и чернит; некоторые его разновидности дают параллельную (возможно кубическую) спайность травления. HCl — медленно окрашивает в коричневый цвет. KCN — окрашивает в коричневый цвет; некоторые разновидности дают параллельную спайность травления. FeCl_3 — мгновенно окрашивает в черный цвет. KOH — медленно окрашивает в радужный цвет. HgCl_2 — мгновенно окрашивает в черный цвет. Альгодонит представляет собой прорастание двух составных минералов, из которых каждый является особым минералом; они обозначаются: альгодонит α и β ; α -альгодонит зеленовато-серый, β -альгодонит имеет голубоватый оттенок. HCl — быстрее травит α -альгодонит, чем β -альгодонит. Режется легче, чем домейкит.

Уайтнеит (Cu_8As). — Кубический; цвет бледный, медно-розовый; твердость С—. HNO_3 — сильно вскипает и окрашивает в радужные цвета; на некоторых разновидностях выявляет зернистое строение; на других травление выявляет пластичатое строение. HCl — медленно окрашивает в серый цвет. KCN — медленно окрашивает в коричневый цвет; на некоторых разновидностях реактив медленно вскипает. FeCl_3 — мгновенно окрашивает в черный цвет. KOH — медленно окрашивает в радужные цвета. HgCl_2 — мгновенно окрашивает в коричневый — черный цвета. В уайтнеите установлены четыре самостоятельных компонента. Они обозначаются α -, β -, γ - и δ -уайтнеиты. Первые три имеют явственно более светлорозовый оттенок, чем самородная медь, но последний по цвету от меди почти неотличим. Они изменяются в окраске от α , самого светлого, до δ , по окраске наиболее близкого к меди. Некоторые из этих компонентов могут быть скорее сплавами меди и мышьяка, чем определенными химическими соединениями. Уайтнеит более хрупок, чем самородная медь. При полировке на уайтнеите образуются ямки, тогда как на меди их почти не бывает. С другой стороны, на меди царапины при полировке многочисленнее и глубже, чем на уайтнеите. Хорошим методом для отличия меди от уайтнеита является наложение капли 1:5 HCl . Уайтнеит протравливается легко, тогда как реакция меди отрицательна. Наилучшим испытанием уайтнеита однако является микрохимическое исследование на мышьяк.

Медь (Cu). — Кубическая; цвет — медно-красный; твердость В +. HNO_3 — вскипает, некоторые разновидности, тускнея, окрашиваются в коричневый цвет; другие повидимому вскипают без потускнения. HCl — реакция отрицательная; некоторые разновидности, медленно тускнея, приобращают коричневый цвет. KCN — дает медленное побурение. FeCl_3 — вызывает быстрое потемнение. KOH — вызывает быстрое потускнение коричневого — радужного цветов. HgCl_2 — вызывает быстрое почернение. Хорошо режется.

Арсенаргентит (Ag_3As). — Кубический; цвет кремово-белый; твердость В. HNO_3 — вскипает и чернит. HCl — вызывает радужное потускнение. KCN — вызывает потускнение коричневого цвета. FeCl_3 — мгновенно вызывает радужное потускнение. KOH — окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 — вызывает коричневое потускнение. Почти режется. Очень редок. Тождествен с гунгитом.

— KOH
 HgCl_2 Халькозин (Cu_2S). — Кубический и ромбический; цвет голубовато-серый; твердость В. Гипогенный халькозин, содержащий более 8% растворенного ковеллина, изотропен. Супергенный очень тонкозернистый халькозин также повидимому изотропен. В большинстве случаев гипогенный и супергенный халькозины слабо анизотропны. HNO_3 — сильно вскипает; минерал окрашивается в синий цвет; в некоторых изотропных разновидностях этот реактив выявляет октаэдрическую спайности травления. HCl — отрицательна; некоторые разновидности слабо тускнеют. KCN — быстро окрашивает до черного цвета; сначала выявляет спайности травления, но если раствор оставить на поверхности, выравленные спайности разрушаются и остается шероховатая изъеденная поверхность. FeCl_3 — окрашивает в синий цвет; некоторые изотропные разновидности выявляют октаэдрическую спайность травления. KOH — отрицателен. HgCl_2 — вызывает легкое потускнение.

Серебро (Ag). — Кубическое; цвет серебристо-белый; твердость В. HNO_3 — на одно мгновение слегка вскипает; окрашивает в серый цвет. HCl — пары вызывают легкое потускнение; почти отрицательна. KCN — вызывает темное, переходящее в коричневое потускнение. FeCl_3 — мгновенно окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен, HgCl_2 — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Хорошо режется.

Анизотропные

— KOH
 HgCl_2 Риккардит (Cu_4Te_3 ?). — Кристаллическая система не известна; цвет пурпурно-красный, похож на борнит; твердость В. Сильная анизотропность; при полном обороте дает четыре погасания. Интерференционный цвет огненно-оранжевый, очень похожий на цвет думангита. HNO_3 — вскипает и чернит. HCl — окрашивает в серый — коричневый цвета. KCN — медленно отбеливает в серый цвет. FeCl_3 — отбеливает в серый — коричневый цвета. KOH — вызывает радужное черное потускнение. HgCl_2 — медленно дает потускнение пурпурного цвета. Очень редок; известен только в Вулкан (Колорадо). Всегда в прорастании с вейсситом и другими теллуридами, поэтому формула, обычно даваемая в учебниках, неверна.

Вейссит (Cu_2Te_3 ?). — Кристаллическая система не известна; цвет светлосерый, почти одинаковый с халькозином; твердость В. HNO_3 — вскипает и окрашивает в коричневый цвет. HCl — окрашивает в светлокоричневый цвет. KCN — окрашивает в светлокоричневый цвет. FeCl_3 — окрашивает в коричневый цвет. KOH — медленно окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 — окрашивает в светлокоричневый цвет. Образец из Вулкан (Колорадо). Всегда связан с риккардитом (Cu_4Te_3). Отличается от риккардита цветом.

— KOH
 HgCl_2 Халькозин (Cu_2S). — Кубический и ромбический; цвет голубовато-серый; твердость В. Халькозин большей частью слабо анизотропен. HNO_3 — сильно вскипает; минерал окрашивается в синий цвет; у большинства разновидностей выявляется параллельная структура травления; очень мелкозернистый супергенный халькозин же выявляет однако спайности травления; мелкозернистый сажистый халькозин выявляет только границы зерен. HCl — отрицательна; некоторые разновидности слегка дают потускнение. KCN — быстро окрашивает в черный цвет; сначала он выявляет спайности травления, но если капля остается дольше, выравненные спайности разру-

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	
97	18	снизу	тускнеют	тускнеют, иризируя, другие отрицательны. HCl — отрицательна. KCN — некоторые образцы тускнеют.
98	1	сверху	коричневает	коричневает, поверхность не травится. KCN, FeCl ₃ KOH и HgCl ₂ — отрицательны. Царская водка — капля коричневает.
98	27	"	HCl	HCl, KCN
98	25	снизу	B+	B±
98	12	"	— KOH	KOH
98	11	"	HgCl ₂	— HgCl ₂
99	7	сверху	B+	B±
102	27	"	KOH	— KOH
102	26	"	HgCl ₂	— HgCl ₂
103	3	"	E	F
106	4	"	3PbS. 3Bi ₂ S ₃	2PbS. 3Bi ₂ S ₃
106	20	снизу	PbSe, NgSe	PbSe, HgSe
107	18	"	105	96
107	17	"	96	105
108	30	"	80, 99	80, 93
108	22	"	99	89
108	21	"	99	89
109	5	сверху	84	74
109	7	"	98	97
109	12	"	89	87
109	19	"	74, 78	74, 77
109	25	"	96	95
109	26	"	88, 91	86, 90
109	28	"	86, 91, 97	86, 90, 97
110	23	"	88, 96	87, 96
110	30	"	99	89
111	25	снизу	78, 80	77, 80
111	12	"	8, 3 84, 85	83, 84, 91
112	28	"	83, 90	83
112	8	"	106	96
112	5	"	78, 80	77, 80
112	4	"	87, 93, 97	87, 93, 95
113	10	сверху	5(Cu, Ag) ₂ S. 2(Cu, Fe)S. Sb ₂ S ₃	5(Cu, Ag) ₂ S. 2(Cu, Fe)S. 2Sb ₂ S ₃
113	17	"	93	93
113	23	"	88, 93	88, 96
113	24	"	80, 96	80, 93
125	10	снизу	(3-я колонка) 0, 10	0, 01
126	Между 13 и 12	строками внизу	вставить:	Уксуснокислый натрий NaC ₂ H ₃ O ₂
128	17	снизу	0, 0	0, 01
130	23	сверху	азотокислый	азотистокислый
131	4	снизу	ChCl	CsCl
133	8	сверху	Ni(NO ₂) ₂	Ni(NO ₃) ₂
134	29	"	0, 0	0, 05
136	23	снизу	132	139
137	10	сверху	123	153
141	11	снизу	133	123
145	8	"	серной	азотной
157	25	сверху	0, 0	0, 02
163	14	снизу	156	163
170	16	"	73	6
172	26	сверху	немедленно	медленно
178	19	"	HNO ₃	HNO ₃ , Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO ₃
193	30	снизу	1:1 HNO ₃	1:7 HNO ₃
194	17	сверху	1:1 HNO ₃	1:7 HNO ₃
196	1	"	6PbS. Sb ₂ S ₃ . SnS ₂	6PbS. Sb ₂ S ₃ . 6SnS ₂
197	9	"	1:1 HCl	1:5 HCl
197	17	"	1:7 HCl	1:7 HNO ₃

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	
12	16	сверху	разрез	размер
19	18	"	материалы	минералы
24	3	"	экспозиции	экспозиции, которая произво- дится
60	27	снизу	00—106	99—105
60	1	"	71	67
62	7	сверху	$Ag_2S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$	$Ag_2S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_6$
62	24	снизу	84, 90, 102	89, 90, 102
63	37	"	кларорит	кларотит
63	30	"	81, 80	88, 96
63	28	"	97, 102	99, 102
63	25	"	95	75
63	24	"	105	106
63	22	"	102	103
63	11	"	97, 103	101, 103
63	4	"	77, 83	77, 80
64	3	сверху	Нагнадит	Нагнагит
64	5—21	"	Все ссылки на страницы, начиная с 106, передвинуть на две строки ниже; ссылку строки 5-й читать — 100, 6-й — 84. Напечатанные ссылки строк 22-й и 23-й исключить. Кроме того, при опускании необходимо переставить местами ссылки строк 19-й и 20-й.	
64	24	"	80, 90	80, 91
64	10	снизу	93	73
65	8	сверху	83, 84, 98	83, 84, 91
65	10-19	"	Все ссылки опустить на строку ниже; строку 10-ю читать: чальмерзит —. Кроме того, в строке 15-й до опускания исправить 84 на 86.	
67	1	"	HNO_3	HNO_3 вспки.
68	18	"		
		(9-я колонка)	$4Ag_2S \cdot SnS$ с Ge	$4Ag_2S \cdot SnS_2$ с Ge
69	4	снизу (9-я колонка)	$Tl_2 \cdot As_2S_3$	$Tl_2S \cdot As_2S_3$
70	4—5	снизу (7-я колонка)	$5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn, S \cdot Sb_2S_3)$	$5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$
72	4	сверху (6-я колонка)	CoAS	CoAsS
72	1	снизу (9-я колонка)	(Fe, Mn)WO	(Fe, Mn)WO ₄
74	5	сверху	KCN	KCN
74	15	"	К этой строке должно быть примечание: Знак — на полях перед KCN и $HgCl_2$ означает здесь и дальше отрицательную реакцию.	
74	33	"	$NgCl_2$	$HgCl_2$
74	27	снизу	—KOH	KOH
75	14	"	A	A—
78	25	"	C—	C
80	31	"	KOH	—KOH
80	30	"	$HgCl_2$	— $HgCl_2$
80	22	"	$NgCl_2$	$HgCl_2$
81	16	"	KOH	—KOH
81	3	"	$NgCl_2$	$HgCl_2$
82	25	сверху	$NgCl_2$	$HgCl_2$
83	20	"	$FeCl_2$	$FeCl_3$
83	31	"	B	B—
88	1	"	D	D—
92	17	сверху	H_2Cl_2	$HgCl_2$
93	15	снизу	$FeCl_2$	$FeCl_3$
96	29	"	KOH	—KOH
96	17	"	KOH	—KOH
		"		$HgCl_2$

шаются и остается шероховатая изъеденная поверхность. $FeCl_3$ — окрашивает в синий цвет. Большинство образцов выявляют спайности травления. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — вызывает легкое потускнение.

KOH
 $HgCl_2$ Куприт (Cu_2O). — Кубический; цвет голубовато-серый; твердость D —. HNO_3 — вскипает и покрывает налетом металлической меди. HCl — откладывает белый налет. KCN — темнит и выявляет параллельную структуру травления. $FeCl_3$ — дает радужное потускнение. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Рубино-красный порошок и внутренние рефлексy.

HNO_3 — вскип., HCl , KCN , $FeCl_3$ — отр.

Анизотропные

KOH
 $HgCl_2$ Стибнит (Sb_2S_3). — Ромбический; цвет серый; твердость B. Очень сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в различные радужные тона; некоторые разности медленно вскипают. HCl — пары вызывают потускнение; некоторые разности отрицательны. KCN — выявляет царапины и иногда слегка меняет цвет. $FeCl_3$ — отрицательно. KOH — мгновенно производит коричневое потускнение и дает желтый налет; это самая характерная реакция для стибнита. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. Твердость и цвет несколько изменяются в связи с ориентировкой, придавая минералу пестрый характер, заставляющий предполагать присутствие более чем одного минерала.

HNO_3 — вскип., HCl , KCN — отр., $FeCl_3$

Изотропные

KOH
 $HgCl_2$ Серебро (Ag). — Кубическое; цвет серебристо-белый; твердость B. HNO_3 — вскипает и окрашивает в серый цвет. HCl — в парах тускнеет; ореол не смывается. KCN — некоторые образцы тускнеют в серый-коричневый цвета, другие отрицательны. $FeCl_3$ — мгновенно окрашивает в радужные цвета. KOH — отрицателен, $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Хорошо режется.

KOH
 $HgCl_2$ Алтаит ($PbTe$). — Кубический; цвет галениново-белый; твердость B. HNO_3 — вскипает и окрашивает в цвета от радужного до темносерого. HCl — вызывает быстрое радужное потускнение. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — быстро дает радужное потускнение. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Спайность — кубическая, но выраженная слабее, чем у галенита, имеет меньше треугольных ямок.

Галенит (PbS). — Кубический; цвет галениново-белый; твердость B. HNO_3 — небольшой процент образцов галенита вскипает и чернеет. HCl — дает радужное потускнение. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в радужные цвета; при соприкосновении площадей галенита с борнитом реакция отрицательна. KOH и $HgCl_2$ отрицательны. Совершенная кубическая спайность; многие образцы содержат обильные треугольные ямки. Образцы галенита, вскипающие при HNO_3 , выделяют значительное количество H_2S .

Анизотропные

KOH
 $HgCl_2$ Висмут (Bi). — Гексагональный; цвет розовато-серый, твердость A. Сильная анизотропность; HNO_3 — вскипает и темнит. HCl — неоднородно окрашивает в темный цвет; иногда выявляет пластинчатую структуру. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — мгновенно окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает пятнами в коричневый цвет; сомнительно.

Тетрадимит ($Bi_2(Te,S)_3$). — Гексагональный; цвет серебряно-белый; твердость B. HNO_3 — вскипает и окрашивает в коричневый — черный цвета; действие развивается вначале медленно. HCl — окрашивает в светло-коричневый — радужный цвета; на некоторых участках действие развивается очень медленно. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — травит в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — дает на разностях некоторых радужное потускнение, другие отрицательны. В молекуле теллур обычно замещается серой. Свободная от серы разновидность известна как теллуру-висмутит. Совершенная спайность по пинакoidу.

— KOH
— $HgCl_2$ Матильдит (Ag_2Pb)S. Bi_2S_3). — Цвет галенитово-белый; твердость С. HNO_3 — вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl — быстро дает потускнение до черного цвета. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Изученный образец из рудника О'Бриен в Кобальт (Онтарио). Прорастает другим минералом, содержащим Pb , Bi и S без серебра. Микрохимическое исследование матильдита указывает на присутствие значительного количества свинца.

Теллур (Te). — Гаксагональный; цвет серебрино-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в черный цвет со вскипанием. HCl — пары дают потускнение. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны.

Козалит ($2PbS \cdot Bi_2S_3$). — Моноклинный; цвет галенитово-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в черный цвет с медленным (сомнительным) вскипанием; пары дают потускнение. HCl — медленно окрашивает в различные оттенки серого — коричневого цветов. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматичен. Образец из Кобальта в Онтарио; описан и анализирован Уокером (Т. L. Walker).

HNO_3 — вскип., HCl , KCN — отр., $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Алабандит (MnS). — Кубический; цвет серый, похожий на сфалерит; твердость С. HNO_3 — вскипает и выделяет H_2S ; дает коричневое потускнение; иногда выделяет зернистую структуру. HCl — вскипает и выделяет H_2S ; дает черное потускнение. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Порошок и внутренние рефлексы зеленовато-желтые.

Анизотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Джемсонит ($4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет галенитово-белый; твердость В+. Сильная анизотропность. HNO_3 — дает радужное потускнение при медленном вскипании. HCl — пары дают потускнение. KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH дает радужное потускнение. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. Совершенная спайность по пинакоиду.

Плагионит ($5PbS \cdot 4Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет белый; твердость С. HNO_3 — вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl — пары дают местами потускнение; некоторые участки отрицательны; KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH — окрашивает в серый — коричневый цвета. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. Очень редок. Отличается от цинкениита только кристаллической формой.

Семсейит ($9PbS \cdot 4Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl — пары дают легкое потускнение; местами слабо окрашивает. KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH — медленно окрашивает в радужный цвет. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический.

Цинкениит ($PbS \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость С. HNO_3 — вскипает и темнит. HCl — пары дают легкое потускнение. KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH — окрашивает в радужный цвет. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. Не имеет отчетливой спайности. Образец из Вольфсберга в Гарце, характерен для района.

Троилит (FeS). — Гексагональный; цвет отчасти похожий на пирротин, но более желтоватый; твердость D. Сильная анизотропность. HNO_3 — бурно вскипает и выделяет H_2S . HCl — вскипает и выделяет H_2S . KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH — окрашивает неоднородно в радужный цвет; действие медленное. $HgCl_2$ — отрицательна. Очень редок, иногда встречается в метеоритах.

— KOH
— $HgCl_2$ Висмутин (Bi_2S_3). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl — пары дают потускнение. KCN , $FeCl_3$ и KOH — отрицательны. $HgCl_2$ — окрашивает в светлокоричневый цвет; некоторые образцы отрицательны. Призматический.

— *KOH*
— *HgCl₂* Висмутоплагинит ($5PbS \cdot 4Bi_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В+. HNO_3 — быстро окрашивает в радужный цвет, слегка вскипает. HCl — пары дают потускнение; некоторые участки окрашиваются в радужный цвет, другие — отрицательны. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Хорошая спайность в двух направлениях. Отмечен только в Виккес (Монтана). Анализирован Шенноном (E. V. Shannon) (U. S. Nat. Mus. Prog., Vol. 58, стр. 589, 1920).

Буланжерит ($5PbS \cdot 2Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет галенистово-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет; реакция вначале иногда развивается слабо. HCl — пары дают легкое потускнение; сомнительна. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Отличается от джемсонита реакцией на KOH .

Менегинит ($4PbS \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет; обычно реакция слаба вначале, но, раз начавшись, травление быстро идет волной от одной стороны капли к другой. HCl — пары дают потускнение; некоторые участки отрицательны. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Изученный образец из Боттино в Тоскане, Италия, характерен для района. Минерал прорастает галенитом, поэтому вышеприводимая формула подлежит проверке.

HNO_3 — вскип., HCl — отр., KCN , $FeCl_3$

Изотропные

KOH
HgCl₂ Медь (Cu). — Кубическая; цвет медно-красный; твердость В. HNO_3 — вскипает без потускнения. HCl — отрицательна, иногда дает слабое потускнение. KCN — медленно окрашивает в коричневый цвет. $FeCl_3$ — быстро чернит. KOH — вызывает медленное потускнение коричневато-радужного цвета. $HgCl_2$ — быстро чернит.

— *KOH*
HgCl₂ Халькозин (Cu_2S). — Кубический и ромбический; цвет голубовато-серый; твердость В. Гипогенный халькозин, содержащий более 8% растворенного ковеллина; изотропен. Очень мелкозернистый супергенный халькозин также очевидно изотропен. В большинстве случаев и гипогенный и супергенный халькозин слабо анизотропны. HNO_3 — сильно вскипает; минерал окрашивается в синий цвет; в некоторых изотропных случаях HNO_3 выявляет октаэдрическую спайность травления, но очень мелкозернистый супергенный халькозин такой спайности не выявляет. HCl — отрицательна; некоторые разности слабо тускнеют. KCN — быстро окрашивает в черный цвет; сначала выявляет спайности травления, но, если оставить каплю на более продолжительный срок, вытравленные спайности разрушаются, и остается шероховатая изъеденная поверхность. $FeCl_3$ — окрашивает в синий цвет; на некоторых изотропных образцах выявляет октаэдрическую спайность травления. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — дает легкое потускнение.

Серебро (Ag). — Кубическое; цвет серебристо-белый; твердость В. HNO_3 — на одно мгновение слегка вскипает; поверхность окрашивается в серый цвет. HCl — пары дают легкое потускнение; почти отрицательна. KCN — окрашивает минерал в светлосерый-коричневатый цвета. $FeCl_3$ — мгновенно окрашивает в радужные цвета. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый-радужный цвета. Хорошо режется.

— *KOH*
— *HgCl₂* Борнит (Cu_5FeS_4). — Кубический; цвет розовато-коричневый; потускневший борнит имеет пурпурный цвет; твердость В. Обычно изотропен, но некоторые образцы имеют слабую аномальную анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в желтовато-коричневый цвет; иногда выявляет спайности травления, имеющие склонность образовывать кирпичеобразный узор. HCl — отрицательна; KCN — окрашивает в коричневый цвет. $FeCl_3$ — окрашивает в оранжевый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Обычно ассоциируется с халькопиритом и другими медными минералами.

— *KOH*
HgCl₂ Халькозин (Cu_2S). — Кубический и ромбический; цвет голубовато-серый; твердость В. В большинстве случаев халькозин слабо анизотропен. HNO_3 — сильно вскипает; минерал окрашивается в синий цвет; в большинстве разностей вызывает параллельные спайности травления, но очень мелкозернистый супергенный халькозин таких спайностей не выявляет; при мелкозернистом сажистом халькозине выявляет только границы между зернами. HCl — отрицательна; некоторые разности слабо тускнеют. KCN — быстро окрашивает в черный цвет; сначала выявляет спайности травления, но если оставить каплю на более продолжительный срок, вытравленные спайности разрушаются, и остается шероховатая изъеденная поверхность. $FeCl_3$ — окрашивает в синий цвет; большинство образцов дает параллельные спайности травления. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — дает легкое потускнение.

— *KOH*
 — *HgCl₂* Борнит (Cu_5FeS_4). — Кубический; цвет розовато-коричневый; твердость В. Большинство образцов изотропны, но в некоторых наблюдается слабая аномальная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в желтовато-коричневый цвет; иногда выявляет спайности травления, имеющие склонность образовывать кирпичеобразный узор. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в коричневый цвет. $FeCl_3$ — окрашивает в оранжевый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Обычно ассоциируется с халькопиритом и другими медными минералами.

HNO_3 — вскип., HCl — отр., KCN , $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

— *KOH*
HgCl₂ Электрум (сплав Au и Ag). — Кубический; цвет светложелтый; твердость В. HNO_3 — пары дают потускнение; слегка вскипает. HCl — отрицательна. KCN — быстро окрашивает в черный цвет. $FeCl_3$ и KOH — отрицательны. $HgCl_2$ — окрашивает в радужный — черный цвета. Хорошо режется.

Анизотропные

— *KOH*
 — *HgCl₂* Клапротолит ($3Cu_2S \cdot 2Bi_2S_3$). — Вероятно кубический; цвет серый подобный цвету тетраэдрита; при косом освещении имеет розовато-коричневый оттенок; твердость С—. Слабая анизотропность, возможно аномален. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; пары дают потускнение; как будто появляется слабое вскипание. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в различные радужные цвета. $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Изучавшийся образец получен из Бьют (Монтана). Лэней (F. V. Laneu) определил его как клапротолит. Он прорастает ковеллином, давая взаимные прорастания границ и субграфические структуры.

HNO_3 — вскип., HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$

Анизотропные

— *KOH*
HgCl₂ Мышьяк (самородный) (As). — Гексагональный; цвет серый, твердость С. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в радужный цвет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в радужный — черный цвета. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — медленно окрашивает в светлорозовый цвет; некоторые участки почти отрицательны. Хорошая спайность по пинакоиду. При царапании получается порошок.

Теллур (Te). — Цвет серебристо-белый; твердость В. HNO_3 — вскипает; поверхность тускнеет в черный цвет. HCl — пары на некоторых участках дают потускнение; другие участки отрицательны. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в бледножелтый цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — некоторые участки окрашивает в светложелтый цвет, другие остаются отрицательными.

Тетрадимит ($Bi_2(Te, S)_3$). — Гексагональный; цвет галениново-белый; твердость В. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в коричневый — черный цвета; иногда реакция развивается вначале медленно. HCl — медленно окрашивает в светлорозовый — радужный цвета; некоторые участки

отрицательны. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — некоторые образцы окрашивает в радужный цвет; на других — отрицательна. Совершенная спайность по пинакоиду.

— KOH
— $HgCl_2$ Айкинит ($Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$). — Ромбический; цвет белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность тускнеет в радужный — черный цвета. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в светлокоричневый цвет и выявляет зернистое строение; действие очень медленное и эффект слабый. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны.

Калаверит ($Au, AgTe_2$). — Моноклинный; цвет светложелтый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. На большинстве образцов $FeCl_3$ — отрицательно; некоторые медленно окрашиваются в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический.

Галеновисмутит ($PbS \cdot Bi_2S_3$). — Цвет галеново-белый; твердость В. HNO_3 — вскипает и оставляет желтый осадок. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — оставляет небольшое желтое пятно; почти отрицательно. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Образец из Фалуна (Швеция). При микрохимических испытаниях выявляет Pb, Bi, S и Se. Прорастает галенитом.

Мелонит (Ni_2Te_3). — Цвет бледножелтый; твердость В. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в темнокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Очень редок. Если наклонить его полированную поверхность так, чтобы на нее падало отражение дневного света и смотреть на нее невооруженным глазом, то поверхность эта будет иметь отчетливую розовую окраску, сходную с окраской висмута.

Сильванит ($Au, AgTe_2$). — Моноклинный; цвет кремово-серый; твердость С. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в радужный цвет; вскипание сомнительно. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — иногда оставляет светложелтую протраву; большинство участков отрицательны. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Цветом светлее калаверита.

HNO_3 — вскип., HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Полидимит (Ni_3S_4). — Кубический; цвет латуно-желтый; твердость F. HNO_3 — медленное вскипание; пары дают потускнение; минерал медленно окрашивается в радужный цвет. HCl — капля желтеет; минерал не изменяется. KCN, $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Цвет приблизительно одинаковый с пентландитом. Единственный подлинный полидимит, наблюдавшийся автором, получен из Грюнау (Саксония); остальные образцы так называемого полидимита из Содбери и других мест оказались вполларитом.

Сфалерит (ZnS). — Кубический; цвет серый; твердость С—. HNO_3 — пары дают потускнение; реже можно наблюдать медленное вскипание. HCl — капля иногда делается желтой; минерал не изменяется. KCN, $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Некоторые образцы имеют внутренние смолистоокрашенные рефлексы. Порошок от белого до коричневого цвета, что зависит от пропорции железа. Некоторые образцы, вследствие додекаэдрической спайности, имеют треугольные ямки.

Виоларит (Ni, Fe_3S_4). — Кубический; цвет фиолетовый; твердость С. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность медленно окрашивается в коричневый цвет. HCl, KCN, $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны, некоторые образцы имеют треугольные ямки и кубическую спайность. Минерал нестоек и обычно крошится. Ассоциируется с пентландитом и пирротином⁴⁴ и обычно является продуктом их супергенного замещения.

Анизотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Джемсонит ($4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет галеново-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — дает радужное потускнение с медленным вскипанием. HCl — пары дают обычно потускнение; иногда отрицательна. KCN и $FeCl_3$ — отрицательны. KOH — окрашивает в разные оттенки радужного цвета. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический.

Плагионит ($5\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость С. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в радужный цвет. HCl — отрицательна; ее пары на некоторых участках дают легкое потускнение. KCN и FeCl_3 — отрицательны. KOH окрашивает в серый — коричневый цвета. HgCl_2 — отрицательна. От цинкениита отличается только своей кристаллической формой. Призматический. Редок.

Ратит ($3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость С. Слабая анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в черный цвет; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN и FeCl_3 — отрицательны. KOH окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 — отрицательна. Очень редок; отмечен только в Биннентале и Швейцарии.

— KOH Айкиннит ($\text{CuS} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет; HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Висмутин (Bi_2S_3). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в радужный цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический.

Буланжерит ($5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет; нередко действие вначале медленное. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH , HgCl_2 — отрицательны. Призматический. От джемсонита отличается реакцией на KOH .

Калаверит ($\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$. — Моноклинный; цвет светложелтый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — в большинстве образцов отрицательно; некоторые медленно окрашиваются в светло-коричневый цвет. KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический.

Эмплектит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет кремовый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в светлокориновый цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Редок.

— KOH Бенямиинит ($\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$. — Ромбический; цвет HgCl_2 белый; твердость В. Обнаруживает двойники. HNO_3 — вскипает и быстро чернит. HCl — отрицательна; ее пары дают легкое потускнение. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Хорошая спайность в одном направлении. Отмечен только на руднике Ауто в Манхэттен (Невада). Анализирован Шенноном (E. V. Shannon) (U. S. Nat. Mus. Proc. vol. 65, art. 24, стр. 1, 1924).

Геокронит ($5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость В. HNO_3 — окрашивает в черный цвет и медленно вскипает; вскипание не всегда явственно. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Редок.

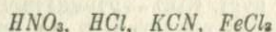
Гуанахуатит ($\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В. — Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в радужный цвет; пары дают потускнение; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Редок.

Креннерит ($\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}_2$. — Ромбический; цвет кремово-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает; поверхность окрашивается в радужный цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Цветом светлее калаверита.

Менегинит ($4\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — вскипает; поверхность окрашивается в черный цвет; реакция вначале обычно слаба, но, раз начавшись, быстро идет волной от одной стороны капли к другой. HCl — пары дают потускнение; некоторые участки отрицательны. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический.

Рецбаниит ($2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Кристаллическая система не известна; цвет галениново-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — сильно вскипает; поверхность делается черной. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Изучавшийся образец из типовой местности Рецбания (Венгрия). От других свинцово-висмутовых минералов отличается отсутствием призматического облика. Редок.

Сильванит (Au, Ag) Te_2 . — Моноклинный; цвет кремово-серый; твердость С. HNO_3 — дает радужное потускнение с медленным (сомнительным) вскипанием. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. От кренне-рита отличается только кристаллической формой.



Изотропные

— KOH

$HgCl_2$

Сурьма (Sb). — Гексагональная; цвет серебрино-белый; твердость В. Повидимому изотропна. HNO_3 — быстро окрашивает в черный цвет. HCl — пары дают легкое потускнение и поверхность при длительном действии окрашивается; фактически отрицательна. KCN — окрашивает в светло-коричневый цвет. $FeCl_3$ — окрашивает в черный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в радужный цвет.

Аргентит (Ag_2S). — Кубический; цвет серый; твердость А. Большинство образцов изотропно, но некоторые имеют слабую аномальную анизотропность. HNO_3 — окрашивает медленно и неоднородно. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается; это — самая характерная для аргентита реакция. KCN — быстро чернит. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в черный цвет. KOH — отрицательна. $HgCl_2$ — быстро сообщает радужный цвет. Хорошо режется.

Дискразит (Ag_3Sb). — Кубический; цвет серебрино-белый; твердость С. HNO_3 — быстро окрашивает в черный цвет; некоторые образцы обнаруживают решетчатое строение. HCl — некоторые участки как будто несколько окрашивает; на других сомнительна или отрицательна. KCN — травит неоднородно и выявляет структуру. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в радужные цвета. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневые цвета и выявляет структуру. Почти режется, но при царапании дает порошок.

Гессит (Ag_2Te). — Кубический; цвет серый; твердость А. Некоторые образцы изотропны, другие имеют аномальную анизотропность. Некоторые образцы на одной и той же поверхности имеют участки изотропные и анизотропные. HNO_3 — окрашивает в радужный — черный цвета. HCl — медленно окрашивает в черный цвет; отрицательна на небольших площадях. KCN — дает черные пятна, действует слабо. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — дает светлокоричневое потускнение.

Анизотропные

KOH

$HgCl_2$

Стефанит ($5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В. HNO_3 — фактически отрицательна; после долгого травления пары дают слабое потускнение и минерал окрашивается в очень светлокоричневый цвет; реакция сомнительна. HCl — пары дают потускнение, ореол не смывается. KCN — окрашивает в темносерый цвет и выявляет царапины. $FeCl_3$ — дает потускнение. KOH — быстро окрашивает в черный цвет. $HgCl_2$ — быстро окрашивает в радужный цвет. Порошок металлический.

KOH

$HgCl_2$

Аргентит (Ag_2S). — Кубический; цвет серый; твердость А. Некоторые образцы изотропны; другие имеют аномальную анизотропность. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается. KCN — окрашивает неоднородно в черный цвет и выявляет структуру. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в черный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — быстро окрашивает в черный цвет. Хорошо режется; порошка не дает.

Гессит (Ag_2Te). — Кубический; цвет серый; твердость А+. Некоторые образцы изотропны; другие отличаются аномальной анизотропностью. Некоторые образцы имеют и изотропные и анизотропные участки на одной и той же полированной поверхности. HNO_3 — окрашивает в черный цвет быстро. HCl — окрашивает в черный цвет медленно. KCN — окрашивает черными пятнами; слаб. $FeCl_3$ — мгновенно дает радужное потускнение. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый цвет. По виду очень похож на аргентит, но при царапании дает порошок, тогда как аргентит дает только металлические стружки.

Стромейерит ($\text{Cu, Ag}_2\text{S}$). — Ромбический; цвет серый; твердость 3. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в радужный черный цвет. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается; иногда действие почти отрицательно. KCN — быстро окрашивает в черный цвет. FeCl_3 — быстро окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в радужный цвет. Очень похож на аргентит по цвету и действию травления; стромейерит имеет более сильную анизотропность и при царапании дает порошок.

Умангит (Cu_3Se_2). — Цвет пурпурный, похожий на слегка потускневший борнит; твердость 5. Сильно анизотропен; дает четыре погасания; интерференционные цвета огненно-оранжевые, очень похожие на цвета клокманнита. HNO_3 — пары дают потускнение, поверхность становится синей. HCl — делает поверхность синей. KCN — дает неоднородное потускнение от синих до темносерых цветов, выявляя зернистую структуру. FeCl_3 делает поверхность синеватой. KOH — отрицательна. HgCl_2 — делает поверхность синеватой. Ассоциируется с клаусталитом и клокманнитом.

$\text{HNO}_3, \text{HCl}, \text{KCN}, \text{FeCl}_3$ — отр.

Анизотропные

KOH
 HgCl_2 Стефанит ($5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость 5. HNO_3 — фактически отрицательна; после долгого травления пары дают легкое потускнение, и минерал окрашивается в очень светлый коричневый цвет; реакция сомнительна. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается. KCN — быстро окрашивает в черный цвет. FeCl_3 — дает на некоторых образцах потускнение, другие отрицательны. KOH — некоторые образцы окрашивает в черный цвет; другие отрицательны. HgCl_2 — окрашивает в коричневый, радужный цвета. Порошок металлический.

KOH
— HgCl_2 Стибнит (Sb_2S_3). — Ромбический; цвет серый; твердость 5. Очень сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в различные радужные цвета. HCl — пары иногда дают легкое потускнение; обычно реакция отрицательна. KCN — выявляет царапины и иногда слегка травит. FeCl_3 — отрицательно. KOH — мгновенно производит коричневое потускнение и дает желтый налет; это — наиболее характерная для стибнита реакция. HgCl_2 — отрицательна. Призматический. Твердость и цвет иногда изменяются вместе с ориентировкой, придавая ему пестрый вид, заставляющий думать, что мы имеем дело не с одним минералом.

$\text{HNO}_3, \text{HCl}, \text{KCN}$ — отр., FeCl_3

Изотропные

— KOH
 HgCl_2 Агвиларит ($\text{Ag}_2(\text{Se}, \text{S})$). — Кубический; цвет серый; твердость 4. HNO_3 — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет. HCl — обычно отрицательна; пары иногда дают потускнение; KCN — отрицателен, FeCl_3 — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен; HgCl_2 — окрашивает в радужный цвет. Хорошо режется. Редок.

Петцит ($\text{Au, Ag}_2\text{Te}$). — Кубический; цвет серый; твердость 4. HNO_3 — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет. HCl — обычно отрицательна; пары дают иногда потускнение. KCN — отрицателен. FeCl_3 — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. HgCl_2 — медленно окрашивает в коричневый цвет. Часто ассоциируется с гесситом и самородным золотом.

— KOH
— HgCl_2 Клаусталит (PbSe). — Кубический; цвет галениново-белый; твердость 4. HNO_3 — дает потускнение и оставляет налет; при косом освещении кирпично-красного цвета; это отличает минерал от галенита. HCl — медленно дает светлокоричневое потускнение. KCN — отрицателен. FeCl_3 — окрашивает в радужный цвет. KOH и HgCl_2 — отрицательны. Имеет кубическую спайность, менее совершенную, чем галенит. Обычно имеет разбросанные треугольные ямки.

Галенит (PbS). — Кубический; цвет галениново-белый; твердость 3. HNO_3 — окрашивает в черный цвет. HCl — дает потускнение в коричневый — радужный цвета. KCN — отрицательна. FeCl_3 — дает радужное потускнение; эта реакция отрицательна, если галенит находится в контакте с борнитом. KOH и HgCl_2 — отрицательны. Совершенная кубическая спайность. Большинство образцов имеет параллельные треугольные ямки.

Анизотропные

—KOH
—HgCl₂ Цилиндрит ($6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 6SnS_2$). — Тетрагональный; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — пары дают потускнение; медленно окрашивает в радужный цвет. HCl — пары дают потускнение; после 2-минутного травления слегка окрашивает. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — слегка травит в светлокоричневый цвет; сомнительно. KOH — окрашивает в светлосерый, местами радужный цвет. $HgCl_2$ — отрицательна. Пинакоидальные сечения более или менее цилиндричны и образованы из концентрических слоев.

—KOH
—HgCl₂ Гессит (Ag_2Te). — Кубический; цвет серый, похожий на цвет аргентина; твердость А. Большинство образцов имеет аномальную анизотропность. HNO_3 — окрашивает в черный цвет. HCl — отрицательна; на некоторых участках пары ее повидимому дают слабое потускнение. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Почти режется, но при царапании дает порошок.

—KOH
—HgCl₂ Аляскаит ($Ag_2S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в темный цвет. HCl — пары дают легкое потускнение; сомнительна. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в радужный цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Серебросодержащий галеновисмутит. Призматический. Редок. Два анализа, приводимые Дана, дают Ag 3% и 8%.

Козалит ($2PbS \cdot Bi_2S_3$). — Моноклинный; цвет галенитово-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в черный цвет с медленным (сомнительным) вскипанием. HCl — медленно дифференциально окрашивает в серый — черный цвета. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Образец из рудника Бостон Крик в Кобальт (Онтарио). Описан и анализирован Уокером (Т. L. Walker).

Шапбахит ($Ag_2S \cdot PbS \cdot Bi_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет. HCl — окрашивает неоднородно; некоторые участки не загрязняются. KCN — отрицателен. $FeCl_3$ — окрашивает в радужный цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Огмечен только в Шапбахе (Баден). Отличается от аляскаита большим содержанием серебра (Ag 11,6%).

HNO_3 , HCl , KCN — отр., $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

—KOH
—HgCl₂ Гауерит (MnS_2). — Кубический; цвет серый; твердость Е. HNO_3 — пары дают слабое потускнение; некоторые участки совершенно отрицательны. HCl — раствор делается коричневым; минерал при травлении становится светлокоричневым; пары дают слабое потускнение; некоторые участки не травятся. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. H_2O_2 — медленное вскипание; поверхность не травится. Кубическая спайность; на поверхности появляются треугольные ямки. Красный порошок.

Сфалерит (ZnS). — Кубический; цвет серый; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение; на площадях меньших, чем капли, реакция обычно отрицательна. HCl — пары иногда дают потускнение; обычно отрицательна. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Некоторые образцы имеют внутренние рефлексы смолистой окраски. Додекаэдрическая спайность; некоторые образцы имеют треугольные ямки. Порошок от белого до коричневого; если пропорция железа высока, порошок металлический.

Вольтцин ($4ZnS \cdot ZnO$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — пары дают сильное потускнение. HCl — дает потускнение и выделяет H_2S . KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Порошок имеет смолистый цвет; есть внутренние рефлексы. Нет спайности.

Анизотропные

—KOH
—HgCl₂ Андорит ($Ag_2S \cdot 2PbS \cdot 3Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; похожий на цвет тетраэдрита; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые участки медленно окрашиваются

в коричневый цвет, другие отрицательны. HCl — пары дают слабое потускнение. KCN и FeCl₃ — отрицательны. KOH медленно окрашивает в коричневый цвет. HgCl₂ — отрицательна. Царская водка сильно вскипает и травит в черный цвет. Почти неизменно ассоциируется со стanniном. Редок. Призматический.

Цилиндрит (6PbS. Sb₂S₃. 6SnS₂). — Тетрагональный; цвет серый; твердость С—. Сильная анизотропность. HNO₃ — пары дают потускнение; медленно окрашивает в радужный цвет. HCl — пары дают потускнение; после двухминутного травления слегка окрашивает. KCN — отрицателен. FeCl₃ — окрашивает в слегка коричневый цвет; сомнительно. KOH — окрашивает в светлосерый, местами радужный цвет. HgCl₂ — отрицательна. Пинакоидальные сечения более или менее цилиндричны и состоят из концентрических слоев.

Франкент (5PbS. Sb₂S₃. 2SnS₂). — Цвет серый; твердость В. HNO₃ — окрашивает неоднородно в радужный цвет; пары дают потускнение; HCl — пары при продолжительном травлении дают легкое потускнение; сомнительна. KCN и FeCl₃ — отрицательны. KOH — некоторые участки слегка окрашивает; другие отрицательны. HgCl₂ — отрицательна.

Штернбергит (AgFeS₂S₄). — Ромбический; цвет светлокоричневый; твердость В. Очень сильная анизотропность, заметная и без анализирующего николя. HNO₃ — пары дают потускнение. HCl — пары дают потускнение медленно. KCN и FeCl₃ — отрицательны. KOH — окрашивает дифференциально в радужный цвет. HgCl₂ — отрицательна; дает вследствие отложения кристаллов. HgCl₂ обманчивое «травление». Облик призматический. Обычно ассоциируется с красными серебряными минералами.

— **KOH**
— **HgCl₂** Висмутоплагинит (5PbS. 4Bi₂S₃). — Ромбический; цвет серый; твердость В+. HNO₃ — быстро окрашивает в радужный цвет; слегка вскипает. HCl — пары дают потускнение; некоторые участки окрашиваются в радужный цвет, другие отрицательны. KCN, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Призматический. Хорошая спайность в двух направлениях. Отмечен только в Викес (Монтана). Анализирован Шенноном. (E. V. Shannon, U. S. Nat. Mus. Proc., vol. 58, стр. 600, 1920).

Купродеклуазит (Pb₂(Zn, Cu)₂V₂O₉. H₂O). — Ромбический; цвет серый, похожий на цвет сфалерита; твердость D. Слабая анизотропность. HNO₃ — травит и отлагает желтый порошок. HCl — травит и отлагает желтый порошок. KCN, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Смоловидный порошок. Красноовато-коричневые внутренние рефлексы.

Овихит (8PbS. 2Ag₂S. 5Sb₂S₃). — Ромбический; цвет серый; твердость В+. Сильная анизотропность. HNO₃ — окрашивает дифференциально в радужный цвет. HCl — пары дают потускнение. KCN, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Облик призматический. Имеет треугольные кливажные ямки. Очень редок. Образец из рудника Пурман в округе Сильвер Сити. (Айдео); анализирован Шенноном. (E. V. Shannon) (Am. Mineralogist, vol. 6, стр. 82 — 83, 1921).

Теаллит (SnS.PbS). — Ромбический; цвет серый; твердость D—. HNO₃ — пары дают слабое потускнение. HCl — окрашивает в черный цвет и выявляет царапины. KCN, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Имеет хорошую спайность по крайней мере в двух направлениях и содержит многочисленные треугольные ямки. Образец содержит Pb и Sn, но Sb отсутствует. Физические особенности образца не соответствуют теаллиту. Может быть каким-либо другим соединением свинца и олова.

Тенорит или мелаконит (CuO). — Моноклинный; цвет серый; твердость E—. Умеренно сильная анизотропность. HNO₃ — пары дают слабое потускнение; поверхность медленно неоднородно окрашивается в коричневый цвет; некоторые участки не затронуты. HCl — медленно неоднородно окрашивает в коричневый цвет; некоторые участки не затронуты; капля окрашивается в зеленый цвет. KCN, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Находится в окисленной зоне медных месторождений. Массивная наиболее распространенная разновидность — мелаконит, а призматическая — тенорит. Обычно мелаконит имеет более или менее химически соединенные с ним марганцевую окись и кремнезем. Если минерал содержит примерно более 5% того или другого из этих компонентов, он называется «медной смоляной рудой».

Гаусманнит (Mn_2O_3). — Гексагональный; цвет белый со слабым голубым отливом; твердость D—. Сильно анизотропен; большинство образцов имеет многочисленные двойники, похожие на плагиоклаз. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы отрицательны. HCl — дает местами неоднородное коричневое потускнение; некоторые участки отрицательны. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. H_2O_2 — медленно вскипает, на травя поверхности. Хорошая спайность по пинакоиду. Порошок и внутренние рефлексы темнокрасные. Хорошо полируется.

HNO_3 , HCl — отр., KCN , $FeCl_3$

Изотропные

KOH
HgCl₂ Дэмейкит (Cu_3As). — Кубический; цвет кремово-серый; твердость С. HNO_3 — вскипает и выявляет пластичную структуру. HCl — выявляет спайности травления, на некоторых участках действие очень медленное, реакция сомнительна. KCN — выявляет спайности травления. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в радужный цвет. KOH и $HgCl_2$ окрашивают в радужный цвет и выявляют пластичную структуру. Почти режется, но при царапании дает порошок.

KOH
HgCl₂ Сурьма (Sb). — Гексагональная; цвет серебрино-белый; твердость В. Позидимому изотропна. HNO_3 — быстро окрашивает в черный цвет. HCl — отрицательна; ее пары иногда дают слабое потускнение. KCN — окрашивает в светлокоричневый цвет. $FeCl_3$ — окрашивает в черный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — быстро окрашивает в радужный цвет. Spайность по ромбоэдру. Содержит треугольные ямки.

Дискразит. (Ag_3Sb). — Кубический; цвет серебрино-белый; твердость С. HNO_3 — быстро окрашивает в черный цвет; на некоторых образцах выявляет решетчатую структуру. HCl — отрицательна. KCN — медленно окрашивает в коричневый цвет; слаб. $FeCl_3$ — быстро окрашивает в радужный цвет и выявляет структуру. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — быстро окрашивает в коричневый цвет. Почти режется, но при царапании дает порошок.

Анизотропные

KOH
HgCl₂ Полибазит ($8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый, твердость С—. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — быстро чернит. $FeCl_3$ — дает радужное потускнение. KOH — дает медленно радужное потускнение; на некоторых образцах отрицательно. $HgCl_2$ — быстро чернит. Порошок темный рубиново-красный; если частицы его крупны, то кажется черным. Внутренние рефлексы красные; не всегда видимы.

Стефанит ($5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость В. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — быстро чернит. $FeCl_3$ — слегка окрашивает в светлосерый цвет, отрицательно. KOH — дает радужное или черное потускнение. $HgCl_2$ — дает радужное потускнение. От полибазита всего вернее отличить слабостью реакции с $FeCl_3$, металлическим порошком и отсутствием внутренних рефлексов.

KOH
HgCl₂ Науманнит (Ag_2, Pb Se). — Кубический; цвет серый; твердость В. Слабая аномальная анизотропность. HNO_3 — дает радужное потускнение и выявляет структуру. HCl — отрицательна. KCN — очень медленно окрашивает в коричневый цвет; выявляет спайность. $FeCl_3$ — мгновенно дает радужное потускнение. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — дает потускнение в коричневое — радужный цвета и выявляет структуру. Обычно имеет следы кубической спайности. Изоморфен с агиларитом (Ag_2Se) и обычно неотличимый от него.

Пеарцит ($8Ag_2S \cdot As_2S_3$). — Моноклинный; цвет белый; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — быстро окрашивает в темный цвет. $FeCl_3$ — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в радужный цвет. Очень тонкие осколки, по краям темнокрасные.

Прустит ($3Ag_2S \cdot As_2S_3$). — Гексагональный; цвет голубовато-серый, твердость В—. HNO_3 — медленно окрашивает в черный цвет. HCl — отрицательна. KCN — быстро окрашивает в черный цвет и выявляет царапины.

$FeCl_3$ — медленно окрашивает в черный цвет. KOH — отрицательно. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Цвет при косом освещении яркий рубиново-красный, светлее пираргирита. Порошок и внутренние рефлексы — рубиново-красные.

— KOH
— $HgCl_2$ Эвкайрит ($Cu_2Se \cdot Ag_2Se$). — Кубический; цвет серый, похожий на цвет халькозина; твердость А—. Слабоанизотропный. HNO_3 — пары дают сильное потускнение; поверхность медленно становится темносерой. HCl — отрицательна. KCN — мгновенно окрашивает в черный цвет. $FeCl_3$ — мгновенно дает неоднородное радужное потускнение. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Ассоциируется с клаусталитом и клокамнитом.

HNO_3 , HCl — отр., KCN , $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

KOH
 $HgCl_2$ Канфильдит ($4Ag_2S \cdot SnS_2$, с некоторой примесью германия). — Кубический; цвет серый с розоватым оттенком. Большая часть участков изотропна, но некоторые имеют аномальную анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; для реакции обычно надо более одной минуты. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в темносерый цвет и выявляет структуру. $FeCl_3$ — отлагает налет хлорного железа, стремящегося прилипнуть к поверхности, но реакцию следует назвать отрицательной. KOH дает потускнение в радужный — темносерый цвета. $HgCl_2$ мгновенно дает радужное потускнение.

— KOH
 $HgCl_2$ Аргиродит ($4Ag_2S \cdot GeS_2$). — Тетрагональный; псевдокубический; цвет серый, похожий на энаргит; твердость С. Некоторые образцы изотропны, другие анизотропны. HNO_3 — пары дают слабое потускнение, обычно отрицательна. HCl — отрицательна, KCN — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет. $FeCl_3$ и KOH — отрицательны. $HgCl_2$ — быстро окрашивает в радужный цвет.

— KOH
— $HgCl_2$ Теннантит ($5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2As_2S_3$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — некоторые образцы медленно окрашивает в светлокоричневый цвет, выявляя чарипины; большинство образцов отрицательно. $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Цвет в контакте с галенитом явственно зеленоватый. Порошок в большинстве образцов металлический, в некоторых — красновато-коричневый.

Тетраэдрит ($5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы окрашиваются в радужный цвет. HCl — отрицательна, KCN — некоторые образцы медленно окрашивает в светлокоричневый цвет, выявляя чарипины; большинство образцов отрицательно. $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Порошок в большинстве образцов металлический, в некоторых красновато-коричневый.

Анизотропные

KOH
 $HgCl_2$ Канфильдит ($4Ag_2S \cdot SnS_2$, с примесью германия). — Кубический; цвет серый с розоватым оттенком; твердость В. Большинство участков изотропно, но некоторые отличаются аномальной анизотропностью. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; реакция обычно требует более одной минуты; слаба. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в темный цвет и выявляет структуру. $FeCl_3$ — отлагает налет хлорного железа, стремящийся прилипнуть к поверхности, но реакцию следует назвать отрицательной. KOH — дает радужное или темносерое потускнение. $HgCl_2$ — мгновенно дает радужное потускнение.

Полибазит ($8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость С—. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в черный цвет. $FeCl_3$ — обычно дает радужное потускнение; некоторые образцы отрицательны. KOH — медленно дает радужное потускнение; некоторые образцы отрицательны. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета; порошок темный рубиново-красный; если частицы крупны, порошок кажется черным. Внутреннее отражение красное; не всегда видимо.

Прустит ($3Ag_2S \cdot As_2S_3$). — Гексагональный; цвет синевато-серый; твердость В. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — быстро окрашивает в черный цвет. $FeCl_3$ — отрицательно. KOH — окрашивает в черный цвет. $HgCl_2$ — окрашивает в черный цвет. Цвет и внутренние рефлексы рубиново-красные. Неотличим от пираргирита по цвету и по испытанию травлением.

Пираргирит ($3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Физические свойства и протравочные испытания одинаковы с пруститом.

KOH
 $-HgCl_2$ Кермезит (Sb_2S_2O). — Моноклинный; цвет серый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — на некоторых участках дает коричневое потускнение; другие отрицательны. HCl — отрицательна. KCN — слегка окрашивает в светлорыжий цвет; сомнителен. $FeCl_3$ — отрицательно, KOH — производит потускнение и дает желтый налет; это самая характерная реакция для данного минерала; реакция одинакова с реакцией на стибнит. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. Порошок красный, внутренние рефлексы красные, всего лучше видимые при сильном поляризованном свете.

Ливингстонит ($HgS \cdot 2Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет свинцово-серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый — радужный цвета. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в коричневый цвет и выявляет царапины. $FeCl_3$ — отрицательно. KOH — мгновенно темнит, оставляя желтый осадок; действие очень характерное, похожее на стибнит. $HgCl_2$ — отрицательна. При сильном измельчении порошок красен.

Миаргирит ($As_2S \cdot Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серовато-белый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — обычно отрицательна; иногда слегка окрашивает. HCl — пары дают обычно потускнение; иногда отрицательна. KCN — травит неоднородно в темносерый цвет. $FeCl_3$ — иногда дает слабое потускнение; сомнительно. KOH — дает неоднородное радужное потускнение. $HgCl_2$ — отрицательна. Рубиново-красный порошок и внутренние рефлексы. Сравнение с пираргиритом см. на стр. 88.

Стибнит (Sb_2S_3). — Ромбический; цвет серый; твердость В—. Очень сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает неоднородно в радужный цвет. HCl — пары дают иногда легкое потускнение; обычно реакция отрицательна. KCN — выявляет трещины и иногда слегка окрашивает. $FeCl_3$ — отрицательно. KOH — мгновенно дает потускнение и отлагает желтый налет; это для стибнита самая характерная реакция. $HgCl_2$ — отрицательна. Призматический. В связи с ориентировкой твердость и цвет иногда несколько меняются, что придает минералу пестрый вид; это может иногда сбить с толку и заставить думать, что перед нами не один минерал.

Клокманнит (Cu_2S). — Гексагональный; цвет зеленовато-серый; твердость С. Сильная анизотропность при вращении дает четыре погасания. Интерференционный цвет огненный, подобно ковеллину, но более оранжевый, чем красный. HNO_3 — пары дают потускнение; HCl — отрицательна; раствор делается желтый. KCN — быстро окрашивает в черный цвет. $FeCl_3$ — отрицательно. KOH — медленно неоднородно окрашивает в коричневый цвет. $HgCl_2$ — отрицательна. Пестр по виду. Близкое сходство с ковеллином указывает на то, что вышеприведенная формула верна⁴⁵. Ассоциируется с клаусталитом и другими селенидами.

KOH
 $HgCl_2$ Аргиродит ($4Ag_2S \cdot GeS_2$). — Тетрагональный; псевдокубический; цвет серый, подобно энаргиту; твердость С. Некоторые образцы изотропны, другие слабо анизотропны. HNO_3 — пары иногда дают слабое потускнение; обычно отрицательна. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в светлорыжий цвет. $FeCl_3$ и KOH — отрицательны. $HgCl_2$ — быстро дает радужное потускнение; самая характерная реакция.

KOH
 $-HgCl_2$ Халькостибит ($Cu_2S \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение; после длительного воздействия минерал окрашивается в радужный цвет. HCl — отрицательна. KCN — отрицателен; выявляет царапины и слегка травит. $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Цветом светлее тетраэдрита. Имеет хорошо выраженную спайность.

Энаргит ($Cu_2S \cdot 4CuS \cdot As_2S_3$). — Ромбический; цвет у двух известных разновидностей: у одной — серый, у другой — розоватый; розоватая разновидность известна под названием лузонит; обе разновидности можно наблю-

дать в одном и том же образце; твердость D. Сильная анизотропность. HNO_3 — пары дают слабое потускнение; иногда отрицательна. HCl — отрицательна. KCN — травит в черный цвет и иногда выявляет параллельную структуру. FeCl_3 и KOH — отрицательны. HgCl_2 — иногда слегка окрашивает; сомнительна. Во многих местах прорастает теннантитом.

Фаматинит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет розовато-серый, похожий на розовый энаргит; твердость D. Сильно анизотропен. HNO_3 — окрашивает неоднородно в радужный цвет; пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает неоднородно в темный цвет; реакция медленнее, чем у энаргита. FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматическая спайность. Изоморфен с энаргитом.

Клапротолит ($3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Вероятно кубический; цвет серый, подобно тетраэдриту; в косом освещении имеет розовато-коричневый оттенок; твердость C. Очень слабая анизотропность, возможно аномальная. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает неоднородно в радужный цвет. FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Образец из Бьютт (Монтана) определен как клапротолит Лэнеем (F. V. Lane). Он прорастает крупнозернистым ковеллином, давая взаимные прорастания границ и субграфические структуры.

HNO_3 , HCl — отр., KCN — отр., FeCl_3

Изотропные

— **KOH**
HgCl₂ **Агвиларит** ($\text{Ag}_2(\text{Se}, \text{S})$). — Кубический; цвет серый; твердость A. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет. HCl — обычно отрицательна; ее пары иногда дают светлокоричневое потускнение. KCN — отрицателен. FeCl_3 — дает радужное потускнение. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в радужный цвет. Режется. Редок.

Дискразит (Ag_3Sb). — Кубический; цвет серебристо-белый; твердость C. HNO_3 — окрашивает неоднородно в радужный цвет. HCl — медленно неоднородно окрашивает; некоторые участки отрицательны или сомнительны. KCN — отрицателен, FeCl_3 — дает радужное потускнение. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в коричневый цвет. Почти режется, но при царапании дает порошок.

Фрейбергит ($5(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Кубический; цвет очень светлый серый; твердость D. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. HgCl_2 — оставляет пятнистый осадок; почти отрицательна. Изучавшиеся образцы из Рэндсбург (Калифорния) и округа Майо (Юкон). Оба с относительно высоким содержанием серебра.

Петцит ($\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Te}$). — Кубический; цвет галенисто-белый; твердость A. HNO_3 — окрашивает в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в коричневый—радужный цвета. Обычно прорастает гесситом. Петцит более, чем гессит, и имеет более гладкую поверхность. Гессит имеет шероховатую поверхность и близко похож на аргентит. Петцит имеет кубическую спайность и содержит треугольные ямки подобно галениту, но спайность его менее совершенна, чем спайность галенита. Петцит гораздо более редкий минерал, чем гессит; большинство так называемых петцитов при исследовании их автором оказалось прорастаниями гессита с калаверитом или другими минералами.

— **KOH**
— **HgCl₂** **Колорадоит** (HgTe). — Кубический; цвет розовато-серый; твердость C. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; некоторые участки почти отрицательны. HCl и KCN — отрицательны, FeCl_3 — окрашивает неоднородно в радужный цвет; KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Каллилит ($\text{Ni}(\text{Sb}, \text{Bi})\text{S}$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — дает радужное потускнение. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает слабо, почти отрицательно. KOH и HgCl_2 — отрицательны. Из Швйштейна (Германия). Очень редок.

Удльманит (NiSbS). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO_3 — окрашивает в коричнево-радужный цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и HgCl_2 — отрицательны. Имеет хорошо выраженную кубическую спайность, содержит треугольные ямки.

Вильямит (Co, Ni)SbS). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO₃ — дает потускнение радужных цветов, повидимому слегка вскипает. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — слегка окрашивает; почти отрицательно. KOH и HgCl₂ — отрицательны. Из Брокен-Хилл (Австралия). Редок.

Анизотропные

KOH
HgCl₂ Виттихенит (3Cu₂S·Bi₂S₃). — Цвет серый; твердость C —. HNO₃ — быстро дает Иризирующее потускнение. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH — окрашивает в радужный цвет. HgCl₂ — слегка окрашивает, сомнительна. Образец из Колки-хирка (Перу), из коллекции доктора В. Линдгрена, и подвергался анализу в Массачузетском технологическом институте.

KOH
HgCl₂ Агвиларит (Ag₂(Se, S)). Включен в список как кубический; цвет серый; твердость A. Сильная анизотропность. HNO₃ — быстро окрашивает в радужный — черный цвета; пары дают потускнение. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — быстро окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицательно. HgCl₂ — быстро окрашивает в радужный цвет. Сильная изотропность возбуждает вопрос о том, кубический ли этот минерал. Похож на аргентит, но при царпании дает порошок.

Гессит (Ag₂Te). — Кубический; цвет серый; твердость A+. Большинство образцов гессита имеет аномальную анизотропность. HNO₃ — окрашивает в черный цвет. HCl — отрицательна: пары ее повидимому на некоторых участках дают слабое потускнение. KCN — отрицателен. FeCl₃ — окрашивает в радужный цвет. KOH — отрицательно. HgCl₂ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Похож на аргентит, но при царпании дает порошок.

KOH
HgCl₂ Айкинит (CuS·2PbS·Bi₂S₃). Ромбический; цвет белый; твердость C. Сильная анизотропность. HNO₃ — на большинстве участков вскипает и окрашивает в радужный цвет; на некоторых участках окрашивает без вскипания. HCl и KCN отрицательны. FeCl₃ — слегка травит в очень светлый коричневый цвет, действие слабое и может быть рассматриваемо как отрицательное. KOH и HgCl₂ — отрицательны.

Аляскаит (Ag₂S·PbS·2Bi₂S₃). — Ромбический; цвет серый; твердость C. Сильная анизотропность. HNO₃ — медленно окрашивает в темный цвет. HCl — пары дают слабое потускнение; сомнительная. KCN — отрицателен. FeCl₃ — окрашивает в радужный цвет. KOH и HgCl₂ — отрицательны. Серьезодержащий галеновисмутит. Призматический. Редок. Анализ образца из Сильвертона (Колорадо), сделанного Фейрчальдом (J. G. Fairchild), дал Pb 15,4, Ag 11,7, Cu 1,6, Bi 55,3, S 16,0.

Сильванит (Au, Ag)Te₂. — Моноклинный; цвет кремовый, белый; твердость C. Сильная анизотропность. HNO₃ — окрашивает в радужный цвет с сомнительным вскипанием. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — иногда оставляет светложелтое пятно; обычно отрицательно. KOH и HgCl₂ — отрицательны.

HNO₃, HCl — отр., KCN — отр., FeCl₃ — отр.

Изотропные

KOH
HgCl₂ Карролит (Co, Cu)₂S₄. — Кубический; цвет кремово-белый; похожий на линнеит, но несколько светлее; твердость E. HNO₃ — пары дают потускнение радужных цветов. HCl, KCN, FeCl₃ и KOH — отрицательны. HgCl₂ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. Действие несколько замедленное. Микрохимические испытания на тщательно выбранных участках указывают на то, что карролит является особым минералом, а не смесью линнеита с медным минералом, как иногда утверждали⁴⁰.

Линнеит (Co₂S₄). — Кубический; цвет кремово-белый; твердость E+. HNO₃ — пары дают потускнение. HCl, KCN, FeCl₃ и KOH — отрицательны. HgCl₂ — неоднородно окрашивает в коричневый цвет; некоторые участки почти отрицательны.

Зигенит (Co, Ni)₂S₄. — Кубический; цвет кремово-белый; твердость E+. HNO₃ — пары дают сильное потускнение; поверхность медленно неоднородно окрашивается в коричневый цвет. HCl, KCN, FeCl₃ и KOH — отрицательны. HgCl₂ — некоторые образцы слегка окрашиваются, другие отрицательны. Легко царапается иглой. Образец из Карроль Коунти (Мэриленд).

имеет хорошую кубическую спайность. Образцы из рудника Ля-Мотт (Мон-тана) и Гейнрихзиген (Германия) спайности не имеют. Зигенит более распространен, чем линнеит. Отличен от линнеита исключительно микрохимическими пробами на Ni и Co. Цвет всего лучше виден, если смотреть на полированный шлиф невооруженным глазом в косом освещении, поворачивая его так, чтобы получить отражение источника света, предпочтительно дневного света из окна, выходящего на север.

— **КОН**
— **HgCl₂** Халькопирит (CuFeS_2).— Тетрагональный; цвет латунно-желтый; твердость С. Большинство образцов слабо, но явно анизотропны; лишь небольшая их часть повидимому изотропна. HNO_3 — пары дают потускнение, некоторые разности отрицательны. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Пары царской водки дают неоднородное потускнение и выявляют зернистую структуру; площадь, покрытая каплей, обычно медленно окрашивается в коричневый цвет, но некоторые участки остаются почти незатронутыми. Легко царапается иглой, что отличает его от пирита. При царапании дает порошок в отличие от золота, поддающегося резанию.

Фрейбергит ($5(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — окрашивает в радужный цвет; на некоторых разновидностях пары дают потускнение, но минерал, покрытый каплей, не затрагиваются. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Серебросодержащий тетраэдрит.

Пентландит ($\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}$). — Кубический; цвет латунно-желтый; твердость D —. HNO_3 — пары дают потускнение; минерал медленно окрашивается в коричневый цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Несвершенная кубическая спайность. Немагнитен. Почти неизменно ассоциирован с пиротином и халькопиритом.

Сфалерит (ZnS). — Кубический; цвет серый; твердость С+. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка вскипает и окрашивает в темнокоричневый цвет; пары дают потускнение. Некоторые образцы имеют внутренние рефлексы смолистой окраски. Некоторые содержат треугольные ямки. Порошок от белого до коричневого цвета. Если пропорция железа значительна, порошок может быть с металлическим блеском.

Станнин ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}, \text{SnS}_2$). — Кубический; цвет светлокорицеовато-серый; твердость D+. Большинство образцов имеет слабую аномальную анизотропность; другие изотропны. HNO_3 — окрашивает в радужный цвет; пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Обычно ассоциирован с халькопиритом.

Теннантит ($5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Кубический; цвет серый; в контакте с галенитом теннантит имеет отчетливый зеленоватый оттенок; твердость D. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl — отрицательна. KCN — обычно отрицателен; окрашивает в светлокорицеовый цвет и на некоторых образцах выявляет царапины. FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Некоторые образцы дают красновато-коричневый порошок; другие — черный металлический порошок.

Тетраэдрит ($5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 — пары обычно дают потускнение; некоторые образцы радужно тускнеют, но для действия при испытании требуют более одной минуты. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Некоторые образцы дают красновато-коричневый порошок; другие — черный металлический порошок.

Вильямит ($\text{Co}, \text{Ni})\text{SbS}$). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO_3 — дает потускнение радужного цвета, повидимому слегка вскипает. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — повидимому слегка травит, эту реакцию легко пропустить. KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Ульманит и каллилит. Реакции те же, что и у вильямита.

Вуртцит (ZnS). — Гексагональный; цвет темносерый; твердость D—. Повидимому изотропный. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Пары царской водки дают потускнение; поверхность окрашивается в коричневый цвет. Встречается чаще всего в качестве оболочки на сфалерите и других сульфидах. В штуфах, как в полированных шлифах, сфалерит и вуртцит различимы с трудом. Единственный

надежный путь — наблюдать раздробленные осколки под микроскопом между скрещенными николями, пользуясь проходящим светом. Сфалерит изотропен, тогда как вуртцит обладает сильным двупреломлением.

Анизотропные

КОН
HgCl₂ Арамайит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot (\text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в радужный цвет; действие вначале медленное. HCl , KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — окрашивает в радужный цвет. HgCl_2 — отрицательна. Призматический. Образец из Чокаяя (Боливия) описан Спенсером (L. J. Spencer) (Miner. Mag., 21, стр. 156 — 162, 1927).

Бергьерит ($\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость D—. Сильная анизотропность. HNO_3 — дает неоднородное потускнение от коричневых до радужных цветов. HCl — отрицательна; иногда раствор окрашивается с желтый цвет. KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — дает потускнение радужных цветов. HgCl_2 — отрицательна. Призматический.

Цилиндрит ($6\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 6\text{SnS}_2$). — Тетрагональный; цвет серый; твердость С—. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в радужный цвет. HCl , KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — медленно окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 — отрицательна. Призматический. Пинакоидальные сечения более или менее цилиндричны и состоят из концентрических слоев.

Франкеит ($5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 2\text{SnS}_2$). — Цвет серый; твердость В. HNO_3 — окрашивает дифференциально в радужный цвет; пары дают потускнение. HCl — пары при продолжительном травлении дают потускнение; сомнительна. KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — некоторые участки слегка окрашивает, другие отрицательны. HgCl_2 — отрицательна.

Пирротин (FeS_2 +). — Гексагональный; цвет коричневый или розоватый кремовый; твердость D—. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет; пары дают потускнение. HCl — раствор иногда желтеет, но минерал не изменяется. KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — дает потускнение радужных цветов. HgCl_2 — отрицательна. Отчетливо магнитный.

Ратит ($3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость С. Слабая анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в черный цвет; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 — отрицательна. Очень редок; отмечен только в одной местности — Аллхар в Македонии.

Стибнит (Sb_2S_3). — Ромбический; цвета серый — галенитово-белый; твердость В+. Очень сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает неоднородно в радужный цвет. HCl — пары на гладкой поверхности обычно дают легкое потускнение; на большинстве участков отрицательна. KCN — на гладкой поверхности обычно выявляет царапины и иногда слегка окрашивает; на шероховатой поверхности этой реакции можно не заметить. FeCl_2 — отрицательно. KOH — мгновенно дает потускнение и отлагает желтый налет; для стибнита это самая характерная реакция. HgCl_2 — отрицательна. Призматический. Твердость и цвет несколько изменяются вместе с ориентировкой и придают образцу пестрый вид; это обстоятельство может вызвать впечатление, что здесь не один минерал.

Врбаит ($\text{TeS} \cdot 3(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость С. Слабая анизотропность. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl , KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — мгновенно окрашивает в радужный цвет и выявляет параллельные спайности травления. HgCl_2 — отрицательна. Порошок и внутренние рефлексы красные. Известен в одной местности — Аллхар в Македонии.

КОН
HgCl₂ Миллерит (NiS). — Гексагональный; цвет латунно-желтый, промежуточный между пиритом и халькопиритом; твердость E. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет; пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_2 и KOH — отрицательны. HgCl_2 — медленно окрашивает в коричневый цвет. Обычно, но не всегда, по своему строению волокнист.

КОН
HgCl₂ Айкинит ($\text{CuS} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — большинство участков вскипает и окрашивается в радужный — черный цвета; некоторые участ.

ки окрашиваются повидимому без вскипания. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Бертонит ($2(\text{Pb},\text{Cu}_2)\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Цвет серый, похожий примерно на цвет тетраэдрита; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение; минерал медленно окрашивается в коричневый — радужный цвета. Другие реактивы отрицательны. Массивный; спайности нет. Из Туниса. Описан Х. Буттгенбахом (Soc. géol. Belgique, Annales, vol. 46, стр. 212, 1923).

Бурнонит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый, похож примерно на цвет тетраэдрита; твердость С—. HNO_3 — пары дают медленно потускнение; некоторые образцы слегка тускнеют в светлокоричневый цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка вскипает и окрашивает в радужный цвет. Отличим от тетраэдрита при помощи поляризованного света.

Броньярдит ($\text{Ag}_3\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Цвет галенитово-белый; в контакте с галенитом обладает зеленовато-серым оттенком; твердость С. Слабая анизотропность. HNO_3 — отрицательна; после долгого травления медленно неоднородно окрашивается в радужный цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и H_2Cl_2 — отрицательны. Царская водка быстро вскипает и окрашивает неоднородно в радужный цвет. Редок.

Халькопирит (CuFeS_2). — Тетрагональный. Цвет латунно-желтый; твердость С. Образцы из большинства местностей слабо анизотропны. Лишь взятые из немногих местностей, а именно Инсизва (Южн. Африка), имеют довольно сильную анизотропность. Халькопирит, встречающийся в ассоциации с пирротином, обычно имеет в поляризованном свете многочисленные двойники. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые разности отрицательны. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Пары царской водки дают неоднородное потускнение и выявляют зернистую структуру; площадь, покрытая каплей, обычно медленно окрашивается в коричневый цвет, но некоторые участки почти не затрагиваются. Легко царапается иглой, что отличает его от пирита; при царапании дает порошок, чем отличается от режущего золота.

Халькостибит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет белый; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Две хороших спайности. Отличим от тетраэдрита в поляризованном свете. Единственный не внушающий сомнения образец халькостибита, виденный автором, получен из Раз-эль-Азуль в Алжире; другие так называемые халькостибиты оказывались тетраэдритами.

Кубанит ($\text{CuS} \cdot 2\text{FeS}$). — Ромбический; цвет коричневатого или розовато-кремовый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — некоторые образцы окрашивает в светлокоричневый цвет; другие отрицательны. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Неизменно прорастает халькопиритом и обычно ассоциируется с пирротином. Цвет почти одинаковый с пирротаном, лишь несколько желтее. Кубанит слабомагнитный, но менее, чем пирротин. Рядом с халькопиритом кубанит рельефа не имеет; пирротин тверже, чем халькопирит, и рельефно поднимается над ним. Известен так же как чальмерзит (или кубан).

Эмплектит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Ромбический. Цвет кремово-серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — большинство образцов вскипает и окрашивается в светлокоричневый цвет; однако некоторые образцы окрашиваются без вскипания, а на некоторых образцах единственным эффектом бывает коричневый ореол, образованный параами. HCl — отрицательна; на некоторых образцах капля желтеет, но минерал не травится. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Самой характерной особенностью минерала является цвет.

Геокронит ($2\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галенитово-белый. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в светлокоричневый цвет; минерал делается черным; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Редок.

Гуанахуагит ($\text{Bi}_2(\text{Se},\text{S})_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В+. Сильная анизотропность. HNO_3 — дает неоднородное радужное потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический.

Гитерманит ($3\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость С. HNO_3 — пары дают потускнение; минерал медленно окрашивается в радужный цвет. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Образец из рудника Зуви в Сильвертон (Колорадо), типичной местности. Редок.

Иорданит ($4PbS \cdot As_2S_3$). — Моноклинный; цвет галениново-белый; твердость С. HNO_3 — медленно дает потускнение от серых до коричневых цветов. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Очень редок; известен только в следующих местностях: Бинненталь (Швейцария) и Нагган (Венгрия).

Креннерит (Au, Ag) Te_2). — Ромбический; цвет кремово-белый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и окрашивает в коричневый цвет; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Отличается от сивьянита только внешней кристаллической формой.

Лорандит ($Tl_2S \cdot As_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость В. HNO_3 — пары вызывают постоянное потускнение, местами минерал медленно окрашивается. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Очень редок; известен только в одном месторождении Аллахар в Македонии. Порошок и внутренние рефлексы красные.

Нагиагит ($Pb, Au, Te, S(?)$). — Сульфотеллурид Pb и Au . Ромбический; цвет голубовато-белый; твердость В—. HNO_3 — медленно окрашивает в радужный цвет; пары иногда дают потускнение. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Облик пластинчатый. Пластинки гибкие и часто изогнуты подобно пластинкам молибдена.

Станнин ($Cu_2S \cdot FeS \cdot SnS_2$). — Кубический; цвета светлокоричневый — серый; твердость D+. Большинство образцов имеет слабую аномальную анизотропность; другие изотропны. HNO_3 — окрашивает в радужный цвет; пары дают потускнение. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH , $HgCl_2$ — отрицательны. Обычно ассоциируется с халькопиритом.

Сильванит (Au, Ag) Te_2). — Моноклинный; цвет кремовый — серый; твердость С. HNO_3 — окрашивает в радужный цвет с сомнительным вскипанием. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — на некоторых участках оставляет светложелтое пятно; другие отрицательны. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны.

HNO_3 — отр., HCl , KCN , $FeCl_3$

Анизотропные

KOH , $HgCl_2$ Миаргирит ($Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары дают легкое потускнение; слаба; KCN — окрашивает в черный цвет; выявляет массу царпина. $FeCl_3$ — дает неоднородное коричневое потускнение; медленно. KOH — быстро окрашивает в радужный цвет. $HgCl_2$ — медленно дает потускнение; в некоторых образцах слабо или отрицательно. Порошок и внутренние рефлексы рубиново-красные. При контакте с миаргиритом гораздо более анизотропен, чем пираргирит: миаргирит почти неизменно ассоциируется с пираргиритом.

Стефанит ($5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В. HNO_3 — отрицательна; после долгого травления пары дают слабое потускнение и минерал повидимому окрашивается в очень светлокоричневый цвет; реакция сомнительна. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается. KCN — окрашивает в темносерый цвет и выявляет царпин. $FeCl_3$ — дает потускнение. KOH — быстро окрашивает в черный цвет. $HgCl_2$ — быстро травит в радужный цвет. Порошок металлический.

HNO_3 — отр., HCl , KCN , $FeCl_3$ — отр.

Анизотропные

KOH , $HgCl_2$ Стефанит ($5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость В. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары дают потускнение; вначале действие медленное; ореол не смывается. KCN — быстро травит в черный цвет. $FeCl_3$ — большинство образцов окрашивает в радужный цвет; некоторые образцы отрицательны, но реактив оставляет на поверхности легко стирающийся налет. KOH — некоторые участки травит в коричневый цвет; другие не затрагиваются. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета.

KOH , $HgCl_2$ Миаргирит ($Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Моноклинный; цвет серый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары дают потускнение; местами отрицательна. KCN — медленно окрашивает в ко-

ричный цвет. FeCl_3 — отрицательно. KOH — окрашивает в радужный цвет. HgCl_2 — отрицательна. Порошок и внутренние рефлексы рубиново-красные. Обычно прорастает пираргиритом. Миаргирит отличается более сильной анизотропностью. Пираргирит в контакте с миаргиритом имеет определенную голубую окраску.

HNO_3 — отр., HCl , KCN — отр., FeCl_3 — отр.

Изотропные

— KOH
— HgCl_2 Гауерит (MnS_2). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO_3 — пары медленно дают потускнение; некоторые участки отрицательны. HCl — раствор буреет; минерал окрашивается в светлокоричневый цвет. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Треугольные ямки указывают на кубическую спайность. Порошок красный.

Магнетит (Fe_3O_4). — Кубический; цвет серый; твердость F. HNO_3 — отрицательна. HCl — капли на гладкой поверхности растекаются, пары дают потускнение; раствор желтеет; KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царапании — черный порошок. Порошок магнитный (см. описание хромита, стр. 97). Магнетит имеет свойство несколько сдавливаясь при давлении. Игла, проведенная по гладкой поверхности, часто оставляет отчетливый след, но это не истинная царапина, так как края царапины не изломаны. Трудно толкать конец иглы диагонально к поверхности и получить порошок при таком движении. Магнетит собственно «твердый» минерал, но мы относим его к «мягкой» группе, считаясь с трудностью, вызываемой его аномальным поведением.

Анизотропные

— KOH
— HgCl_2 Делафоссит (CuFeO_2). Цвет серый; твердость E. Сильная анизотропность; имеет радиальную структуру. HNO_3 — отрицательна. HCl — окрашивает неоднородно в черный цвет; капля желтеет; KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Черный порошок содержит маленькие кристаллические пластинки. Очень редок.

Фрейслебениит ($3\text{Ag}_2\text{S} \cdot 4\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Моноклиный; цвет серый, подобный цвету тетраэдрита; твердость B. Сильная анизотропность. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары дают потускнение; ореол не смывается. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Очень редок. Образец из Хиенделенсии (Испания).

Гаусманнит (Mn_2O_3). — Гексагональный; цвет белый со слабым голубым оттенком; твердость D—. Сильно анизотропен, большинство образцов имеет многочисленные двойники, похожие на плагиоклаз. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы отрицательны. HCl — дает неоднородное светлокоричневое потускнение; некоторые участки отрицательны; KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. H_2O_2 медленно вскипает, не окрашивая поверхности. Хорошая спайность по пинакoidу. Порошок и внутренние рефлексы темнокрасные. Хорошо полируется.

Манганит (Mn_2O_3). — Ромбический; цвет серый; твердость E+. Сильно анизотропен; при вращении дает четыре потухания. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары дают потускнение; поверхность окрашивается в светлокоричневый цвет. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. H_2O_2 медленно вскипает, не окрашивая поверхности. Призматический. Дает коричневый порошок.

Теаллит ($\text{SnS} \cdot \text{PbS}$). — Цвет галениново-белый; твердость C. HNO_3 — отрицательна. HCl — быстро дает серо-коричневое потускнение. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Совершенная спайность по пинакoidу. Пластинки гибкие и изогнуты подобно пластинкам молибденита.

HNO_3 — отр., HCl — отр., KCN , FeCl_3

Изотропные

— KOH
— HgCl_2 Аргентит (Ag_2S). — Кубический; цвет серый; твердость A. Некоторые образцы изотропны; другие имеют аномальную анизотропность. HNO_3 и HCl — пары дают потускнение в большинстве образцов, но

некоторые отрицательны. KCN — окрашивает неоднородно в черный цвет и выявляет структуру. FeCl₃ — быстро окрашивает в черный цвет. KOH — отрицателен. HgCl₂ — быстро окрашивает в черный цвет. Очень хорошо режется; порошка не дает.

Анизотропные

Аргентит, см. выше.

HNO₃ — отр., HCl — отр., KCN, FeCl₃ — отр.

Изотропные

KOH
HgCl₂ Кераргирит (AgCl). — Кубический; цвет темносерый; твердость А. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — мгновенно окрашивает в серо-коричневый цвет. FeCl₃ — отрицательно. KOH — окрашивает в коричневый цвет. HgCl₂ — отрицательна. В косом свете имеет восковой желтый оттенок. Очень хорошо режется, — это самое характерное качество кераргирита.

KOH
HgCl₂ Аргиродит (4Ag₂S · GeS₂). — Тетрагональный, псевдокубический; цвет серый; твердость С. Некоторые образцы изотропны, другие слабо анизотропны. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — медленно окрашивает в темный цвет и выделяет царпины. FeCl₃ — сомнительно или отрицательно. KOH — отрицателен. HgCl₂ — дает радужное потускнение.

KOH
HgCl₂ Золото (Au). Кубическое; твердость В. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — окрашивает в черный цвет и сообщает поверхности шероховатость. FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Очень хорошо режется. Сульфванит (Cu₃VS₄). — Кубический; цвет галенитово-белый; твердость С. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — слабо травит и выявляет царпины, FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Кубическая спайность, не особенно характерная. Очень редок. Образец из Бурра-Бурра (Южная Австралия).

Тиманнит (HgSe). Кубический; цвет серый; твердость В. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — на некоторых участках дает потускнение радужного цвета; другие — отрицательны. FeCl₃, KOH и HgCl₂ — отрицательны. Царская водка вскипает и окрашивает в радужный цвет.

Анизотропные

KOH
HgCl₂ Пираргирит (3Ag₂S · Sb₂S₃). — Гексагональный; цвет синевато-серый; твердость С. HNO₃ — пары на некоторых участках дают легкое потускнение; другие отрицательны. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает неоднородно в серый — коричневый цвет. FeCl₃ — отрицательно; на некоторых участках повидимому дает легкие потускнения. KOH мгновенно дает радужное потускнение. HgCl₂ — окрашивает в коричневый цвет. Порошок и внутренние рефлексы рубиново-красные (см. описание миаргирита, стр. 88).

KOH
HgCl₂ Ливингстонит (HgS · 2Sb₂S₃). — Ромбический; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO₃ — некоторые образцы окрашивает в радужный цвет; другие отрицательны. HCl — отрицательна. KCN — некоторые образцы окрашивает в коричневый цвет; другие отрицательны. FeCl₃ — отрицательно. KOH — мгновенно темнит, оставляя желтый налет; реакция очень характерна и похожа на реакцию стибнита. HgCl₂ — отрицательна. Царская водка вскипает и окрашивает в радужный цвет. При сильном измельчении порошок красный. Призматический. Редкий.

Миаргирит (Ag₂S · Sb₂S₃). — Моноклинный; цвет серый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO₃ и HCl — отрицательны. KCN — окрашивает неоднородно в черный цвет и выявляет тонкие царпины. FeCl₃ — отрицательно. KOH — окрашивает в желтый цвет. HgCl₂ — отрицательна. Порошок и внутренние рефлексы рубиново-красные. Обычно прорастается пираргиритом. Миаргирит имеет более сильную анизотропность. При контакте с миаргиритом пираргирит имеет отчетливый голубоватый оттенок.

Аурипигмент (As₂S₃). Моноклинный; при вертикально падающем свете цвет серый, в косом освещении желтый; твердость В. Сильная ани-

зотропность. HNO_3 и HCl — отрицательны. KCN — окрашивает и выявляет структуру. FeCl_2 — отрицательно. KOH — мгновенно окрашивает в темно-коричневый цвет. HgCl_2 — отлагает осадок, но поверхность не окрашивает. Порошок и внутренние рефлексы желтые.

— KOH
— HgCl_2 Аргиродит ($4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{GeS}_2$). — Кубический; цвет серый, похож на цвет энаргита; твердость С. Некоторые образцы изотропны, другие слабо анизотропны. HNO_3 — пары иногда дают слабое потускнение; обычно отрицательна. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в светлокоричневый цвет. FeCl_2 — сомнительно или отрицательно. KOH — отрицателен. HgCl_2 — быстро окрашивает в радужный цвет; это самая характерная реакция.

— KOH
— HgCl_2 Ковеллин (CuS). — Гексагональный; цвет индиго-синий; твердость В +. Сильная анизотропность; зерна между скрещенными николями имеют цвет от синего до огненно-красного. HNO_3 и HCl — отрицательны. KCN — окрашивает в черный цвет. FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Энаргит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет у двух известных разновидностей: у одной — серый, у другой — розоватый; розоватая разновидность известна как лузонит; обе разновидности можно наблюдать в одном и том же образце; твердость D—. Сильная анизотропность. HNO_3 — пары дают слабое потускнение; иногда отрицательна. HCl — отрицательна. KCN — окрашивает в черный цвет и иногда выявляет параллельную структуру. FeCl_2 и KOH — отрицательны. HgCl_2 — иногда слабо травит, сомнительна. Обычно прорастает теннантинном.

HNO_3 — отр., HCl — отр., KCN — отр., FeCl_2

Изотропные

— KOH
— HgCl_2 Колорадоит (HgTe). — Кубический; цвет серый с отчетливым розовым отливом; твердость С—. HNO_3 — некоторые участки медленно окрашивает в светлокоричневый — радужный цвета; другие участки отрицательны. HCl , KCN — отрицательны. FeCl_2 — окрашивает в радужный цвет. KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Анизотропные

— KOH
— HgCl_2 Килейит ($\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 , HCl и KCN — отрицательны. FeCl_2 — медленно дает неоднородное потускнение. KOH — окрашивает в черный цвет; выявляет царапины. HgCl_2 — отрицательна. Призматический. Образец из Оуруо (Боливия). Имеет тот же состав, что и цинкениит, но отличается цветом и реакциями травления⁴⁷.

— KOH
— HgCl_2 Тунгстенит (WS_2). — Гексагональный; цвет серый; твердость А. Сильная анизотропность; дает четыре потухания при вращении. HNO_3 , HCl и KCN — отрицательны. FeCl_2 — окрашивает неоднородно в светлокоричневый цвет; некоторые участки не затрагиваются. KOH — отрицателен. HgCl_2 — местами окрашивает в радужный цвет; сомнителен. Легко царапается ногтем. Вдоль плоскостей мелких изломов выглядит мазком стального — синего цвета. Очень мелкозернист, порист и крошится; полируется с трудом. Похож на молибденит, но отличается от него мелкозернистостью. Редок; найден только в Коттонвуд (Юта). Анализирован и описан Уэллсом (P. C. Wells) (Wash. Acad. Sci. Jour., vol. 7, стр. 596—599, 1917).

HNO_3 — отр., HCl — отр., KCN — отр., FeCl_2 — отр. Царская водка

Изотропные

— KOH
— HgCl_2 Халькопирит (CuFeS_2). — Тетрагональный; цвет латуни-желтый; твердость С. Большинство образцов слабо, но явственно анизотропны; небольшая часть повидимому изотропна. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы отрицательны. HCl , KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Пары царской водки дают неоднородное потускнение и вы-

являют зернистую структуру; участок, покрытый каплей, обычно медленно окрашивается в коричневый цвет, но некоторые участки не затрагиваются. Легко царапается иглой, что отличает его от пирита. При царпании дает порошок, чем отличается от хорошо режущегося золота.

Германит (Cu_xGeS_y).—Кубический; цвет розовато-серый, очень похож на цвет розового энгрита; твердость С. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Царская водка медленно окрашивает в светлокоричневый цвет. Из Тсумб (Юго-западная Африка). Очень редок.

Сфалерит (ZnS).—Кубический; цвет серый; твердость С+. HNO_3 —пары обычно дают потускнение; после долгого травления минерал окрашивается в светлокоричневый цвет; иногда отрицателен. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Царская водка вскипает и окрашивает в темнокоричневый цвет; пары дают потускнение. Некоторые образцы имеют внутренние рефлексы смолистого цвета. Додекаэдрическая спайность; некоторые образцы содержат треугольные ямки. Порошок от белого до коричневого цвета. Если пропорция железа высока, порошок может быть с металлическим блеском.

Тетраэдрит ($5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$).—Кубический; цвет серый; твердость D. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Пары царской водки дают потускнение. Одни образцы дают порошок красновато-коричневый, другие—черный металлический.

Тиманнит (HgSe).—Кубический; цвет галениново-белый; твердость В. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Царская водка мгновенно вскипает и окрашивается в радужный цвет.

Анизотропные

КОН
— **Андорит** ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$).—Ромбический; цвет серый, похож на цвет тетраэдрита; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 —пары обычно дают потускнение, но иногда отрицательна. HCl —отрицательна; пары иногда дают слабое потускнение. KCN и FeCl_3 —отрицательны. KOH —медленно окрашивает в коричневый цвет. HgCl_2 —отрицательна. Царская водка сильно вскипает и окрашивает в черный цвет. Почти неизменно ассоциируется со станином. Призматический.

Бертьерит ($\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).—Ромбический; цвет серый; твердость D—. HNO_3 —медленно окрашивает в радужный цвет; реакция, чтобы стать заметной, обычно требует более минуты. HCl , KCN и FeCl_3 —отрицательны. KOH —окрашивает в радужный цвет. HgCl_2 —отрицательна. Царская водка вскипает и окрашивает в светлокоричневый цвет. Призматический.

Кермезит ($\text{Sb}_2\text{S}_3\text{O}$).—Моноклинный; цвет голубовато-серый; твердость В. Сильная анизотропность. HNO_3 , HCl , KCN и FeCl_3 —отрицательны. KOH —отлагает желтый налет, и это самая характерная реакция; похожа на реакцию стибнита. HgCl_2 —отрицательна. Царская водка окрашивает неоднородно в радужные цвета. Порошок красновато-коричневый. Рубиновокрасные внутренние рефлексы при сильном поляризованном свете. Волокнистый облик.

Ливингстонит ($\text{HgS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$).—Ромбический; цвет серый; твердость С. HNO_3 —некоторые образцы тускнеют в коричневый цвет, другие отрицательны. FeCl_3 —отрицательно. KOH —мгновенно темнит, оставляя желтый осадок; реакция весьма характерна и похожа на реакцию стибнита. HgCl_2 —отрицательна. Царская водка вскипает и окрашивает в радужный цвет. Призматический. Редок. Порошок красный.

КОН
— **Бурнонит** ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).—Ромбический; цвет серый, почти такой же, как у тетраэдрита; твердость С—. HNO_3 —пары обычно дают потускнение, некоторые образцы отрицательны. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Царская водка быстро вскипает и неоднородно окрашивает в радужные цвета.

Броньардит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).—Цвет галениново-белый; в контакте с галенитом имеет несколько зеленовато-серый тон; твердость С. Слабая анизотропность. HNO_3 —отрицательна; после продолжительного травления медленно неоднородно окрашивает в радужные цвета. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 —отрицательны. Царская водка быстро вскипает и неоднородно окрашивает в радужные цвета.

Халькофанит ($\text{Mn}, \text{Zn})\text{O} \cdot 2\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).—Ромбический; цвет серый; сильно анизотропный; при вращении дает четыре погасания. HNO_3 —

отрицательна. HCl — капля коричневеет; поверхность окрашивается неоднородно в светлокоричневый цвет. Призматический. Встречается в Франклинне (Нью-Джерси) в ассоциации с франклинитом и другими цинковыми минералами.

Халькопирит (CuFeS_2). — Тетрагональный; цвет латунино-желтый; твердость С. Образцы из большинства местностей слабо анизотропны; некоторые из немногих местностей, например из Инсизва (Южная Африка), имеют довольно сильную анизотропность. Халькопирит, ассоциированный с пирротином, обычно обнаруживает в поляризованном свете много двойников. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые разности отрицательны. HCl , KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Пары царской водки дают неоднородное потускнение и выявляют зернистую структуру; площадь, покрытая каплей, обычно медленно окрашивается в коричневый цвет, но некоторые участки почти не затрагиваются. Легко царапается иглой, чем и отличается от пирита; при царапании дает порошок в противоположность золоту, поддающемуся резке.

Кубанит ($\text{CuS} \cdot 2\text{FeS}$). — Ромбический; цвет коричневатый или розовато-кремовый; твердость С. Сильная анизотропность. HNO_3 — некоторые образцы окрашивает в светлокоричневый цвет; другие отрицательны. HCl , KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Неизменно прорастает халькопиритом и обычно ассоциируется с пирротином. Цвет почти одинаковый с пирротином, но несколько желтее. Кубанит минерал слегка магнитный, но менее, чем пирротин. Рядом с халькопиритом кубанит не имеет рельефа; пирротин тверже халькопирита и рельеф его поднимается над последним. Он носит также название чальмерзита.

Киноварь (HgS). — Гексагональная; цвет синевато-серый; твердость В. HNO_3 , HCl , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка окрашивает в неоднородные радужные цвета. Порошок и внутренние рефлексы красные.

Метациннабарит (HgS). — Кубический; цвет серый, в косом свете — черный; твердость В. Обычно содержит многочисленные двойники. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка вскипает и чернеет. Почти неизменно прорастает киноварью. В полированных шлифах метациннабарит имеет более шероховатую поверхность, дает красный порошок и имеет внутренние рефлексы.

Молибденит (MoS_2). — Гексагональный; цвет галениново-белый; твердость В+. Сильная анизотропность. Сечения по пинакoidу изотропны. Призматические сечения шлифа имеют почти параллельное погасание, наблюдается при полном обороте четыре погасания. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка медленно вскипает и темнеет. Некоторые участки отрицательны. Совершенная спайность по пинакoidу; пластинки имеют тенденцию более или менее гнуться.

Нагиагит (Pb, Au, Te, S?) — Ромбический; цвет серый; твердость В. HNO_3 — медленно окрашивает в радужный цвет; фактически отрицательна. HCl , KCN , FeCl_2 , KOH , HgCl_2 — отрицательны. Царская водка окрашивает неоднородно радужно. Облик пластинчатый; пластинки гибкие, как у молебденита. Из Нагиага (Венгрия). Формула сомнительна.

HNO_3 — отр., HCl — отр., KCN — отр., FeCl_2 — отр., Царская водка — отр.

Изотропные

— KOH
— HgCl_2 **Реальгар** (AsS). — Моноклинный; твердость В. Повидимому изотропный; минерал довольно прозрачен, и большая часть падающего на него света поглощается. HNO_3 , HCl , KCN и FeCl_2 — отрицательны. KOH — мгновенно окрашивает в черный цвет. HgCl_2 и царская водка — отрицательны. Красные внутренние рефлексы и порошок.

— KOH
— HgCl_2 **Магнетит** (Fe_3O_4). — Кубический; цвет серый; твердость F. HNO_3 — отрицательна. HCl — пары на гладких поверхностях, размером более капли, дают потускнение; раствор желтеет. KCN , FeCl_2 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царапании черный порошок. Порошок магнитный (см. описание хромита, стр. 104). Магнетит имеет свойство несколько сдавливаться при давлении на него. Игла, проведенная по гладкой поверхности, часто оставляет явственный след. Это не настоя-

шая царापина, так как края царاپины лишены изломов. Провести острие иглы диагонально к поверхности и так получить порошок трудно. Магнетит собственно «твердый» минерал, но отнесен и в «мягкую» группу для того, чтобы предупредить затруднения, вызываемые его аномальным поведением.

Анизотропные

Молибденит (MoS_2). — Гексагональный; цвет галениново-белый; твердость В+. Сильная анизотропность. Сечения по пинакoidу изотропны, призматические сечения дают почти параллельное погасание и четыре погасания на полный оборот. Отрицателен ко всем реактивам. Совершенная спайность по пинакoidу. Пластинки стремятся принять искривленную форму.

Пиrolюзит (MnO_2). — Ромбический; цвет серый, почти белый, похожий на гематит; твердость D или E. Сильно анизотропен. Дает четыре погасания при полном обороте. HNO_3 — отрицательна. HCl — капля коричневеет, но поверхность не окрашивается. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка — то же, что HCl . H_2O_2 — капля сильно вскипает, но поверхность не окрашивается. $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$ — поверхность пятнится в черный цвет. Дает черный порошок. В штуфе — черный, как сажа. Призматический; совершенная спайность по призме; отчетливо аморфная разновидность производит впечатление мата из мелких сплетающихся игл. Некоторые образцы пачкают пальцы.

Твердые минералы

HNO_3 — вскип., HCl — отр., KCN — отр., FeCl_3

Изотропные

Хлоантит-шмальтин ($\text{Ni, Co})\text{As}_2$). — Кубический; цвет серый; твердость F. HNO_3 — сильно вскипает и окрашивает в темносерый цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает неоднородно и выявляет спайности травления. KOH — отрицательна. HgCl_2 — окрашивает в неоднородно радужные цвета. Образец из Шнееберга (Германия). Анализ, сделанный Фейрчайлдом (J. G. Fairchild), дает Ni — 15,2; Co — 4,5; Fe — 3,5; Cu — 0,7; As — 75,4; S — 0,0; нерастворимый остаток 0,0, итого — 99,3. Это приблизительно отвечает формуле $(\text{Ni, Co})_2\text{As}_3$, которая для сравнительных целей может быть выражена так: $(\text{Ni, Co})\text{As}_{2,5}$. См. описание шмальтин-хлоантита). Различные виды изоморфного ряда хлоантита-шмальтина все дают при травлении одни и те же результаты и могут быть различены только при помощи микрохимических методов. Крайние члены очень редки.

Коринит (Ni(As, Sb)S). — Кубический; цвет серовато-белый; твердость F. HNO_3 — вскипает и выявляет спайности травления. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает в коричневый цвет и выявляет спайности травления. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в коричневый — радужный цвет. Образец из Ольза (Каринтия).

Маухерит (Ni_2As_2). — Кубический; цвет розовато-серый, почти такой же, как у кобальтина; твердость D. Некоторые образцы изотропны, другие слабо анизотропны. HNO_3 — мгновенно вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — быстро дает радужное потускнение. KOH — отрицателен. HgCl_2 — медленно окрашивает в коричневый цвет.

Шмальтин-хлоантит ($\text{Co, Ni})\text{As}_2$. — Кубический; цвет серый; твердость F. HNO_3 — сильно вскипает; поверхность окрашивается неоднородно, выявляя концентрическую скорлуповатую структуру. HCl и KCN — отрицательны. FeCl_3 — окрашивает неоднородно в коричневый цвет. KOH — отрицателен. HgCl_2 — окрашивает в коричневые — радужные цвета. Образец из Шнееберга (Германия). Анализ, сделанный J. J. Fahey, дает: нерастворимый остаток 0,32, Ni — 15,07, Co — 15,83, Fe — 3,69, Bi — 0,86, As — 63,42, всего — 99,19. Это приблизительно отвечает формуле $(\text{Co, Ni})\text{As}_{2,5}$. Анализы шмальтина-хлоантита дают разные результаты, колеблющиеся между $(\text{Co, Ni})\text{As}_{1,5}$ и $(\text{Co, Ni})\text{As}_3$. Последний конечный член называется скуттерудитом. Разности, свободные от никеля, редки. Среднее соответствует приблизительно $(\text{Co, Ni})\text{As}_2$.

— *KOH*
— *HgCl₂* Арсеноферрит ($FeAs_2$). — Кубический, цвет светлосерый, почти белый; твердость F. HNO_3 — медленно вскипает; окрашивает в коричневый цвет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в коричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Образец из Иахимов (Иоахимсталь), Чехо-Словакия. Анализ, сделанный W. F. Foshag, дает: Fe — 24,88, Cu — 1,34, Pb — 0,05, $CaCO_3$ — 4,00, $MgCO_3$ — 1,57, As — 66,84, S — 1,08, всего — 99,76. Очень редок. Минерал этот является железосодержащим конечным членом шмальтинового ряда (Co, Ni, Fe) As_2 .

Герсдорфит ($NiAsS$). — Кубический; цвет кремовый; твердость F—. HNO_3 — сильно вскипает и чернеет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в серый — коричневый цвета. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны.

Скуттерудит (Co, Ni) As_2S_3 . — Кубический; цвет кремневый; твердость F. HNO_3 — вскипает и принимает радужный — черный цвета. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в коричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Встречается в виде пентагональных додекаэдров с концентрическими поясами. Образец из типичной местности дал при микрохимических испытаниях хорошие результаты на никель и кобальт.

Анизотропные

— *KOH*
— *HgCl₂* Маухерит ($Ni_2As_2S_3$). — Цвет розовато-серый, почти одинаковый с кобальтином; твердость D. Некоторые образцы изотропны; другие очень слабо анизотропны. HNO_3 — мгновенно вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — дает быстро радужное потускнение. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — медленно окрашивает в коричневый цвет. Некоторые образцы после травления выявляют радиальную структуру.

Никелин ($NiAs$). — Гексагональный; цвет медно-розовый; твердость E. Сильно анизотропен. HNO_3 — дает неоднородное потускнение со вскипанием. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — медленно неоднородно окрашивает в коричневый — радужный цвета. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. При контакте с брейтгауптитом кажется светложелтым.

Плессит (Ni, Fe) AsS . — Кубический; цвет белый; твердость F. Слабая аномальная анизотропность. HNO_3 — вскипает и окрашивает в черный цвет. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — вскипает и окрашивает неоднородно в коричневый — радужный цвета. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — медленно окрашивает в светлокоричневый цвет; некоторые участки не затрагиваются. Железосодержащий герсдорфит. Отличается от герсдорфита анизотропностью и реакцией с $HgCl_2$.

Раммельсбергит ($NiAs_2$). — Ромбический; цвет белый; твердость E. HNO_3 — вскипает, окрашивает в темный цвет и выявляет пластинчатую структуру. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — окрашивает в коричневый цвет. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — медленно окрашивает в коричневый цвет.

HNO_3 — вскип, HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$ — отр.

Изотропные

— *KOH*
— *HgCl₂* Герсдорфит ($NiAsS$). — Кубический; цвет серый, почти белый; твердость F—. HNO_3 — вскипает и окрашивает в радужный цвет; в некоторых образцах выявляет параллельную структуру; обычно окрашивает в серый — коричневый цвета; некоторые образцы отрицательны. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны.

Пирит (FeS_2) — Кубический; цвет бледный латунно-желтый; твердость F. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают; при мелкости зерен или плохой полировке поверхности реакция может быть совершенно отрицательной. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Пары царской водки дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают. Не царапается иглой — лучший признак, по которому его можно отличить от халькопирита.

Анизотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Арсенопирит ($FeAsS$). — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость F+. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает и неоднородно окрашивает в радужный цвет; вскипание наблюдается не всегда. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Нередко наблюдаются поперечные сечения алмазной формы. От лёллингита отличается своим более белым цветом.

Лёллингит (никелесодержащий) (Fe,Ni) As_2 . — Ромбический; цвет галенитово-белый; твердость E+. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно вскипает; отлагает бесцветные октаэдры; минерал радужно тускнеет. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Травление одинаково с лёллингитом. Микрхимические испытания указывают на богатое содержание никеля и железа.

Марказит (FeS_2). — Ромбический; цвет бледный латунино-желтый; твердость E+. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в коричневый — радужный цвета с медленным вскипанием; вскипание иногда не наблюдается. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Призматический. Марказит цветом слегка бледнее, чем пирит. Единственным верным способом для различения марказита от пирита является поляризованный свет.

Пирит (FeS_2). — Кубический; цвет бледный латунино-желтый; твердость F. Более 99% образцов пирита изотропны; очень редко однако полированные шлифы содержат пентагональные додекаэдры, имеющие скорее цвет пирита, чем марказита, так как каждый пентагональный додекаэдр является мозаикой зерен слабого анизотропизма и разной ориентировки. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы слегка окрашиваются; капля медленно вскипает. Другие реактивы отрицательны. Изучавшийся образец из Черро-де Паско (Перу). Цвет и квадратные, а не призматические поперечные сечения служат достаточными критериями для того, чтобы определить минерал как пирит.

HNO_3 , HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Псиломелан (Mn_2MnO_5). — Аморфный; цвет серый; твердость D+. HNO_3 — окрашивает в светло-коричневый цвет; пары дают потускнение. HCl — окрашивает в коричневый — черный цвета; действие интенсивнее, чем у HNO_3 , KCN — отрицательна. $FeCl_3$ — окрашивает в светлокоричневый цвет. KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. H_2O_2 — сильно вскипает без травления. Массивные, гроздеобразные или почковидные структуры. Полированные поверхности обычно имеют концентрическую полосчатость.

HNO_3 , HCl , KCN — отр., $FeCl_3$ — отр.

Анизотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Гаусманнит (Mn_3O_4). — Гексагональный; цвет белый с голубым оттенком; твердость D—. Сильно анизотропный, большинство образцов имеет многочисленные двойники, похожие на двойники плагиоклаза. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы отрицательны. HCl — окрашивает неоднородно в бурый цвет, некоторые площади отрицательны. KCN , $FeCl_3$, KOH , $HgCl_2$ — отрицательны. H_2O_2 медленно вскипает, не окрашивая поверхности. Хорошая спайность по пинакoidу. Порошок и внутренние рефлексы кирпично-красного — темнокрасного цветов. Хорошо полируется. Острой иглой царапается.

HNO_3 , HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Скуттерудит (железосодержащий) (Co, Ni, Fe) As_3 . — Кубический; цвет серый; твердость D+. HNO_3 — медленно дает радужное потускнение; иногда слегка вскипает. HCl и KCN — отрицательны. $FeCl_3$ — слегка окрашивает и выявляет трещины. KOH — отрицателен. $HgCl_2$ — оставляет коричневый легко стирающийся налет. Образец из рудника Горас Пор-

тер в Ганчисон Каунти (Колорадо). Анализ, сделанный J. G. Fairchild, показал: Co — 10,98, Ni — 5,14, Fe — 5,82, As — 75,39. Нерастворенный остаток — 1,44, всего — 98,68.

КОН
HgCl₂ Каллилит (Ni(Sb, Bi)S). — Кубический; цвет серый; твердость D. HNO₃ — дает радужное потускнение. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — слабо окрашивает, почти отрицательно. КОН и HgCl₂ — отрицательны. Из Шёнштейна (Германия). Очень редок. По Томсону⁴⁸ каллилит есть смесь. Образец автора гомогенный и содержит все три металлических элемента.

Ульманит (NiSbS). — Кубический; цвет галениново-белый; твердость E. HNO₃ — окрашивает в коричневый — радужный цвета. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — окрашивает в светлорозичный цвет. КОН и HgCl₂ — отрицательны. Значительно мягче герсдорфита. Имеет хорошо выраженную спайность и содержит треугольные ямки.

Вильямит (Co, Ni)SbS). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO₃ — дает радужное потускнение; повидимому легко вскипает. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — слабо окрашивает, почти отрицательно. КОН и HgCl₂ — отрицательны. Из Брокен-Хилл (Австралия). Редок.

HNO₃, HCl — отр., KCN — отр., FeCl₃

Анизотропные

КОН
HgCl₂ Брейтгауптит (NiSb). — Гексагональный; цвет медно-розовый; твердость E. Сильная анизотропность. HNO₃ — окрашивает неоднородно радужно. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — окрашивает неоднородно радужно. КОН и HgCl₂ — отрицательны.

HNO₃, HCl — отр., KCN — отр., FeCl — отр.

Изотропные

КОН
HgCl₂ Бравойт (Fe, Ni)S₂. — Кубический; цвет бледно-фиолетовый; твердость E. HNO₃ — пары дают потускнение; минерал радужно окрашивается и выявляет зональную структуру. HCl, KCN, FeCl₃, КОН и HgCl₂ — отрицательны. Образец из Мехерних (Германия). Встречается в виде зональных, пентагональных додекаэдров, попеременно то с желтым, то с фиолетовыми зонами. Желтые пластинки — пирит со следами никеля, а фиолетовые состоят из бравоита. Анализы вероятно указывают на слишком большое количество железа в бравоите в зависимости от механической примеси пирита⁴⁹.

Кобальтит (CoAsS). — Кубический; цвет розовато-серый; твердость G. Некоторые образцы изотропны, другие — слабо анизотропны. HNO₃ — некоторые образцы после долгого травления окрашивает неоднородно радужно, пары ее дают потускнение; другие образцы отрицательны. HCl, KCN, FeCl₃, КОН и HgCl₂ — отрицательны. Обычно кристаллизуется в кубах и пентагональных додекаэдрах.

Коринит (Ni(As, Sb)S). — Кубический; цвет серый; твердость E+. HNO₃ — окрашивает радужно и ее пары дают потускнение. HCl, KCN, FeCl₃, КОН и HgCl₂ — отрицательны. Образец из Бетем (Коннектикут). Анализ J. G. Fairchild: Ni — 31,6, Co — 0,7, Fe — 3,9, As — 34,9, Sb — 9,1, Bi — 0,4, S — 17,1, всего — 97,2.

Пирит (FeS₂). — Кубический; цвет бледный, латуно-желтый; твердость F. HNO₃ — пары дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают; при мелких зернах или плохой полировке поверхностей реакция может быть совершенно отрицательной. HCl, KCN, FeCl₃, КОН и HgCl₂ — отрицательны. Пары царской водки дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают. Иглою не царапается, что является лучшим средством для отличия его от халькопирита.

Вильямит (Co, Ni)SbS). — Кубический; цвет серый; твердость E. HNO₃ — дает радужное потускнение; повидимому слабо вскипает. HCl и KCN — отрицательны. FeCl₃ — повидимому слабо окрашивает; эта реакция легко остается незамеченной. КОН и HgCl₂ — отрицательны.

Анизотропные

— **KOH**
— **HgCl₂** Арсенопирит (FeAsS). — Ромбический; цвет галениново-белый; твердость E+. Сильная анизотропность; HNO_3 — окрашивает неоднородно радужно. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Нередко наблюдаются поперечные сечения. От лёллингита отличается большей белизной.

Кобальтин (CoAsS). — Кубический; цвет розовато-серый; твердость G. Некоторые образцы изотропны; другие слабо анизотропны. HNO_3 — пары дают потускнение; после долгого выщелачивания окрашивает неоднородно. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH , HgCl_2 — отрицательны. Обычно кристаллизуется кубами и пентагональными додекаэдрами.

Глаукоdot (Co, FeAsS). — Ромбический; цвет белый; твердость F. Сильная анизотропность. HNO_3 — дает радужное потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Лейкопирит (Fe_3As_4). — Ромбический; цвет белый; твердость F. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в коричневый цвет; раствор отлагает тетраэдрические и октаэдрические кристаллы. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. От арсенопирита и лёллингита отличим с трудом.

Лёллингит (FeAs_2). — Ромбический; цвет серовато-белый; твердость F—. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в коричневый — радужный цвета; пары дают потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Марказит (FeS_2). — Ромбический; цвет бледный; латуно-желтый; твердость E+. Сильная анизотропность. HNO_3 — окрашивает в коричневый — радужный цвета; при более крупных зернах иногда медленно вскипает; при мелких зернах вскипание обычно не наблюдается. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Призматический. Цвет бледнее, чем пирита. Единственный верный способ различить марказит и пирит — применение поляризованного света.

Пирит (FeS_2). — Кубический; цвет бледный латуно-желтый; твердость F. Более 99% образцов пирита изотропны; очень изредка однако в полированных шлифах встречаются пентагональные додекаэдры цвета скорее пирита, чем марказита, причем каждый пентагональный додекаэдр является мозаикой слабоанизотропных зерен. HNO_3 — пары дают потускнение. Другие реактивы — отрицательны. Изучавшийся образец из Церро-де-Паско (Перу). Цвет и квадратные, а не призматические поперечные сечения кристаллов служат достаточными критериями для определения минерала как пирита.

HNO_3 — отр., HCl , KCN — отр., FeCl_3 — отр.

Изотропные

— **KOH**
— **HgCl₂** Франклинит ($\text{Fe, Zn, MnO. (FeMn)_2O_3}$). — Кубический; цвет серый, сходный с цветом магнетита; твердость G. HNO_3 — отрицательна. HCl — обычно отрицательна, но пары ее дают иногда потускнение; раствор желтеет. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царпании получается темнокоричневый порошок. Порошок отчасти имеет магнитные свойства (см. описание хромита, стр. 9).

Магнетит (Fe_3O_4). — Кубический; цвет серый; твердость F. HNO_3 — отрицательна. HCl — на гладких поверхностях капля расплывается, а ее пары дают потускнение; раствор ее желтеет. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царпании черный порошок. Порошок магнитный (см. описание хромита).

Анизотропные

— **KOH**
— **HgCl₂** Гаусманит (Mn_2O_4). — Гексагональный; цвет белый с голубоватым оттенком; твердость D. — Сильно анизотропный; большинство образцов имеет многочисленные двойники, похожие на платиоклаз. HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы отрицательны. HCl — окрашивает неоднородно в светлокоричневый цвет; некоторые участки отрицательны. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. H_2O_2 — медленно вскипает, не окрашивая поверхности. Хорошая спайность по пинакoidу. Порошок и внутренние рефлексы кирпично-красного — темнокрасного цветов. Хорошо полируется. Острой иглой царапается.

Изотропный

— KOH
— $HgCl_2$ Уранинит (уронат U , Pb и др.). — Кубический; цвет темно-серый; твердость G . HNO_3 , HCl и KCN — отрицательны; $FeCl_3$ — дает медленное потускнение в еще более темный коричнево-серый цвет. KOH , $HgCl_2$ и царская водка — отрицательны. Сплошной. Порошок зеленовато-коричневый — черный.

HCl_3 — отр., HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$ — отр., царская водка

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Пирит (FeS_2). — Кубический; цвет бледный, латунно-желтый; твердость F . HNO_3 — пары дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают; при мелких зернах или плохой полировке поверхности реакция может быть совершенно отрицательной. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Пары царской водки дают потускнение; некоторые образцы медленно вскипают. Иглой не царапается, что является лучшим признаком для отличия от халькопирита.

Сперилит ($PtAs_2$). — Кубический; цвет белый; твердость F . HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Царская водка слегка вскипает и местами окрашивает в светлокоричневый цвет. Встречается в виде небольших изометрических кристаллов. Единственная местность — Сodbери (Онтарио).

HNO_3 — отр., HCl — отр., KCN — отр., $FeCl_3$ — отр., царская водка — отр.

Изотропные

— KOH
— $HgCl_2$ Браунит ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$). — Тетрагональный; цвет серый; твердость G . Очевидно изотропный. HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ и царская водка — отрицательны. H_2O_2 — медленно вскипает, не окрашивая поверхности. При царапании дает темнокоричневый порошок. Часто ассоциируется с гаусманитом.

Хромит ($FeO \cdot Cr_2O_3$). — Кубический; цвет серый; твердость $G+$. Отрицателен ко всем реактивам, включая H_2O_2 . Хромит дает довольно светлокоричневый порошок, франклинит — темнокоричневый, а магнетит — черный порошок. Магнетит является гораздо более магнитным, чем хромит. Частицы магнетита становятся торчком, когда к ним подносят магнитную иглу. Хромит и франклинит, когда намагниченная игла приходит в контакт с ними, прилипают к ней.

Кобальтин ($CoAsS$). — Кубический; цвет розовато-серый; твердость G . Некоторые образцы изотропны; другие отличаются слабой анизотропностью. HNO_3 — некоторые образцы в парах тускнеют, их минерал, после долгого выщелачивания, окрашивается неоднородно радужно; другие образцы отрицательны. HCl , KCN , $FeCl_3$, KOH , $HgCl_2$ и царская водка — отрицательны. Кристаллизуется обычно кубами и пентагональными додекаэдрами.

Франклинит ($(Fe, Zn, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$). — Кубический; цвет серый, очень сходный с магнетитом; твердость G . HNO_3 — отрицательна. HCl — обычно отрицательна, но пары ее иногда травят; раствор желтеет. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царапании — темнокоричневый порошок. Порошок отчасти магнитный (см. описание хромита).

Гематит (Fe_2O_3). — Гексагональный; цвет серый; твердость G . Отрицателен ко всем реактивам. Мелкозернистые и землястые виды гематита дают при царапании иглоу красный порошок. Некоторые образцы спекулярита дают однако металлический порошок.

Магнетит (Fe_3O_4). — Кубический; цвет серый; твердость F . HNO_3 — отрицательна. HCl — обычно отрицательна; на гладких поверхностях капля расплывается, пары дают потускнение. KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — отрицательны. Раствор царской водки желтеет. При царапании дает черный порошок. Порошок магнитный (см. описание хромита стр. 97).

Касситерит (SnO_2). — Тетрагональный; цвет серый; твердость G. Отрицателен ко всем реактивам. Иглой не царапается. Внутренние рефлексы имеют смолистый цвет; не всегда заметно. Цвет в штуфе от белого до желтого.

Кобальтин (CoAsS). — Кубический; цвет розовато-серый; твердость G. Обычно имеет слабую аномальную анизотропность. Некоторые образцы отрицательны ко всем реактивам.

Ферберит (FeWO_4). — Моноклинный; цвет серый в роде сфалерита; твердость E. Сильная анизотропность. Отрицателен ко всем реактивам. Порошок темный, почти металлический.

Гётит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). — Ромбический; цвет серый; твердость E. Умеренно сильная анизотропность. HNO_3 — отрицательна. HCl — сомнительна; после долгого пребывания пары дают легкое потускнение. KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны. Царская водка действует как HCl . Порошок желтого — оранжевого цветов.

Гематит (железный блеск) (Fe_2O_3). — Гексагональный; цвет галениново-белый; твердость G. Отрицателен ко всем реакциям. Пластинчатый облик.

Гюбнерит (MnWO_4). — Моноклинный; цвет серый, подобный цвету сфалерита; твердость E. Сильная анизотропность. Легко царапается иглой. Отрицателен ко всем реактивам. Дает желтый порошок и темнокрасные внутренние рефлексы.

Ильменит (FeTiO_3). — Гексагональный; цвет коричневатого-серый; некоторые образцы несколько фиолетового оттенка. Твердость G. Отрицателен ко всем реактивам. Обычно прорастает гематитом, спекуляритом и магнетитом.

Полианит (MnO_2). — Тетрагональный. Цвет серый; твердость G. Сильная анизотропность; дает четыре погасания. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , KOH , HgCl_2 и царская водка — отрицательны. H_2O_2 — сильно вскипает, не окрашивая поверхность. Призматический. Очень редок. Встречается только в Плянтене (Чехо-Словакия). Близко похож на пиролюзит, но отличается от него твердостью.

Рутил (TiO_2). — Тетрагональный; цвет серый, похож на цвет сфалерита; твердость G. Умеренно сильная анизотропность. Отрицателен ко всем реактивам. Внутренние рефлексы и порошок оранжевого — красного цветов. Почти неизменно призматический.

Вольфрамит ($\text{Fe,Mn}(\text{WO}_4)$). — Моноклинный; цвет серый, подобно цвету сфалерита; твердость E. Отрицателен ко всем реактивам. Имеет спайность в двух направлениях, дает темнокоричневый порошок. Отличим от гюбнерита и ферберита только при помощи химических испытаний.

Биннентальские минералы

Нижеследующие данные, собранные только из одного Бинненталя, Швейцария, заимствованы из книги Дэви и Фарнхэма. Автор не мог получить в свои руки образцов этих минералов. Относительно эффекта поляризованного света заключаем на основании кристаллических систем, приведенных в книге Dana «System of mineralogy».

Дюфренуазит ($2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость C. Анизотропный. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 — отрицательны. KOH — дает радужное потускнение и потемнение. Дает красновато-коричневый порошок.

Баумгауерит ($4\text{PbS} \cdot 3\text{As}_2\text{S}_3$). — Моноклинный; цвет серовато-белый; твердость C. Анизотропный. HNO_3 — отрицательна; вдоль трещин иногда дает потускнение; стирается начисто. HCl — отрицательна. KCN — отрицателен; вдоль трещин иногда дает потускнение. FeCl_3 — отрицательно. KOH — дает радужное потускнение. HgCl_2 — дает медленно коричневое потускнение. Хрупок. Внутренние рефлексы красные. Дает коричневый порошок.

Ленгелбахит ($6\text{PbS} \cdot (\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Триклинный; цвет серый; твердость B. Анизотропный. HNO_3 — вообще отрицательна, но иногда дает слабое потускнение. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Селигманнит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Ромбический; цвет серый; твердость C. Анизотропный. HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — отрицательны. KOH — медленно дает радужное потускнение.

Чилениит (Ag_6Bi). — Образец из Копиапо (Чили); типовой местности; представляет прорастание самородного серебра и куприта (Cu_2O).

Чивиаит ($3\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Образцы из Чивиаито (Перу); типовой местности; оказались смесью висмутина и разных медных минералов.

Комукцит. — Автор описания формулы не дает, но анализ следующий: $\text{Pb} - 37,86$, $\text{Fe} - 3,99$, $\text{Sb} - 36,01$, $\text{S} - 21,54$. Итого — 99,40. Образец из Сан Джорджио (Сардиния) типовой местности; по физическим свойствам и травлению одинаков с джемсонитом. ($4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$).

Купровисмутит ($3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Образец из Холлс Вэлли (Колорадо); типовой местности; тождественен с эмлектитом ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$).

Догнаскарит (Cu , Bi и S). — Образцы из Догнаска (Венгрия); типовой местности; оказались смесью висмутина, халькозина и других медных сульфидов.

Эпидуланжерит ($3\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — По физическим свойствам и потравочным испытаниям одинаков с буланжеритом. Формула Sb_2S_3 кажется нелогичной и примененный метод анализа представляется сомнительным.

Гуэхарит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Одинаков с халькостибитом $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$. См. Дана «System of mineralogy».

Гаухекорнит ($(\text{Ni}, \text{Co})_2(\text{S}, \text{Sb}, \text{Bi})_3$). — Образец из Гами на Зиге (Пруссия); типовой местности; представляет собой смесь двух неизвестных минералов со следующими свойствами:

1. Содержит никель, висмут и серу. Дал отрицательные результаты при испытании на кобальт и сурьму. Цвет розовый; твердость около Е (Тэлмейдж). Умеренная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый — радужный цвета. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

2. Содержит никель, мышьяк, сурьму и серу. При испытании на кобальт и висмут дал отрицательные результаты. Цвет серый с желтоватым оттенком; твердость около Е. Сильная анизотропность. HNO_3 — медленно окрашивает в коричневый цвет с легким вскипанием. HCl , KCN , FeCl_3 , KOH и HgCl_2 — отрицательны.

Генглейнит ($\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})\text{S}_2$). — Образец из Мюзен (Вестфалия); типовой местности; представляет собою смесь зигенита ($(\text{Ni}, \text{Co})_2\text{S}_4$) и пирита.

Кальгурлит ($\text{HgAu}_2\text{Ag}_6\text{Te}_6$). — Образец из Кальгурли (Западная Австралия); типовой местности; оказался колорадоитом (HgTe).

Лербакит (PbSe, NgSe) и зоргит — не существуют ⁵¹.

Лимонит. (Смесь окислов железа). — Крупнозернистые разновидности; анизотропны; сталактитовый лимонит большей частью аморфный и изотропный. Лимонит представляет собой смесь окислов железа, обычно гематита и гетита; некоторые виды содержат также ярозит. Он всегда супергенного происхождения, и его наиболее характерное нахождение — окисленные выходы. Дает порошок желтого — оранжевого цветов.

Онофрит ($\text{Hg}(\text{S}, \text{Se})$) — Образец из Мэривел (Юта); представляет собою смесь тиманнита (HgSe) и сфалерита (ZnS).

Полиаргирит ($12\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Образец из Вольфах (Баден); типовой местности; представляет собою смесь аргентита (Ag_2S) и тетраэдрита ($5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$).

Регнолит ($5(\text{CuS}, \text{FeS}, \text{ZnS}) \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Образец из Кахамарка (Перу); типовой местности; представляет собою теннантит ($5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$).

Тапальпит ($3\text{Ag}_2(\text{S}, \text{Te}) \cdot \text{Bi}_2(\text{S}, \text{Te})_3$). — Образец из Тапальпа (Мексика), типовой местности, представляет собою прорастание тетрадимита ($\text{Bi}_2(\text{Te}, \text{S})_3$) и аргентита (Ag_2S).

Тургит ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). — Представляет собою волокнистый вид гематита (Fe_2O_3) ⁵².

**УКАЗАТЕ Ь МИНЕРАЛОВ,
классифицированных по элементам**

(Алфавитный порядок)

Стр.

Ванадий (V)

Купродеклаузит $Pb_2(Zn,Cu)_2V_2O_9 \cdot H_2O$	84
Сульфанит Cu_3VS_4	95

Висмут (Bi)

Айкинит $3(Pb,Cu)_2S \cdot Bi_2S_3$	79, 80, 89, 91
Аляскаит $Ag_3S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$	83, 89
Арамайонит $Ag_2S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$	91
Бениаминит $(Cu, Ag)_3S \cdot 2PbS \cdot 2Bi_2S_3$	80
Висмут (самородный) Bi	75
Висмутин Bi_2S_3	76, 80
Висмутоплагинит $5PbS \cdot 4Bi_2S_3$	77, 84
Виттихенит $3Cu_2S \cdot Bi_2S_3$	89
Галеновисмутит $PbS \cdot Bi_2S_3$	79
Гуанахуатит $Bi_2(Se,S)_3$	80, 92
Каллилит $Ni(Sb,Bi)S$	88, 90, 102
Клапротолит $3Cu_2S \cdot 2Bi_2S_3$	78, 88
Козалит $2PbS \cdot Bi_2S_3$	76, 83
Матильдит $(Ag_2,Pb)S \cdot Bi_2S_3$	76
Решбаинит $2PbS \cdot 3Bi_2S_3$	80
Тетрадитим $Bi_2(Te,S)_2$	75, 78
Шапбахит $Ag_2S \cdot PbS \cdot Bi_2S_3$	83
Эмплектит $Cu_2S \cdot Bi_2S_3$	80, 92

Вольфрам (W)

Вольфрамит $(Fe,Mn)WO_4$	105
Гюбнерит $MnWO_4$	105
Тунгстенит WS_2	105
Ферберит $FeWO_4$	96

Германий (Ge)

Аргиродит $4Ag_2S \cdot GeS_2$	86, 87, 96
Германит Cu_xGeS_y	97

Железо (Fe)

Арсенопирит $FeAsS$	101, 103
Арсеноферрит $FeAs_2$	100
Бергьерит $FeS \cdot Sb_2S_3$	91, 97
Борнит Cu_5FeS_4	77, 78
Бравойт $(Fe, Ni)S_2$	102
Виоларит $(Ni, Fe)_3S_4$	79
Вольфрамит $(Fe, Mn)WO_4$	105
Гематит Fe_2O_3	104, 105
Гётит $Fe_2O_3 \cdot H_2O$	105
Глаукодот $(Co, Fe)AsS$	103
Делафоссит $CuFeO_2$	94
Джемсонит $4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$	76, 79

Ильменит FeTiO_3	105
Кубанит $\text{CuS} \cdot 2\text{FeS}$	92, 98
Лейкопирит Fe_3As_4	103
Лёвлинит FeAs_2	101, 103
Магнетит Fe_3O_4	94, 98, 103, 104
Марказит FeS_2	101, 103
Пентландит $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}$	90
Пирит FeS_2	100, 101, 102, 103, 104
Пирротин $\text{FeS}_1 +$	91
Плессит $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{AsS}$	100
Станнин $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2$	90, 93
Теннантит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	86, 90
Тетраэдрит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	86, 90, 97
Троилит FeS	76
Ферберит FeWO_4	105
Франклинит $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$	103, 104
Фрейбергит $5(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	88, 90
Халькопирит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$	90, 92, 96, 98
Чальмерзит (см. Кубанит)	92, 98
Штернбергит $\text{Ag}^+\text{Fe}_2\text{S}_3$	84

Золото (Au)

Золото (самородное) Au	95
Калаверит $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$	79, 80
Креннерит $(\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}_2$	80, 99
Нагнагит $\text{Pb}, \text{Au}, \text{Te}, \text{S}$	93, 98
Петцит $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Te}$	82, 88
Сильванит $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$	79, 81, 89, 93
Электрум Ag, Au	78

Кобальт (Co)

Вильямит $(\text{Co}, \text{Ni})\text{SbS}$	89, 90, 102
Глаукодит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$	103
Зигенит $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$	99
Карролит $(\text{Co}, \text{Cu})_3\text{S}_4$	99
Кобальтин CoAsS	102, 103, 104, 105
Линнеит Co_3S_4	89
Скуттерудит $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_3$	100, 101
Шмальцян-хлоантит $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_2$	99

Марганец (Mn)

Алабандит MnS	76
Браунит $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_2$	104
Вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	105
Гауерит MnS_2	83, 94
Гаусманнит Mn_3O_4	85, 94, 101, 103
Гюбнерит MnWO_4	105
Манганит Mn_2O_3	94
Пирролизит MnO_2	99
Полианит MnO_2	105
Псиломелан Mn_2MnO_5	101
Франклинит $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$	103, 104
Халькофанит $(\text{Mn}, \text{Zn})\text{O} \cdot 2\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	97

Медь (Cu)

Айкинит $3(\text{Pb}, \text{Cu}_2)\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	79, 80, 89, 91
Альгодонит Cu_3As	73

Беняминит $(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	80
Бертонит $2(\text{Pb}, \text{Cu}_2)\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	92
Борнит Cu_5FeS_4	77, 78
Бурнонит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	92, 97
Вейссит Cu_5Te_3	84
Виттихенит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	89
Германит Cu_xGeS_y	98
Делафоссит CuFeO_2	94
Домейкит Cu_3As	73, 85
Кароллит $(\text{Co}, \text{Cu})_3\text{S}_4$	89
Клапротолит $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	78, 88
Клокманнит CuSe	89
Ковеллин CuS	96
Кубанит $\text{CuS} \cdot 2\text{FeS}$	92, 98
Куприт Cu_2O	75
Купродеклуазит $\text{Pb}_2(\text{Zn}, \text{Cu})_2\text{V}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	84
Ленгенбахит $6\text{PbS} \cdot (\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	105
Лузонит (вид энаргита) $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	87, 96
Медь (самородная) Cu	74, 78
Мелаконит (вид тенорита) CuO	84
Риккардит Cu_4Te_3	74
Селигманнит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	105
Станнин $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2$	90, 93
Стромейерит $(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S}$	82
Сулльванит Cu_3VS_4	96
Теннантит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	88, 91
Тенорит CuO	84
Тетраэдрит $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	86, 91, 97
Умангит Cu_3Se_2	82
Уайтгейт Cu_9As	73
Фаматинит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	88
Фрейбергит $5(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	88, 91
Халькозин Cu_2S	74, 77, 78
Халькопирит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$	90, 92, 96, 98
Халькостибит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	87, 92
Чальмерзит (см. Кубанит).	92, 98
Эвкайрит $\text{Cu}_2\text{Se} \cdot \text{Ag}_2\text{Se}$	86
Эмплектит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	80, 92
Энаргит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	87, 96

Молибден (Mo)

Молибденит MoS_2	98, 99
---------------------------	--------

Мышьяк (As)

Альгодонит Cu_6As	73
Арсенагрентит Ag_2As	74
Арсенопирит FeAsS	101, 103
Арсеноферрит FeAs_2	100
Аурипигмент As_2S_3	95
Баумгауерит $4\text{PbS} \cdot 3\text{As}_2\text{S}_3$	105
Врбаит $\text{Te}_2\text{S} \cdot 3(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_3$	91
Герсдорфит NiAsS	100
Гитерманит $3\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	92
Глаукодот $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$	103
Гунтилит Ag_3As	74
Домейкит Cu_3As	73, 85
Люфренуазит $2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	105
Иорданит $4\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	93
Кобальтин CoAsS	102, 103, 104, 105

	Стр
Кориннит $Ni(As, Sb)S$	99, 102
Лейкопирит Fe_3As_4	103
Лёллингит $FeAs_2$	101, 103
Ленгенбахит $6PbS \cdot (Ag, Cu)_2S \cdot 2As_2S_3$	105
Лорандит $Tl_2S \cdot As_2S_3$	93
Лузонит $3Cu_2S \cdot As_2S_3$ (вид энаргита)	87, 96
Маухерит Ni_3As_2	99, 100
Мышьяк (самородный) As	78
Никелин $NiAs$	100
Пearцит $8Ag_2S \cdot As_2S_3$	85
Плессит $(Ni, Fe)AsS$	100
Прустит $3Ag_2S \cdot As_2S_3$	85, 87
Раммельсбергит $NiAs_2$	100
Рагит $3PbS \cdot 2As_2S_3$	80, 91
Реальгар AsS	98
Селигманнит $Cu_2S \cdot 2PbS \cdot As_2S_3$	105
Скуттерудит $(Co, Ni)As_2$	100, 101
Сперрилит $PtAs_2$	104
Теннантит $5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2As_2S_3$	86, 90
Уайтнеит Cu_9As	73
Хлоантит-шмальтин $(Ni, Co)As_2$	99
Шмальтит-хлоантит $(Co, Ni)As_2$	99
Энаргит $3Cu_2S \cdot As_2S_3$	88, 96

Никель (Ni)

Бравойт $(FeNi)S_2$	102
Брейтгауптит $NiSb$	102
Вильямит $(Co, Ni)SbS$	89, 90, 102
Виоларит $(Ni, Fe)_3S_4$	79
Герсдорфит $NiAsS$	100
Зигенит $(Co, Ni)_3S_4$	99
Каллилит $Ni(Sb, Bi)S$	88, 90, 102
Кориннит $Ni(As, Sb)S$	99, 102
Маухерит Ni_3As_2	99, 100
Мелонит Ni_2Te_3	79
Миллерит NiS	91
Никелин $NiAs$	100
Пентландит $(Ni, Fe)S$	90
Плессит $(Ni, Fe)AsS$	100
Полидимит Ni_3S_4	79
Раммельсбергит $NiAs_2$	100
Скуттерудит $(Co, Ni)As_2$	100, 101
Ульманит $NiSbS$	88, 90, 102
Хлоантит-шмальтин $(Ni, Co)As_2$	99

Олово (Sn)

Канфильдит $4Ag_2S \cdot SnS_2$ (содержит германий)	86
Касситерит SnO_2	105
Станнин $Cu_2S \cdot FeS \cdot SnS_2$	90, 93
Теаллит $SnS \cdot PbS$	84, 94
Франкеит $5PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 2SnS_2$	84, 91
Цилиндрит $6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 6SnS_2$	83, 84, 91

Платина (Pt)

Сперрилит $PtAs_2$	104
--------------------	-----

Киноварь HgS	98
Колорадоит HgTe	88, 96
Ливингстонит HgS · 2Sb ₂ S ₃	87, 95, 97
Метациннабарит HgS	98
Тиманнит HgSe	95, 97

Свинец (Pb)

Айкинит 3(Pb, Cu) ₂ S · Bi ₂ S ₃	79, 80, 89, 91
Алтаит PbTe	75
Аляскаит Ag ₂ S · PbS · 2Bi ₂ S ₃	83, 89
Андорит Ag ₂ S · 2PbS · 3Sb ₂ S ₃	83, 97
Баумгауерит 4PbS · 3As ₂ S ₃	105
Бениаминит (Cu, Ag) ₂ S · 2PbS · 2Bi ₂ S ₃	80
Бертонит 2(Pb, Cu) ₂ S · Sb ₂ S ₃	92
Броньядит Ag ₂ S · PbS · Sb ₂ S ₃	92, 97
Буланжерит 5PbS · 2Sb ₂ S ₃	77, 81
Бурнонит Cu ₂ S · 2PbS · Sb ₂ S ₃	92, 97
Висмутоплагинит 5PbS · 4Bi ₂ S ₃	77, 84
Галенит PbS	75, 82
Галеновисмутит PbS · Bi ₂ S ₃	79
Геокронит 5PbS · Sb ₂ S ₃	80, 92
Гитерманит 3PbS · As ₂ S ₃	92
Джемсонит 4PbS · FeS · 3Sb ₂ S ₃	76, 79
Дюфренуазит 2PbS · As ₂ S ₃	105
Иорданит 4PbS · As ₂ S ₃	93
Килейит PbS · Sb ₂ S ₃	96
Клаусталит PbSe	82
Козалит 2PbS · Bi ₂ S ₃	76, 83
Купродеклуазит Pb ₂ (Zn, Cu) ₂ V ₂ O ₉ · H ₂ O	84
Ленгенбахит 6PbS · (Ag, Cu) ₂ S · 2As ₂ S ₃	105
Матильдит (Ag ₂ Pb)S · Bi ₂ S ₃	76
Менегинит 4PbS · Sb ₂ S ₃	78, 80
Нагвагит Pb, Au, Te, S	93, 98
Науманнит (Ag ₂ , Pb)Se	85
Овихит 8PbS · 2Ag ₂ S · 5Sb ₂ S ₃	84
Плагинит 5PbS · 4Sb ₂ S ₃	76, 80
Ратит 3PbS · 2As ₂ S ₃	80, 91
Рецбаниит 2PbS · 3Bi ₂ S ₃	80
Селигманнит Cu ₂ S · 2PbS · As ₂ S ₃	105
Семсейит 9PbS · 4Sb ₂ S ₃	76
Теаллит SnS · PbS	84, 94
Уранинит уранат U, Pb и др.	104
Франкеит 5PbS · Sb ₂ S ₃ · 2SnS ₂	84, 91
Фрейслевенит 3Ag ₂ S · 4PbS · 3Sb ₂ S ₃	94
Цилиндрит 6PbS · Sb ₂ S ₃ · 6SnS ₂	8, 3 84, 85
Цинкениит PbS · Sb ₂ S ₃	76
Шапбахит Ag ₂ S · PbS · Bi ₂ S ₃	83

Селен (Se)

Агвиларит g ₂ (Se, S)	82, 88, 89
Гуанахуатит Bi ₂ (Se, S) ₃	80, 92
Клаусталит PbSe	82
Клокманнит CuSe	87
Науманнит (Ag ₂ , Pb)Se	85
Тиманнит HgSe	95, 97
Умангит Cu ₂ Se ₂	82
Эвкайрит Cu ₂ Se, Ag ₂ Se	86

Серебро (Ag)

	Стр.
Агвиларит $Ag_2(Se, S)$	82, 88, 89
Аляскаит $Ag_2S \cdot PbS \cdot 2Bi_2S_3$	83, 89
Андорит $Ag_2S \cdot 2PbS \cdot 3Sb_2S_3$	83, 97
Арамайонит $Ag_2S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$	91
Аргентит Ag_2S	81, 94, 95
Аргиродит $4Ag_2S \cdot 6GeS_2$	86, 87, 96
Арсенаргентит Ag_3As	74
Беняминит $(Cu, Ag)_2S \cdot 2PbS \cdot 2Bi_2S_3$	80
Броньярдит $Ag_2S \cdot PbS \cdot Sb_2S_3$	92, 97
Гессит Ag_2Te	81, 83, 89
Гунтилит Ag_3As	74
Дискразит Ag_3Sb	81, 85, 88
Калаверит $(Au, Ag)Te_2$	79, 80
Канфильдит (содержит и германий) $4Ag_2S \cdot SnS_2$	86
Кераргирит $AgCl$	95
Креннерит $(Ag, Au)Te_2$	80, 93
Ленгенбахит $6PbS \cdot (Ag, Cu)_2S \cdot 2As_2S_3$	105
Матильдит $(Ag_2, Pb)S \cdot Bi_2S_3$	76
Миаргирит $Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	87, 93, 95
Науманнит $(Ag_2, Pb)Se$	85
Овихит $8PbS \cdot 2Ag_2S \cdot 5Sb_2S_3$	84
Пеарцит $8Ag_2S \cdot As_2S_3$	85
Петцит $(Ag, Au)_2Te$	82, 88
Пираргирит $3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	87, 95
Полибазит $8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	85, 86
Прустит $3Ag_2S \cdot As_2S_3$	85, 87
Серебро (самородное) Ag	74, 75, 77
Сильванит $(Ag, Au)Te_2$	79, 81, 89, 93
Стефанит $5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	81, 85
Стромейерит $(Cu, Ag)_2S$	82
Фрейбергерит $5(Cu, Ag)_2S \cdot 2(Cu, Fe)S \cdot 2Sb_2S_3$	88, 90
Фрейеслебениит $3Ag_2S \cdot 4PbS \cdot 3Sb_2S_3$	94
Шапбахит $Ag_2S \cdot PbS \cdot Bi_2S_3$	83, 90
Штернбергерит $AgFe_2S_3$	84
Эвкайрит $Cu_2Se \cdot Ag_2Se$	86
Электрум Ag, Au	78

Сурьма (Sb)

Андорит $Ag_2S \cdot 2PbS \cdot 3Sb_2S_3$	83, 97
Арамайонит $Ag_2S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$	91
Бертонит $2(Pb, Cu)_2S \cdot Sb_2S_3$	92
Бертьерит $FeS \cdot Sb_2S_3$	91, 97
Брейтгаунтит $NiSb$	102
Броньярдит $Ag_2S \cdot PbS \cdot Sb_2S_3$	92, 97
Буланжерит $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$	77, 80
Бурнонит $Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Sb_2S_3$	92, 97
Вильямит $(Co, Ni)SbS$	89, 90, 102
Врбаит $Tl_2S \cdot 3(As, Sb)_2S_3$	91
Геокронит $5PbS \cdot Sb_2S_3$	80, 92
Джемсонит $4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$	76, 79
Дискразит Ag_3Sb	81, 85, 88
Каллилит $Ni(Sb, Bi)S$	88, 90, 102
Кермезит Sb_2S_2O	87, 97
Килейит $PbS \cdot Sb_2S_3$	106
Коринит $Ni(As, Sb)S$	99, 102
Ливингстонит $HgS \cdot 2Sb_2S_3$	87, 95, 97
Менегинит $4PbS \cdot Sb_2S_3$	78, 70
Миаргирит $Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	87, 93, 97
Овихит $8PbS \cdot 2Ag_2S \cdot 5Sb_2S_3$	84
Пираргирит $3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	87, 95
Плагионит $5PbS \cdot 4Sb_2S_3$	76, 80

	Стр.
Полибазит $8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	85, 86
Семсейит $9PbS \cdot 4Sb_2S_3$	76
Стефанит $5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	81, 83
Стибнит Sb_2S_3	75, 82, 87, 91
Сурьма (самородная) Sb	81, 85
Тетраэдрит $5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$	86, 90, 97
Ульманит $NiSbS$	88, 90, 102
Фаматинит $3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	88
Франкеит $5PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 2SnS_2$	84, 91
Фрейбергит $5(Cu, Ag)_2S \cdot 2(Cu, Fe)S \cdot Sb_2S_3$	88, 90
Фрейеслебениит $3Ag_2S \cdot 4PbS \cdot 3Sb_2S_3$	94
Халькостибит $Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	87, 92
Цилиндрит $6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 6SnS_2$	83, 84, 91
Цинкениит $PbS \cdot Sb_2S_3$	76

Галлий (Tl)

Врабит $Tl_2S \cdot 3(As, Sb)_2S_3$	91
Лорандит $Tl_2S \cdot As_2S_3$	98

Теллур (Te)

Алтаит $PbTe$	75
Вейссит $Cu_5Te_3(?)$	74
Гессит Ag_2Te	81, 83, 89
Кадаверит $(Au, Ag)Te_2$	79, 80
Колорадоит $HgTe$	88, 93
Креннерит $(Ag, Au)Te_2$	80, 96
Мелонит Ni_2Te_3	79
Нагиагит Pb, Au, Te, S	93, 98
Петцит $(Ag, Au)_2Te$	82, 88
Риккардит $Cu_4Te_3(?)$	74
Сильванит $(Ag, Au)Te_2$	79, 81, 89, 93
Теллур (самородный) Te	76, 78
Тетрадимит $Bi_2(Te, S)_3$	75, 78

Титан (Ti)

Ильменит $FeTiO_3$	105
Рутил TiO_2 : :	105

Уран (U)

Уранинит — уранат U, Pb и др.	104
---	-----

Цинк (Zn)

Вольтцин $4ZnS \cdot ZnO$	83
Вуртцит ZnS	91
Купродеклуазит $Pb_2(Zn, Cu)_2V_2O_3 \cdot H_2O$	84
Сфалерит ZnS	73, 90, 97
Теннантит $5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2As_2S_3$	81, 90
Тетраэдрит $5Cu_2S \cdot 2(Cu, Fe, Zn)S \cdot 2Sb_2S_3$	86, 90, 97
Франклинит $(Fe, Zn, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$	103, 104
Халькофанит $(Mn, Zn)O \cdot 2MnO_2 \cdot 2H_2O$	97

Часть IV

МИКРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Введение

Микрохимический качественный анализ состоит в определении присутствия в растворе одного или нескольких неизвестных элементов путем введения соответствующих реактивов, имеющих задачей вызвать осаждение искомых элементов из раствора. Реакции эти производятся на стеклянной пластинке и наблюдаются под микроскопом. Для этого обычно берутся реактивы, вызывающие осаждение данных элементов в виде кристаллов характерной формы и цвета; эти кристаллы и являются диагностическим признаком искомых элементов. Лишь немногие элементы дают осадок аморфный, в зависимости только от того, что соответствующих кристаллических осадков нет. При роданистом испытании на железо не получается никакого осадка, но получаемый раствор по введению реактива делается темнокрасным.

Микрохимический анализ имеет над обыкновенным качественным анализом два больших преимущества — экономию времени и экономию материала. Любое микрохимическое испытание может быть сделано в 10 мин., и даже менее того, тогда как обычный качественный анализ часто требует многих часов на выпаривание над паровой ванной или на фильтрование. Микрохимические анализы требуют также гораздо меньше материала, чем обыкновенные химические анализы. Микрохимический анализ обычно может быть сделан над таким небольшим количеством изучаемого материала, что для невооруженного глаза оно даже почти и невидимо.

Микрохимические методы далеко не новы, но химики-аналитики странно пренебрегали ими вследствие господства убеждения, будто микроскопические методы очень сложны и требуют длительной школы. Поэтому-то они более распространены между европейскими, чем американскими химиками и петрологами.

Пионером микрохимических исследований был Борицкий (Borický) ⁵³, выработавший методы для определения элементов в породообразующих минералах.

Приемы, применявшиеся Борицким, были усовершенствованы и распространены профессором политехнической школы в Дельфте (Голландия) Беренсом (H. Behrens), развившим микрохимические методы для определения всех тогда известных твердых элементов ⁵⁴. Книгу свою он впоследствии переработал и перевел на английский язык ⁵⁵. Беренс дал науке микрохимии большее движение, чем кто-либо другой. Его учебник выдержал несколько

изданий (последнее, просмотренное Клейем (Kley), вышло в 1921 г.) и является самой важной книгой по данному предмету в Европе⁵⁶.

Лучшая английская работа написана профессором Шамо (Chamot)⁵⁷ с его соратниками по Корнелльскому университету, преподававшим микрохимию в продолжение почти 30 лет. В течение многих лет Корнелльский университет был единственным учреждением в США, в котором микрохимия вообще преподавалась. В последнее время преподавание ее введено во многих учебных заведениях, но приходится жалеть о том, что некоторые из крупных университетов США все еще не ввели у себя курсов по этому предмету.

Заслуга первого приложения микрохимических методов к определению непрозрачных минералов в полированных шлифах принадлежит профессору Массачузетского технического института Линдгрену (W. Lindgren), начавшему преподавать этот метод с 1920 г. Автор настоящей работы впервые ознакомился с микрохимическим методом под руководством проф. Линдгрена в 1922 г. Перспективы, открываемые этим методом, освещены были проф. Линдгреном в журнальной статье, вышедшей в 1924 г.⁵⁸

Важную работу, цитату из которой мы приводим в описании испытаний на кобальт (стр. 135) и в других местах нашей книги, опубликовал Мак Кинстри (Mc Kinstry)⁵⁹.

За последнее время появился ряд ценных статей о микрохимических методах, принадлежащих Патнэму (Putnam), Робертсу (Roberts) и Селчоу (Selchow)⁶⁰. Названные авторы сообщают результаты многих новых и оригинальных исследований и описывают приемы испытания некоторых редких элементов. Автор настоящей книги обязан им сведениями о пробе на двойную бромистую соль пиридина и золота, изложенными ниже на стр. 150.

Процедура и аппаратура

Элементы минерала определяются путем микрохимических испытаний, производимых над очень небольшими количествами материала, сколотого с поверхности минерала. Для того чтобы убедиться в том, что изучаемый материал чист, т. е. что он не содержит посторонних минералов, которые могли быть в сростании с исследуемым минералом, готовится полированный шлиф, изучаемый затем под микроскопом в отраженном свете, а порошок для исследования сцарапывается с этой поверхности посредством особой иглы, имеющей долотообразное острие. Порошок, таким образом полученный, собирается при помощи заостренной спички или лучинки из мягкого дерева, конец которой был сначала смочен, а потом вытерт почти досуха. Порошок прилипает к сырому дереву. Спичка с приставшим к ней порошком погружается в каплю азотной или другой нужной для опыта кислоты, наложенную на стеклянную пластинку. Поверхностное натяжение, благодаря которому порошок прилипает к дереву, нарушается и порошок отстает от дерева и опускается на дно капли. Кислота испаряется путем подогревания пластинки на слабом огне (микролампе)⁶¹. Изучение осадка под микроскопом выяснит, не осталась ли незатронутой кислотой какая-нибудь часть взятого

для исследования материала. Если нужно, можно накладывать и выпаривать ряд капель, пока материал не растворится и химически не разложится. Полученный осадок исследуется затем уже при помощи микрохимических методов.

Вообще говоря, этот метод может быть приложен к любому минералу, но лучше всего он приложим к рудным непрозрачным или почти непрозрачным минералам, потому что почти все они могут быть растворены при помощи обыкновенных кислот. Количество изучаемого материала зависит от тонкости испытания, но, как правило, достаточен материал, собранный на участке полированной поверхности от 0,17 до 0,35 мм в диаметре. Автор до сих пор отвергал испытания, при которых бралась площадь чистого минерала, превосходящая большую из указанных цифр. В качестве руководств мы пользовались упомянутыми выше учебниками Шамо и Беренса. Ни один из названных авторов первоначально не имел в виду прилагать эти методы к минералам, но методы, в обоих руководствах описанные, по большей части приложимы и к минералогическим испытаниям. Шамо очень подробно описывает действие некоторых мешающих ходу исследования элементов. Его описание однако не исчерпывает всех комбинаций элементов, встречаемых в рудных минералах. Работа Шамо вызывает упрек в том отношении, что многие элементы, из которых некоторые имеют в рудных минералах большое значение, например золото,— в ней совсем не упоминаются. Не указываются также приемы исследования теллура, селена, молибдена, ванадия, вольфрама и редких элементов. Книга Беренса и Клейя написана по-немецки⁷⁰. Она содержит описание приемов испытания на все элементы, но ей можно поставить в упрек то, что действие элементов, мешающих исследованию, в ней едва затрагивается. Так например для испытания на золото указывается преимущественно перед другими способами способ азотнокислого талия⁶². Этот способ, очень изящный и тонкий в приложении к чистому самородному золоту, неприложим к нему в присутствии ионов теллура.

Усилия автора были направлены на определение степени мешающего испытанию воздействия (при испытании на известный элемент в минерале), вызываемого химическими соединениями других элементов, встречающихся в том же самом минерале. Он нашел например, что присутствие ионов меди осаждению серебра, как двуххромовокислой соли, не препятствует, между тем как свинец в виде двуххромовокислой соли осаждается одновременно с двуххромовокислым серебром и несколько замаскировывает определение серебряного соединения. Следовательно, если свинца гораздо больше, чем серебра, прежде чем начинать исследование на серебро, из раствора надо удалить свинец. В других испытаниях может образоваться двойное соединение мешающих исследованию элементов. Свинец например обычно осаждается в качестве иодистого свинца, имеющего цвет желтой меди, и кристаллизующегося в виде отчетливых пластинок. Но если в растворе присутствуют даже только следы висмутовых ионов, осадок свинца совершенно изменяет свой характер, и в результате получается осадок ржаво-коричневый и аморфный.

Чтобы преодолеть встречающиеся трудности и найти нужную процедуру, необходимо было экспериментирование над каждым минералом. Обычно необходимо проделать химическое разделение. Для этого осаждается один или несколько элементов, входящих в каплю, а другой элемент или элементы остаются в растворе. Применяются и методы фильтрации в микроскопическом масштабе, особенно метод Беренса, описанный Шамо⁶³. Но метод этот из-за малых размеров капель, применяемых в исследовании, оказался непригодным, так как фильтровальная бумага поглощала слишком большое количество жидкости. Был придуман поэтому другой более удобный метод фильтрования, требующий применения тонких капиллярных трубок. Осадок в капле должен осесть, и если испарение идет слишком быстро, к капле осторожно прибавляют воды. Когда осаждение заканчивается, осадок обычно пристает к стеклянной пластинке. В каплю погружается капиллярная трубочка, и вследствие капиллярности, фильтрат втягивается в трубочку. Присутствием нескольких частиц осадка в жидкости можно пренебречь. Автор не встречал в своей работе затруднений, связанных с такой процедурой. Конец трубочки передвигается затем на другое место на пластинке, и жидкость удаляется из нее вдуванием в противоположный конец трубки. Нижний конец трубочки должен быть приведен в контакт с пластинкой до выдувания капли из трубочки, иначе капля будет стремиться пристать к наружной стороне ее.

Затем для того чтобы удалить последние следы фильтрата, одной или несколькими каплями воды или кислотного раствора осадок смывается. Каждая капля собирается при помощи капиллярной трубочки и либо добавляется к фильтрату, либо выдувается на пропускную бумагу и выбрасывается.

С о б и р а н и е м а т е р и а л а. Полированный шлиф вводится в поле зрения микроскопа и наблюдается при помощи коротко монтированного объектива (Бауш и Ломб — 16-мм и Лейтц — № 3). Объективы большего увеличения фокусируются слишком близко к поверхности образца и не позволяют свободно манипулировать иглой.

Затем на минерале выбирается площадь, подлежащая исследованию. Она должна быть свободной от мелких включений посторонних минералов. Диаметр изучаемого куска минерала должен быть немного более, чем минимальный диаметр, нужный для удовлетворительного производства исследования, так как необходимо значительное искусство, чтобы избежать выталкивания иглы за край изучаемого пространства на минерале.

Калибр иглы зависит главным образом от степени твердости царапаемого минерала. Иглы, бывшие в употреблении у автора, изготавливаются фирмой Робертс и Реддитч (Англия) и калибруются, как Sharps от № 6 до 12. При малых калибрах царапать можно и меньшие пространства. Игла № 12 однако легко ломается и может применяться только на очень мягких минералах. При более твердых минералах, в роде кобальтина, сила, необходимая для проведения бороздки, потребует более крупную и более сильную иглу: в этом случае нужна игла № 6.

Острые иглы стачиваются при диагональном держании иглы на

быстровращающемся карборундовом колесе. Полученная поверхность представляет собою усеченный конус. Контакт между иглой и колесом должен быть только мгновенным, длящимся долю секунды, и нет необходимости совершенно стачивать заостряющийся конец иглы. С осью иглы скошенная поверхность ее должна образовывать угол около 60° (рис. 12).

Игла вводится затем в поле наблюдения микроскопа, и острие ее двигается по обрабатываемой площади взад и вперед до тех пор, пока не продолбится бороздка или кратероподобная пустота. Глубина этой пустоты берется обычно значительно меньшая, чем диаметр образуемой ею бороздки на поверхности шлифа. Эта предосторожность необходима для того, чтобы избежать проникновения иглы в соседний нижележащий минерал.

Царапать более твердые минералы обычно бывает довольно трудно. Лучше следовать в этом случае направлению небольшой впадинки шва, или сточенного края. Игла снашивается быстро, и ее надо оттачивать после каждой операции. При обработке мягких материалов иглу иногда полезно бывает крутить.

Заостренная спичка отлично собирает порошок. Следует избегать зазубривания заостренного конца спички; конец этот должен быть гладким и правильным по форме. Лезвие безопасной бритвы для заострения спички удобнее, чем перочинный нож.

Для того чтобы удалить излишнюю влажность при прикосновении к образцу, намоченный конец спички должен быть вытерт чистой тряпочкой. Если он слишком сыр, часть жидкости может попасть со спички на образец. Небольшая практика научит, до какой влажности надо доводить конец спички.

Для того чтобы удалить излишнюю влажность при прикосновении к образцу, намоченный конец спички должен быть вытерт чистой тряпочкой. Если он слишком сыр, часть жидкости может попасть со спички на образец. Небольшая практика научит, до какой влажности надо доводить конец спички.

Лучшим инструментом для наложения капель реактивов на пластинку является кусочек платиновой проволоки, на нижнем конце которого загнута петля. Капля должна быть минимальной, и чем глубже капля сравнительно со своим диаметром на пластинке, тем медленнее будет происходить испарение и тем значительнее рост кристаллов, подлежащих исследованию. Проволока очень незначительного диаметра гнется слишком легко и плохо сохраняет форму. Из проволоки более значительного диаметра не так легко согнуть небольшую петлю. Автор пользовался проволокой диаметром в $0,35\text{ мм}$, а внутренний диаметр петли равнялся $0,62\text{ мм}$. Петля загибается вокруг иглы.

Стеклянные пластинки. Химические операции производятся на стеклянной пластинке. Пластинка должна быть совершенно чистой и свободной от царапин и шероховатости. Пластинки, применяемые при монтировке тонких шлифов для петрографической работы, удовлетворительны. Размером эти пластинки $25 \times 45\text{ мм}$, а толщиной не более 1 мм . Если надо прибегать к нагреванию, капля должна накладываться на один из углов пластинки, иначе пластинка почти наверняка лопнет.

Держать пластинку в чистоте гораздо труднее, чем кажется на

первый взгляд. Малейший след постороннего материала вызывает растекание капли и исключает некоторые манипуляции, необходимые для наилучшего производства испытаний. Для чистки пластинок достаточно обычно применяемой сернохромовой смеси. Автор пользуется пемзосодержащим мылом. Мыло растирается влажной губочкой до тех пор, пока губка не напитается мыльной пеной. Пластинка сначала растирается мыльной губкой, а затем подставляется под струю воды из крана, нагретую до температуры, которую рука может свободно вытерпеть. Когда мыльная пена горячей водой совершенно смыта, пластинка погружается в сосуд с дистиллированной водой для того, чтобы смыть вставшую к ней воду из крана. Затем ее вынимают из воды, встряхивают, чтобы удалить с нее приставшую дистиллированную воду, и ставят на ребро для просушки. Верхний конец пластинки должен быть прислонен к чистой, ровной вертикальной поверхности, а нижний должен стоять на бумажной полоске или на фильтре для того, чтобы удалять воду по мере ее стекания на нижний край пластинки. Такая процедура устраняет необходимость вытирания пластинки насухо сукном, которое может оставить на ней волокна или жирную пленку. Чистые пластинки сохраняются в стеклянной посуде и защищаются от пыли стеклянной крышкой (часовым стеклом).

Испытания, приводимые профессором Шамо⁶⁴ иллюстрируют трудность получения совершенно чистой пластинки. Сверхчистота, требуемая применением ультрамикроскопа, здесь не нужна, но пластинка должна быть достаточно чистой, дабы допустить применение рекомендуемого Шамо метода 1 (стр. 122).

Следующее испытание достаточно для определения этой степени чистоты: опустите чистую платиновую проволоку в каплю воды, наложенную на пластинку, медленно выньте проволоку из капли, удерживая конец ее в контакте с поверхностью пластинки. Пластинка чиста, если за проволокой тянется ниточка жидкости; при загрязнении жидкость за проволокой не следует.

Микрогорелка. Обыкновенная бунзеновская горелка не годится для микроскопической работы, так как жар излучается ею на слишком большой поверхности. Довольно сложная вспомогательная горелка, описанная Шамо⁶⁵, то же не очень подходяща. Вполне пригодна для работы, делающая ненужной газ-воду подводку, спиртовая лампочка, изготовленная автором (рис. 13). Температура, развиваемая пламенем такой горелки, не должна быть на много выше точки кипения кислот, употребляемых при исследовании. Химические реакции, требующие обжига и возгонки в этом исследовании, не нужны; все испытания здесь — испытания мокрые. Главное требование, пред-

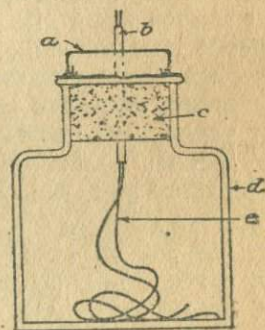


Рис. 13. Импровизированная спиртовая лампочка. *a* — стачиловая крышка для предупреждения загорания пробки; *b* — медная трубочка; *c* — пробка; *d* — пузырек из-под чернил; *e* — один или два шнура.

являемое к лампе, — получение пламени небольшого поперечного сечения.

Реактивы. Гораздо труднее получить раствор, испаряя каплю кислоты, содержащую минерал, на стеклянной пластинке, чем поместить минерал в пробирку, содержащую реактив, и кипятить в ней реактив в течение одной-двух минут. При согревании капли на пластинке значительная часть реактива испаряется еще до кипения, и даже по достижении точки кипения она совершенно испаряется в течение нескольких секунд самое большее. Важно поэтому иметь каплю минимального диаметра и максимальной толщины, а не каплю, разлившуюся по поверхности пластинки.

Лишь очень немногие из рудных минералов, изученных до сих пор, не разлагаются примененными к ним реактивами. Некоторые окислы, в роде хромита, гематита и касситерита, на пластинке азотной кислотой не растворяются. Некоторые сульфиды, сульфарсениты и сульфантимониты растворяются с большим трудом. Для растворения таких минералов Шамо советует пользоваться небольшой капсулей или тиглем, покрытым стеклянной пластинкой, укрепленным на штативе. Реактив должен быть доведен до точки кипения и кипеть примерно минуту⁶⁶. Пираргирит, почти нерастворимый при нагревании на пластинке, был легко разложен химически при обработке в тигле. При пользовании капсулей нужно примерно двойное количество материала сравнительно с обработкой на пластинке. Жидкость кипятится до полного высыхания. Капсуля остуживается, затем выщелачивается тремя или четырьмя каплями кислотного раствора. Раствор этот берется при помощи капиллярной трубочки, переносится на стеклянную пластинку и подвергается на ней обычной обработке.

Самым ходовым реактивом является 1 : 1 азотная кислота (1 об'ем концентрированной HNO_3 уд. вес 1,42 плюс 1 об'ем H_2O). Царская водка (3 об'ема концентрированной HCl плюс 1 об'ем концентрированной HNO_3) применяется в тех случаях, когда требуется сильное окисляющее действие, а дымящаяся азотная кислота в тех случаях, когда надо применить сильное окисляющее действие, не вводя хлорных ионов. Более сильные реактивы имеют тенденцию растекаться по пластинке и, когда можно, предпочтительнее пользоваться 1 : 1 HNO_3 .

Нужный реактив отыскивается всегда путем опытного подхода.

Капиллярные трубки. Процесс отделения фильтрата от осадка описан выше (стр. 117). Автор пользовался капиллярными трубочками, вытянутыми из трубки мягкого стекла, имеющей 3,6 мм по внешнему диаметру, 2,2 мм по внутреннему диаметру и около 16 см в длину. Трубочка держится за концы двумя руками, и середина ее нагревается на горячем пламени небольшого поперечного сечения; раскаленная докрасна, но еще не начавшая садиться, трубочка вынимается из огня и тянется руками в противоположные стороны (рис. 13). Для того чтобы нагревать поперечное сечение равномерно, трубку при нагревании следует вращать. Тянуть трубку, пока она еще в огне, не следует. Обычная бунзеновская горелка для этой цели не годится, так как она не концентрирует жара на малом поперечном сечении, а импровизированная спиртовая лампочка, описанная выше, не дает достаточ-

но горячего пламени. Наиболее удобной в данном случае оказалась простая паяльная трубка. Автор пользуется укрепленной на штативе паяльной трубкой с механизированным вдуванием. Пригодна и обыкновенная ручная паяльная трубка, но для манипулирования ею нужен помощник, так как у лица, тянущего трубку, обе руки заняты.

Полученная таким образом капиллярная трубочка бывает слишком длинна для работы, и поэтому она отламывается на расстоянии 8—10 см от места сужения. Внутренний диаметр капиллярной части равняется обычно 0,06—0,12 мм. Если диаметр менее 0,06 мм, выдувать жидкость из трубочки становится трудно. Если он больше 0,12 мм, жидкость выдувается слишком легко и стремится образовать каплю большего сравнительно со своим объемом диаметра. При некотором навыке удовлетворительные трубочки можно

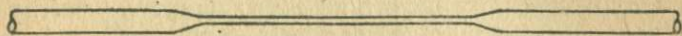


Рис. 14. Капиллярная трубка. Натуральная величина.

приготавливать легко. Диаметр капиллярной части на относительно большом протяжении замечательно ровен; еще замечательнее то обстоятельство, что стенки капиллярной трубочки спаиваются внутри редко. Обладая небольшой выучкой, можно по такому способу приготавливать трубочки 60 см длины и более. Чем длиннее тянется трубочка, тем уже становится ее диаметр. Наилучшим приемом бывает обычно вытягивание ее примерно на один фут и затем обламывание на нужной длине.

Методы испытательной практики

Критерием для определения почти всех элементов служит характер кристаллов, образованных осаждением внутри капли. Желательно поэтому так регулировать условия испытания, чтобы получить кристаллы наибольшего размера и постоянного характера. Реактив, применяемый для осаждения, должен иметь более высокую концентрацию, чем неизвестные элементы в капле, подвергаемой исследованию. Если концентрация ионов, соединяющихся для образования осадка, слишком велика, кристаллы будут малы и недостаточно оформлены. Если концентрация слишком слаба, образования осадка не произойдет. Наиболее благоприятная для опыта среда, при которой образуются кристаллы наибольшего размера, определяется опытным путем. Кристаллы двуххромовокислого серебра например имеют наибольший размер и наилучшую форму, если в 0,5% раствор азотнокислого серебра положить небольшой кусок двуххромовокислого аммония. Аналогично кристаллы двойной роданистой соли меди и ртути, самые полезные при распознавании меди, имеют наилучшие размер и форму, когда раствор двойной роданистой соли калия и ртути прибавлен к 0,5% раствору азотнокислой меди. Автор полагает, что для большинства элементов наиболее удовлетворительна именно такая концентрация. Поэтому и старались начинать исследование

с таким количеством материала, которое даст приблизительно эту концентрацию металлического элемента в подлежащей исследованию капле. Если концентрация слишком велика, это обнаружится сразу обилием осаждения и его тенденцией к аморфности. Испытание может быть поэтому повторено на новом материале или же капля может быть разведена, часть ее взята капиллярной трубкой, перенесена на новое место на пластинке и снова исследована. С другой стороны, делались усилия к тому, чтобы выяснить минимальное количество минерала, необходимое для того, чтобы дать определенное положительное испытание на искомый элемент. Шамо пишет ⁶⁷.

«Важно, чтобы реактивы применялись всегда наилучшим образом, в таких концентрациях и в таких условиях, которые ведут к отделению твердой кристаллической фазы в самый короткий промежуток времени. Необходимо поэтому сначала выяснить наилучшую процедуру для применения каждого данного реактива. Большинство неудачных попыток получить удовлетворительные результаты при производстве микрохимических реакций зависит от недостаточной оценки значения этого обстоятельства. Авторы руководств микрохимического анализа обычно не дают себе труда точно установить наилучший порядок введения реактива в изучаемую каплю, исходя из предположения, что исследователь сам собою выяснит те условия, которые дадут ему в руки продукты, легче всего поддающиеся определению. При сходных концентрации, кислотности и порядке введения реактива кристаллическая фаза не только будет почти неизменно отделяться с одинаковыми особенностями, но и кристаллы будут развиваться до того же самого калибра и при каждом опыте будут лежать на предметной пластинке в том же самом положении относительно своих граней».

Шамо описывает типичные применявшиеся им процедуры, обозначая их римскими цифрами. Автор настоящей работы следует его номенклатуре, но некоторые из этих методов им в испытаниях не применялись и поэтому они здесь и не описываются.

I метод — в этом исследовании самый употребительный, и мы его предпочитаем всякому другому ⁶⁸. «Капля реактива накладывается возле капли изучаемого раствора. При помощи платиновой проволоки или вытянутой стеклянной палочки проделывается маленький канал, для того чтобы реактив мог притекать в исследуемую каплю, а пластинке придается наклонное положение, для того, чтобы облегчить стекание, но обе капли ни в коем случае не должны сливаться вполне. Если пластинка не вполне чиста, проделать такой канал между двумя каплями будет почти невозможно, так как жидкость смачивать стекла не будет. За исключением случаев испытания на железо, иглой с острым концом пользоваться для соединения капель будет удобнее, чем платиновой проволокой или стеклянной палочкой. Платиновая проволока малого диаметра слишком легко гнется, а маленькая стеклянная палочка чересчур хрупка. Присутствием незначительного количества железа вследствие введения в реактив иглы в огромном большинстве испытаний можно игнорировать. В тех случаях, когда железа вводить нельзя, канал можно очень хорошо проделать заостренной спичкой. Размер капель, применяв-

шихся автором, меньше капель, изображенных в книге Шамо (рис. 15); наибольшая капля имеет 2 мм, а средний размер капель — 1,5 мм. Расстояние между краями капель обычно не более 1 мм.

По методу III к капле раствора изучаемого вещества прибавляется кусочек твердого реактива. Этот метод применяется часто. Он дает высокую концентрацию ионов реактива, но против него может быть выдвинуто то возражение, что количество реактива, вводимого в твердом состоянии, не так легко контролировать, как в тех случаях, когда он вводится в жидком состоянии в определенной концентрации. Начинаящие почти неизменно вводят слишком большой кусочек реактива, и это вызывает кристаллизацию значительной доли реактива ранее кристаллизации изучаемого осадка, что и маскирует осадок. Автор дробит твердый реактив, разравнивает его на темной поверхности, при помощи заостренной влажной иглы подбирает мельчайший видимый невооруженным глазом кусочек и переносит его в центр капли. Если после микроскопического наблюдения окажется, что реактива недостаточно, то таковой добавляется.

По методу III-а капля реактива опускается в центр исследуемой капли⁶⁹. Пример приложения такого метода приведен на стр. 154 настоящей работы. Его модификация, Шамо не описанная, может быть обозначена, как метод III-б. Капля, содержащая неизвестные элементы, испаряется над микрогорелкой или, если желательно медленное выпаривание, путем простого атмосферного испарения. Жидкий реактив, вызывающий осаждение, прибавляется к высушенному осадку. Примером приложения этого метода может служить диметилглюксимовое испытание на никель (стр. 132). В тех случаях, когда желательно предупредить растекание капли, исследуемая капля медленно испаряется; когда она испарится почти досуха (некоторая степень влажности должна все же остаться), прямо к ней прибавляется капля реактива. Примером такой процедуры может служить испытание молибденовокислым аммонием на мышьяк.

Операцию соединения капель или погружения кусочка в исследуемую каплю лучше всего делать под микроскопом, пользуясь объективами Лейтца № 2 или Бауш и Ломбе 32 мм и окуляром Лейтца № 3. Когда кристаллы искомого осадка начинают образовываться, можно перейти к более сильному увеличению. № 4 Лейтца является наиболее употребительным объективом для окончательного наблюдения. Он соединяет сильное увеличение с ясностью и хорошей перспективой. Объективы с еще более сильным увеличением, чем этот, могут понадобиться только изредка.

В обоих названных учебниках для одного элемента обычно

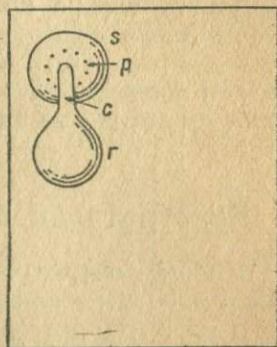


Рис. 15. Схема, иллюстрирующая метод Шамо I. Капля реактива *r* соединена для стекания с каплей изучаемого раствора *s* при помощи маленького канала *c*. Осадок отлагается в *p*.

указывается по несколько методов исследования, а вопрос о выборе между ними решает только опыт. Некоторые из методов испытания отличаются такой тонкостью, что они укажут на присутствие известного элемента, когда его пропорция в минерале столь ничтожна, что даже не отмечается в формулах, приводимых в обычных руководствах. Когда, халькозин например берется в растворе в азотной кислоте, исследуемая капля обычно окрасит раствор двойной роданистой соли калия и ртути в розовый цвет, указывающий на присутствие в халькозине железа. Для суждения о том, присутствует ли данный элемент в достаточном количестве для занесения в формулу, наилучшим руководителем является опыт. Испытания эти могут быть дополнены и испытаниями менее тонкими.

Микрохимический метод не может применяться для различения между минералами, имеющими одни и те же элементы, как-то, например буланжерит и цинкениит или петцит и сільванит. Более того, чувствительность этого метода очень точно ограничена, и нельзя ждать надежных испытаний относительно количеств материала, представленных участками на шлифе, не имеющими в диаметре 0,17 мм. Бесполезно производить испытания на зернах минерала такого незначительного размера, что их можно наблюдать только при помощи более сильных объективов, чем 16-мм. Если мы имеем дело с таким материалом, определение минерала должно быть основано на других его особенностях, например его поведении в поляризованном свете, спайности, цвете, твердости и реакции на травление.

Чувствительность микрохимических испытаний

В общем очерке, предшествующем описанию каждого испытания, сообщается концентрация наиболее слабого раствора, дающего удовлетворительную реакцию. Степень допустимого разбавления раствора считаем всегда делом более или менее произвольным. Приводимые ниже цифры в значительной степени основаны на опытах автора при преподавании им микрохимии студентам, изучающим прикладную геологию. Эти цифры, по наблюдениям автора, представляют самые слабые растворы, могущие обычно дать надежные результаты экспериментирующему студенту.

Молярность раствора в отношении элемента определяется как вес элемента в граммах на литр раствора, разделенный на атомный вес элемента. Раствор уксуснокислого свинца, например содержащий 0,379 г соли на 100 см³, равняется 0,01 моля в отношении свинца; подобным же образом раствор азотнокислого кобальта, содержащий 0,291 г соли на 100 см³, есть 0,01 моля в отношении кобальта. Эти два раствора имеют одинаковое число атомов металлического элемента на единицу объема.

Сравнение молярностей предельных растворов, показываемое в нижеследующей таблице, дает более верное представление о чувствительности этих реакций, чем концентрации самых растворов.

Приблизительные чувствительности микрохимических реакций

Элемент	Испытание	Концентрация самого слабого раствора (граммы соли на 100 см ³ раствора)	Концентрация элемента	
			грамм на 100 см ³	молярность раствора
Цинк . . .	Двойная роданистая соль калия ртути .	0,01 Zn (C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 2H ₂ O	0,00297	0,000451
Медь . . .	То же	0,01Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O . . .	0,00263	0,000414
Никель . . .	Диметилглиоксим	0,02Ni(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0,00406	0,000692
То же . . .	Двойная роданистая соль калия ртути .	То же	0,0406	0,000692
Кобальт . . .	То же	0,01Co(NO ₃) ₆ · H ₂ O	0,00203	0,000344
То же . . .	Нитрозо-β-нафтол	0,02CoCl ₂ · 6H ₂ O	0,00496	0,000841
" . . .	Азотистокислый калий	0,05Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0,1010	0,0171
Железо . . .	Двойная роданистая соль калия ртути .	0,02Fe(NO ₃) ₃ · 9H ₂ O	0,00277	0,000496
То же . . .	Железисто-синеродистый калий	То же	0,00277	0,000496
" . . .	Гидроокись аммония	0,03Fe(NO ₃) ₃ · 9H ₂ O	0,00415	0,00742
" . . .	Куперрон	То же	0,00415	0,00742
Ртуть . . .	Двойная роданистая соль кобальта ртути	0,005HgCl ₂	0,0037	0,000185
Свинец . . .	Иодистый калий	0,005Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 3H ₂ O	0,00273	0,000132
То же . . .	1:5 соляная кислота	0,10Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ · 3H ₂ O	0,0546	0,00264
" . . .	Тройная азотистая соль	0,01Pb(NO ₃) ₂	0,00625	0,000302
Серебро . . .	Двуххромовокислый аммоний	0,02AgNO ₃	0,0093	0,000961
То же . . .	Хлористая соль	То же	0,0093	0,000961
" . . .	Двойная роданистая соль кобальта ртути	То же	0,0093	0,000961
Золото . . .	Пиридин и бромистоводородная кислота	0,02H ₂ AuCl ₄	0,0116	0,00060
То же . . .	Хлористое олово	0,1H ₂ As ₂ Cl ₄	0,058	0,00295
Мышьяк . . .	Молибденовокислый аммоний	0,10(NH ₄) ₂ AsO ₄ · 3H ₂ O	0,00304	0,000405
То же . . .	Иодистый калий	0,02(NH ₄) ₂ AsO ₄ · 3H ₂ O	0,00608	0,000405
Сурьма . . .	Двойная хлористая соль сурьмы и цезия	0,02SbCl ₂	0,01056	0,000881
То же . . .	Двойная иодистая соль сурьмы и цезия	0,01SbCl ₂	0,00528	0,000440
Висмут . . .	Двойная хлористая соль висмута и цезия	0,02Bi(NO ₃) ₅ · 5H ₂ O	0,0086	0,000413
То же . . .	Двойная хлористая соль висмута и цезия	0,01Bi(NO ₃) ₂ · 5H ₂ O	0,00430	0,000206
Олово . . .	Хлористый цезий	0,01SnCl	0,00626	0,000526
Теллур . . .	То же	0,01Te(в HCl)	0,01	0,000773
То же . . .	Иодистый калий	То же	0,01	0,000773
Селен . . .	Хлористое олово	0,05SeO ₂	0,0391	0,00494

Реактивы

Кислоты и аммиак

1:1 HNO_3 — 1 объем концентрированной HNO_3 (удельный вес 1,42), прибавленный к 1 объему воды.

1:7 HNO_3 — 1 объем 1:1 HNO_3 , прибавленный к 3 объемам воды.

1% HNO_3 — 1 объем концентрированной HNO_3 , прибавленный к 99 объемам воды.

Царская водка — 1 объем концентрированной HNO_3 , прибавленный в 3 объемам концентрированной HCl (уд. вес 1,09).

1:5 HCl — 1 объем 1:1 HCl , прибавленный к 2 объемам воды.

5% HCl — 5 объемов 1:1 HCl , прибавленные к 45 объемам воды.

NH_4OH — концентрированный раствор.

1% NH_4ON — 1 объем концентрированной NH_4OH , прибавленный к 99 объемам воды.

1% уксусной кислоты — 1 объем ледяной $\text{H}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$, прибавленный к 99 объемам воды.

Пиридино-бромисто-водородная кислота — 1 объем пиридина, прибавленный к 9 объемам 40% HBr .

Растворы солей

Диметилглиоксим — 1 объем 2% диметилглиоксима в спирите, прибавленный к 1 объему воды.

Двойная роданистая соль калия и ртути — 5% раствор в воде (см. указания относительно приготовления соли ниже, на стр. 126).

α -нитрозо- β -нафтол — растворяется 1 г нитрозо- β -нафтола в 33 см³ ледяной уксусной кислоты, прибавляется одинаковый объем воды и фильтруется.

Купферрон — 6% раствор в воде.

Уксуснокислый реактив — растворите 0,5 г уксуснокислого натрия и 0,5 г уксуснокислой меди в 100 см³ уксусной кислоты.

Хлористое олово — 2% раствор в 1:5 HCl .

Молибденовокислый аммоний — 1,5% в 1:7 HNO_3 .

Твердые реактивы

Хлористый цезий — CsCl .

Иодистый калий — KI .

Азотистокислый калий — KNO_2 .

Железистоокисный калий — $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.

Азотнокислый кобальт — $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Роданистый калий — KCNS .

Двухромовокислый аммоний — $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Хлористый рубидий — RbCl .

Уксуснокислая медь — $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$.

Висмутовокислый натрий — NaBiO_3 .

Уксуснокислый кальций — $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$.

Двойная роданистая соль калия-ртути не продается на рынке, но может быть приготовлена в лаборатории по следующему рецепту:

Возьмите около 50 см³ 10% раствора роданистого калия (KCNS). Приготовьте раствор хлористой ртути HgCl_2 , растворив 10 г соли примерно в 160 см³ воды. Медленно титруйте раствор KCNS в склянку, содержащую всю HgCl_2 . Осадок появится только тогда, когда будет прибавлено 13 см³ раствора KCNS . С этого момента осаждение белой роданистой ртути пойдет быстро благодаря реакции $2\text{KCNS} + \text{HgCl}_2 = \text{Hg}(\text{CNS})_2 + 2\text{KCl}$. Реакция обратима, и этим путем может быть осаждена только часть ртути. Прибавьте еще 2 см³ раствора KCNS и дайте постоять 5 мин. Если прибавить на этой стадии еще KCNS , уже образовавшаяся роданистая ртуть начнет растворяться, чего следует избегать.

Профильтруйте осадок роданистой ртути, сперва промыв его для того, чтобы удалить следы $KCN\bar{S}$ и KCl , и переложите его в стакан вместимостью в 250 см^3 . Осадок роданистой ртути растворится в избыточном $KCN\bar{S}$, образуя двойную соль $K_2Hg(CNS)_2$. Титруйте 10% раствор $KCN\bar{S}$ в стакан, содержащий осадок роданистой ртути. Раствор надо прибавлять медленно, непрерывно размешивая содержимое стакана. Первым химическим изменением является образование $KCN\bar{S} \cdot Hg(CNS)_2$, в воде почти нерастворимого, но растворимого в избыточном $KCN\bar{S}$ с образованием $2KCN\bar{S} \cdot Hg(CNS)_2$. После того как мы прибавим около 23 см^3 раствора $KCN\bar{S}$, осадок сразу растворится. Важно внимательно следить в этот момент за тем, чтобы избыток $KCN\bar{S}$ держался на минимуме. Получающийся при такой операции раствор, если концентрация взята верно, готов для употребления. Лучше однако выпарить раствор досуха, взвесить соль и растворить ее в 20-кратном по весу количестве воды. Применяв вышеизложенную процедуру, получим около $5,5\text{ г}$ твердого $2KCN\bar{S} \cdot Hg(CNS)_2$.

Раствор следует испытать, пустив каплю его в каплю 1% раствора азотнокислого кобальта, слабо подкисленного HNO_3 . Немедленно образуется синий осадок, состоящий из изолированных нитей или между собою сцепленных игл (рис. 20, А) Если осаждение замедляется и по краям капли образуются разветвления (рис. 21, А), заключаем, что в реактиве имеется избыток $KCN\bar{S}$. В этом случае вероятно скорее и удобнее начать всю работу сызнова, чем пытаться очистить реактив путем его перекристаллизации из воды. Вся процедура за исключением заключительного выпаривания требует не более 30 мин. Реактив надо также испытать, смешав его с каплей 0,01% раствора азотнокислого кобальта. Когда капля будет подсыхать, в ней появятся маленькие синие призмы двойной роданистой соли кобальта и ртути, если только реактив имеет достаточную чистоту. Медь, железо и цинк не требуют той же степени чистоты реактива, как кобальт.

Приведенный выше список реактивов содержит 10 кислот и других жидкостей, не оставляющих осадка при испарении, 7 растворов солей и 12 твердых тел. Жидкие реактивы удобнее держать в пузырьках, снабженных капельницами и притертыми стеклянными пробками, объемом в 15 см^3 (рис. 15). Надо однако время от времени вынимать из пузырьков стеклянные палочки капельницы, так как эти палочки имеют склонность вследствие испарения солей „примерзать“ к горлышкам пузырьков ⁷⁰. Твердые реактивы сохраняются в цилиндрических склянках, закупориваемых пробками.



Рис. 16. Пузырек со стеклянной притертой пробкой-капельницей. Величина приблизительно натуральная.

Подробности испытаний

Цинк

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути.

Реактив: 5% раствор двойной роданистой соли калия и ртути в воде.
Продукт: двойная роданистая соль цинка—ртути $Zn(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2$, белые перистые крестики.

Предел: 0,01% раствор азотнокислого цинка ⁷¹.

Для определения цинка автор применяет только эти испытание. Другой метод (описанная Шамо реакция с углекислым натрием) дает характерные результаты при удаче, но нам он редко удавался, так как условия, при которых образуются тетраэдри цинкового карбоната, не всегда бывают налицо. Зато испытание

двойной роданистой солью калия и ртути надежно, тонко и легко поддается контролю.

Двойная роданистая соль калия и ртути ($K_2Hg(CNS)_4$) (см. стр. 126) является в микрохимии самым полезным из всех доселе известных реактивов. Он дает тонкие и надежные результаты при анализе растворов, содержащих цинк, медь, кобальт, никель, железо, серебро и золото, если в растворе находится только один металл. Реакция его на свинец менее удовлетворительна. Приводим ниже для сравнения особенности этих реакций:

Азотнокислый цинк: белые перистые кристики.

Азотнокислая медь: желтовато-зеленые моховидные пучки и округленные призмы.

Азотнокислый кобальт: индиго-синие призмы.

Азотнокислый никель: коричневые сферолиты.

Азотнокислое железо: осадка не бывает, но раствор окрашивается в красный цвет.

Азотнокислое серебро: белый творожистый аморфный осадок.

Хлористое золото: белый аморфный осадок, более студенистый, чем осадок серебра.

Азотнокислый свинец: бесцветные призмы; неудовлетворительный результат.

Уксуснокислые соли этих металлов действуют одинаково хорошо, будучи подкислены HNO_3 .

Все реакции, связанные с применением двойной роданистой соли калия-ртути, лучше всего удаляются в присутствии HNO_3 , хотя они развиваются довольно хорошо и в нейтральных растворах. Двойная роданистая соль калия и ртути не осаждает цинка, меди и пр. из щелочных растворов.

Путем последовательного разбавления раствора уксуснокислого цинка в 1% HNO_3 были сделаны испытания для определения тонкости реакции цинка. Раствор был свободен от кадмия.

1%: раствор дал слабую реакцию, но был слишком концентрирован.

В нем преобладают аморфные зерна и искривленные формы⁷².

0,5%: весьма удовлетворительный. Преобладают перистые кристики.

0,1%: весьма удовлетворительный. Преобладают более простые формы.

0,05%: удовлетворительный. Простые кристики; часто встречаются кристики со стреловидными наконечниками.

0,01%: испытание отчетливо, но требует времени. Наблюдается небольшое количество простых крестиков. Это вероятно предел допустимого разбавления.

Наиболее обычные формы воспроизведены на рис. 18.

Присутствие в изучаемом растворе кроме цинка и других металлов вышеуказанные результаты изменяет.

Железо формы кристаллов двойной роданистой соли цинка и ртути заметно не меняет, но оно окрашивает их в бледно-лиловый — пурпурово-красный цвета; цвет зависит от концентрации железа. Удобнее всего наблюдать цвет в отраженном свете. Большинство образцов сфалерита при таком исследовании оказывается содержащими большее или меньшее количество железа.

Сильно действует на цинковую реакцию медь; и тот и другой элементы стремятся образовать изоморфные кристаллы. Если один элемент количественно преобладает над другим, часть элемента преобладающего соединится со всеми частями подчи-

ненного количественно элемента и образует с ним кристаллы смешанные, а остаток преобладающего элемента образует кристаллы чистые. Уксуснокислые цинк и медь, подкисленные HNO_3 , были смешаны и исследованы $\text{K}_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$ со следующими результатами.

0,5% уксуснокислый цинк⁷³ и 0,005% уксуснокислая медь. Образуются только чисто цинковые кристаллы. Указаний на медь нет.

0,5% уксуснокислый цинк и 0,01% уксуснокислая медь. Следов меди почти нет. Некоторые из цинковых крестиков имеют в отраженном свете слабый фиолетовый оттенок.

0,5% уксуснокислый цинк и 0,02% уксуснокислая медь. Результаты те же, что и при исследовании нормального цинка, но в отраженном свете кристаллы окрашены в фиолетовый цвет; в проходящем свете почти непрозрачны. Кроме крестиков можно наблюдать более крупные кристаллы (рис. 17,а).

0,5% уксуснокислый цинк и 0,05% уксуснокислая медь. Результаты те же, что и в предыдущем случае, но цвет — свежесиневатофиолетовый. Простые крестики преобладают над перистыми (рис. 17,б).

0,5% уксуснокислый цинк и 0,1% уксуснокислая медь. Изолированные пурпуровые призм. сходные с изображенными на рис. 17,б. Кристаллы довольно прозрачны. Крестики, как и в предыдущем случае, занимают подчиненное положение.

0,5% уксуснокислый цинк и 0,25% уксуснокислая медь. Наиболее характерны изолированные призм, подобные предшествующим. Цвет фиолетово-пурпурный; некоторые непрозрачны. Крестиков не наблюдаем.

0,5% уксуснокислый цинк и 0,5% уксуснокислая медь. Пучки призм, имеющих ту же форму, что и медные соединения, но темнопурпурного цвета. Сверх того встречаются некоторые нормальные желто-зеленые медные призм (рис. 17,д).

0,25% уксуснокислый цинк и 0,5% уксуснокислая медь. Типичные медные кристаллы значительно преобладают, но сверх того наблюдаются пучки споровидных призм, непрозрачных в проходящем свете и темнопурпурных в отраженном.

0,1% уксуснокислый цинк и 0,5% уксуснокислая медь. То же, что и выше, но пучки смешанных кристаллов меньше и размерами и численностью (рис. 17,е).

0,05% уксуснокислый цинк и 0,5% уксуснокислая медь. Подобно предшествующему, но смешанные кристаллы еще менее многочисленны.

0,02% уксуснокислый цинк и 0,5% уксуснокислая медь. На цинк указаний нет.

Отсюда следует, что при помощи этого метода можно легче открыть и очень небольшой процент меди в довольно концентри-

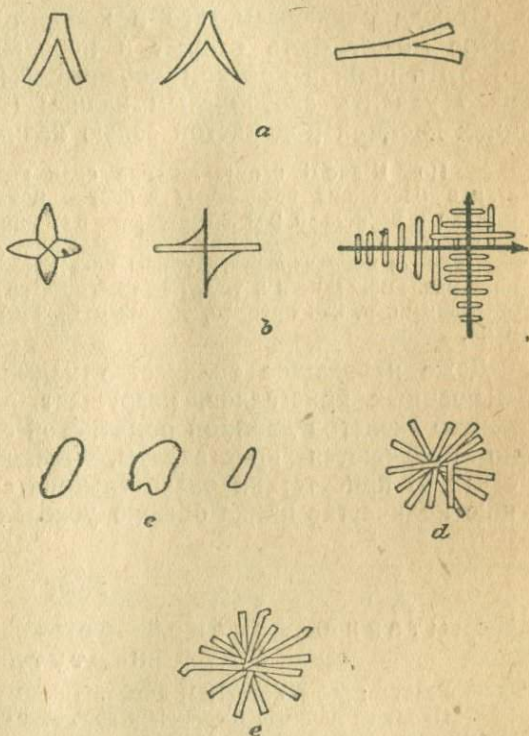


Рис. 17. Кристаллы двойной роданистой соли цинка и ртути и двойной роданистой соли меди и ртути.

рованном растворе цинка; легко открыть и присутствие небольшого процента цинка в довольно концентрированном растворе меди, хотя чувствительность испытания ниже, чем при преобладании цинка.

Кобальт и цинк тоже образуют смешанные кристаллы. Смеси азотнокислого кобальта и азотнокислого цинка дали следующие результаты:

0,5% азотнокислый цинк и 0,5% азотнокислый кобальт. Указаний на присутствие цинка почти нет. Несколько темносиних крестиков и кристаллы с v-образными очертаниями имеют формы нормального цинкового соединения. Преобладают нормальные темноголубые кобальтовые призмы.

0,5% азотнокислый цинк и 0,1% азотнокислый кобальт. Преобладают цинковые крестики. Большинство их нормально, но некоторые окрашены в синий цвет.

0,5% азотнокислый цинк и 0,05% азотнокислый кобальт. Цинковые крестики, больше ств их нормально, но некоторые окрашены в голубой цвет.

0,5% азотнокислый цинк и 0,02% азотнокислый кобальт. Нормальные цинковые крестики, из которых немногие окрашены в отраженном свете в бледно-голубой цвет. Это вероятно предел возможного разбавления кобальта.

Отсюда заключаем, что в концентрированном цинковом растворе может быть открыт и небольшой процент кобальта, но открыть цинк в крепком кобальтовом растворе нельзя. Кобальт надо удалить азотокислым калием (стр. 136) до испытания на цинк двойной роданистой солью калия и ртути.

По Шамо⁷⁴ неорганические соли кадмия дают $Cd(CNS)_2$, $Hg(CNS)_2$ в виде блестящих бесцветных вероятно ромбических призм, длина которых обычно в несколько раз значительнее их ширины, но внешний вид этих призм изменяется в зависимости от преобладающих условий в момент их формирования, как то: концентрации, глубины исследуемой капли, количества введенного реактива, кислотности и т. д. Эти вариации не делают однако испытания сомнительными, и, как правило, длинные призмы появляются порознь или группами.

Даже небольшое количество кадмия, благодаря образованию смешанных кристаллов, разрушает перистый и ветвистый характер скелетов двойной роданистой соли цинка и ртути, и обычно получают кристаллиты, имеющие форму наконечников стрел. В присутствии значительного содержания кадмия небольшие количества цинка обычно ускользают от наблюдения.

Медь

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути

Реактив: 5% $K_2Hg(CNS)_4$ в воде.

*Продукт: двойная роданистая соль меди и ртути в виде зеленовато-желтых моховидных агрегатов и призм.

Предел: 0,01% азотнокислой меди.

Испытание на медь производится точно так же, как и соответствующее испытание на цинк. Пучки мохо- или папоротникоподобных дендритов осаждаются в растворах довольно высокой концентрации. Цвет агрегата желтый с зеленоватым отливом. Если раствор крепок, образуются агрегаты игольных призм. В поляризованном свете они имеют прямое погасание. Обычно они светлозеленовато-желтые, но некоторые из более плотных

кристаллов могут быть отчетливого оливково-зеленого цвета (рис. 19).

Посторонние элементы, по крайней мере большую частью, не мешают испытанию на медь. Но медь может мешать испытанию на другие элементы. Часто желательно отделить медь от некоторых других элементов, растворенных в азотной кислоте. Сделать это можно, переведя медь в раствор при помощи капли аммиака, перенося каплю на другое место пластинки, выпаривая аммиак и вновь переводя медь в раствор при помощи азотной кислоты. Медь затем испытывается двойной роданистой солью калия и ртути, как описано выше. Если концентрация меди достаточно крепка, легко различить в аммиачном растворе характерный синий цвет, и окончательное испытание не является безусловно необходимым. Следует помнить, что никель, кобальт, цинк, серебро, мышьяк и некоторые другие элементы точно так же растворимы в аммиаке. Ни один из них повидимому не мешает испытанию на медь.

Испытание на медь двойной роданистой солью калия и ртути так удовлетворительно и так обеспечено от ошибок, что никакого другого метода и ненадобно. Ему можно поставить в упрек единственно то, что некоторые минералы, хотя они и не содержат меди, дают однако хорошие указания на нее. Хорошее испытание на медь обычно дает например висмутин. Изучающий должен быть настороже против подобных результатов и игнорировать слабые признаки меди.

Иодистый калий. Если положить кусочек иодистого калия в 1:5 HCl раствор, содержащий медь, образуется очень тонкий светложелтый аморфный осадок иодистой меди. Эта реакция очень чувствительна и полезна тем, что она часто применяется при испытаниях на другие элементы, особенно на сурьму, висмут и олово. Но прежде чем приступить к испытаниям на эти элементы, надо выделить медь. Когда появится осадок иодистой меди, лучше всего обработать первоначальный осадок последовательными каплями 1:7 HNO₃ и после прибавления каждой капли испытывать его на медь раствором K₂Hg(CNS)₄, пока не получится отрицательная реакция. Затем можно переходить к испытаниям на Sb, Bi или Sn.

Хлористый цезий. Если положить кусочек хлористого цезия в раствор 1:5 HCl, содержащий медные ионы, по краям капли образуются иглы, окрашенные в оранжевый или золотистый цвет. Этот результат, как и результат применения иодистого калия, иногда применяется в испытаниях и на другие элементы и не мешает несколько испытаниям на Sb, Bi или Sn.

Если последовательно класть кусочки KJ и CsCl в раствор 1:5 HCl, содержащий медь, образуются неправильные более или менее округленные зерна. Они непрозрачны в проходящем свете и белы в косом отраженном свете. Затем иногда образуются длинные бесцветные призмы с изломанными краями. Лучше удалить всю медь до испытания KJ и CsCl на сурьму или висмут.

Реакция на тройную азотистую соль. Реакция тройной азотистой соли описана на стр. 143. Если испытание

делается на медь, вводится свинец, преимущественно в виде раствора, содержащего 0,5% уксуснокислого свинца и 0,5% уксуснокислого натрия в 1% уксусной кислоте.

Никель

Испытание диметилглиоксимом

Реактив: 2% раствор диметилглиоксима в алкоголе плюс одинаковый объем воды.

Продукт: никелевый диметилглиоксим ($\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$).

Предел: 0,02% азотнокислого никеля.

Обычное испытание диметилглиоксимом, применяемое в качественном анализе, является наилучшим и для микрохимических испытаний. Этот реактив нерастворим в воде, но легко растворяется в алкоголе и других органических растворителях. Алкоголь растекается по пластинке, и потому его надо разводить водой. Соответственно 2% раствор этого реактива в алкоголе разводится равным объемом воды. В результате получаем 1% раствор диметилглиоксима. Раствор непрерывно осаждает белый кристаллический диметилглиоксим, опускающийся на дно и стремящийся образовать пасту. Поэтому надо избегать трясти или размешивать раствор. Кристаллы диметилглиоксима под микроскопом легко распознать, и они не затемняют испытания на никель.

Осаждение происходит в нейтральном, слабощелочном и слабом уксуснокислом растворах. В растворах HNO_3 или HCl осаждения не происходит. Кобальт замедляет образование осадка, и поэтому если присутствует много кобальта, его надо удалить, начав обработку в уксуснокислом растворе, осаждая кобальт азотистокислым калием и испытывая фильтрат диметилглиоксимом. Обычный розовый осадок вначале большей частью аморфен, но вскоре образуется войлокообразная масса мелких розовых игл. Если наблюдать их при сильном увеличении, иглы кажутся сильно плеохроичными с оттенками от бесцветного до розового. Если включить анализатор, интерференционные цвета обычно будут голубыми.

При исследовании неизвестного минерала на никель, материал растворяется в 1:1 HNO_3 или в царской водке. Осадок выщелачивается 1:7 HNO_3 , фильтрат переносится на свое место на пластинке и выпаривается на микропламени. К выпаренному осадку прибавляется капля 1% NH_4OH , для того чтобы осадить быть может присутствующее в растворе железо. Если бы железо осталось в растворе, диметилглиоксим точно так же осадил бы и его в виде красноватого осадка. Следует поэтому до исследования на никель удалить железо осаждением его аммиаком. Образующаяся при этом гидроокись железа содержит значительный процент никеля, но большая часть никеля остается в растворе. Аммиаку дают испариться. Как только капля почти подсохнет, прибавляется раствор диметилглиоксима прямо в почти испарившийся аммиачный раствор. Студенистая гидроокись железа не препятствует образованию никелевого осадка или наблюдению над ним. Если концентрация никелевых ионов очень низка, испытываемая капля может быть выпарена, и реактив, сделанный

слегка аммиачным, вводится непосредственно в осадок. Диметилглиоксим дал хорошее испытание на 0,02%, но плохое на 0,01% раствор азотнокислого никеля.

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути

Реактив: 5% $K_2Hg(CNS)_4$ в воде.

Прод. кт: двойная роданистая соль никеля и ртути ($NiHg(CNS)_4$).

Предел: 0,02% раствор $Ni(NO_3)_2$.

Двойная роданистая соль калия и ртути, введенная в 1:7 HNO_3 раствор, содержащий никелевые ионы, осаждает сферолиты светлорозовые в проходящем и белые в отраженном свете. Иногда по краям капли сначала осаждается аморфный белый порошок, но при образовании сферолитов он стремится снова раствориться. Двойная роданистая соль никеля и ртути растворимее, чем соответствующий кобальтовый осадок, и не образуется, пока капля частью не испарится. Если в растворе есть железо, то сферолиты окрашены в розовый цвет (см. рис. 20, D). При испытании на кобальт и железо часто появляются никелевые сферолиты. Таким образом эта реакция приобретает большую ценность.

Кобальт

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути

Реактив: 5% $K_2Hg(CNS)_4$ в воде.

Продукт: двойная роданистая соль кобальта и ртути ($CoHg(CNS)_4$) в индигово-синих призмах.

Предел: 0,04% раствор азотнокислого кобальта.

Испытания на кобальт производятся совершенно так же, как испытания на медь и цинк. Осадок отделяется в виде темно-синих призм, собирающихся обычно пучками (рис. 20, A). В разведенных растворах (0,05% или менее $Co(NO_3)_2$) образуются также синие сферолиты. Шамо недостаточно подчеркнул значение образования сферолитов, а Беренс и Клей обошли его молчанием. Если в растворе много никеля, двойная роданистая соль кобальта и ртути не образует призм, но появится по краю капли в виде синих сферолитов (рис. 20, C). Если пропорция кобальта к никелю относительно высока, в сферолитах различимы радиальные волокна, которые будут давать прямое погасание. При еще более высоких процентах кобальта начнут образовываться на поверхности сферолита призмы, а в конце концов получится масса расходящихся радиусами игольчатых образований, напоминающих покрытую колючками грушу. Образование сферолитов может быть вызвано и присутствием других элементов. Сферолиты образуются также, если в азотнокислом растворе двойной азотистой соли калия и кобальта делать испытание двойной роданистой солью калия и ртути.

Хотя испытание кобальта двойной роданистой солью калия и ртути имеет столь же тонкий характер, как и соответствующее испытание на медь, кобальтовое соединение отличается тенденцией к перенасыщению и часто не осаждается, пока не разовьется

в достаточной мере испарение капель. Это особенно характерно сказывается в тех случаях, когда сферолиты преобладают над призмами. Раз образовавшись однако, осадок, если прибавить к капле воду или азотную кислоту, растворяется нелегко.

Сферолиты могут появиться в разных местах капли, но чаще всего они встречаются около ее окружности. На первый взгляд может показаться, что отсутствие типичных призм и образование вместо них синих сферолитов является серьезным недостатком этого испытания. Наблюдатель однако скоро привыкает видеть в сферолитах указание на присутствие кобальта. Опыты над смесями хлористых кобальта и никеля указывают на то, что если пропорция никеля к кобальту более 1:5, то образуются только сферолиты. Если пропорция ниже 1:5, наряду со сферолитами появится несколько хорошо образованных кристаллов.

Наилучшие результаты дает относительно крепкий азотнокислый раствор (1:7 HNO_3), хотя испытание можно производить и в нейтральном слабом азотнокислом или уксуснокислом растворе. Но он не дает хороших результатов в соляной или серной кислоте. При слабой азотной кислоте осадок стремится принять не призматические, а разветвленные или мохообразные формы.

Опыты определения чувствительности кобальтовых испытаний путем последовательного разведения раствора азотнокислого кобальта дали следующие результаты:

1,0%: отличные результаты.

0,5%: даже лучше.

0,1%: результаты хорошие, но требующие минуты или двух. Кристаллы появляются по краю капли. Большая часть осадка имеет вид небольших бесформенных округленных зерен. Синий цвет является достаточно диагностичным.

0,01%: сходно с предыдущим.

0,01%: сначала появляются вдоль края синие сферолиты. Немного спустя появляются поодиночке и пучками очень мелкие иглы. Это вероятно предел возможного растворения.

Образование тройной роданистой соли кобальта, цинка и ртути описано на стр. 130. Кобальт и медь не соединяются в одних и тех же условиях для образования смешанных кристаллов, но каждый из них образует свой собственный осадок. Сначала в виде характерных желтовато-зеленых кристаллов осаждается медь, и только потом кобальт в виде синих призм и сферолитов.

Железо не влияет на образование типичных кобальтовых призм, если раствор не является относительно концентрированным. Железные ионы окрашивают роданистый раствор в красноватый цвет, но не образуют нерастворимого соединения. Смеси азотнокислых железа и кобальта в 1:7 HN_3 в разных пропорциях дали при испытании следующие результаты:

0,5% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,05% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ — нормальные кобальтовые призмы.

0,5% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,10% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ — преобладают нормальные кобальтовые призмы; встречаются более темные бесформенные зерна, имеющие однако в сильном проходящем освещении отчетливый синий цвет.

0,5% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,25% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ — кобальтовые призмы; некоторые нормальные, но большинство имеет очень темносиний цвет. Синий цвет становится заметным при сильном освещении.

0,5% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ — то же, что и предыдущее, но раствор становится очень розовым, а призмы приобретают конвертообразную форму.

0,25% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ — то же, что и предыдущее.

Большинство призм непрозрачно, но наблюдается и небольшое количество нормальных кобальтовых призм.

0,1% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ —черные, а в тонких краях синие кобальтовые призмы.

0,05% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ —раствор яркого красного цвета. Призмы от светлорозового до черного цвета. Никаких признаков синего.

0,02% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 0,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ —раствор красно-пурпуровый. Мелкие семеноподобные пурпурно-черные зерна.

0,05% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 2,5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ —очень хорошее испытание. Призмы пурпурно-черные.

0,05% $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и 5% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ —черные призмы и сферолиты.

Некоторые из тончайших призм пурпурного оттенка.

Подводя итог вышеописанным опытам, видим, что умеренная концентрация железа не мешает роданистому испытанию на кобальт, но сильная концентрация изменяет и форму и цвет осадка. Так как железо встречается в большинстве кобальтовых минералов, особенно в арсенидах, изучающий эти реакции должен привыкнуть разбираться в характере смешанных кристаллов. Испытание двойной роданистой солью калия и ртути, дающее красный раствор и пурпурно-черные призмы, требует поверочного испытания на кобальт нитрозо-нафтоловым методом или методом азотистокислого калия.

Нитрозо- β -нафтоловое испытание

Реактив: 1,5% раствор α нитрозо- β -нафтола в 50% уксусной кислоте.

Продукт: $(\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO})\text{O})_2\text{Co}$ —объемистый, аморфный красный осадок.

Предел: 0,02% CoCl_2 .

Нитрозо β -нафтол—органическое соединение, применяемое в количественном анализе для весового определения кобальта в присутствии никеля. Осадок объемист и садится быстро. Поэтому описываемый метод имеет некоторые преимущества перед нижеописываемым методом азотистокислого калия. Испытание посредством нитрозо- β -нафтола в качестве микрохимического испытания на кобальт рекомендует Мак Кинстри⁷⁵.

Реактив готовится растворением 1 г нитрозо- β -нафтола в 33 см³ холодной ледяной уксусной кислоты и прибавлением одинакового объема воды и фильтрованием. Прибавление воды значительно увеличивает поверхностное натяжение жидкости и не позволяет капле растекаться по пластинке.

Осадок кобальта по внешнему виду и характеру почти одинаков с металлическим селеном. Окраска его имеет цвет от малинового (при количествах относительно значительных) до кирпично-красного (при количествах малых). Испытание лучше всего проводить в крепких растворах соляной кислоты, так как в ней растворяется соответствующее никелевое соединение. При применении I метода смешения капель однако осадок не склеивается, а растекается по всей площади, открытой каплей. Так как осадок не собирается в определенные кристаллы в очень небольших количествах он имеет окраску неопределенную, и исследование много теряет поэтому в своей чувствительности.

Удобнее быстро выпарить определяемый раствор над микропламенем. Материал стремится собраться в виде круглого рубчика по периферии капли. Пластинка остуживается, и капля

реактива накладывается непосредственно на высушенный осадок. Вместо него образуется кольцо гораздо более объемистое, чем первоначальный осадок, имеющее малиновый—кирпично-красный цвет. Никель этому исследованию не мешает. Соответствующее никелевое соединение имеет светлую лимонно-желтую окраску и в уксусной кислоте сравнительно растворимо. По мере испарения капли никелевое соединение начинает садиться, но не закрывает уже образовавшегося красного кобальтового соединения.

Раствор, содержащий 1% NiCl_2 и 0,02% CoCl_2 , давал при помощи этого метода отличную реакцию на кобальт.

Самым сильным возражением против данного метода служит тот факт, что вместе с кобальтом целиком осаждается и железо. Осадок железа имеет шоколадно-коричневый цвет, и если оно присутствует в значительном количестве, то совершенно затемняет осадок кобальта. Поэтому до испытания на кобальт железо должно быть удалено из раствора.

Из кислотных растворов точно так же осаждаются медь и хром, но алюминий, свинец, кадмий, марганец, никель, ртуть и цинк нитрозо- β -нафтолом не осаждаются⁷⁶.

Делая раствор аммиачным, мы не отделим железа от кобальта, так как гидроокись железа имеет сильную тенденцию поглощать почти весь кобальт⁷⁷. Опыты автора подтвердили этот факт. Капля раствора, содержащего 0,5% CoCl_2 и 0,5% FeCl_3 была выпарена над микропламенем. По остужении к остатку был прибавлен концентрированный NH_4OH . Фильтрат был перенесен на другое место пластинки и выпарен досуха. Остаток был переведен в раствор 1 : 7 HNO_3 и испытан на кобальт двойной роданистой солью калия и ртути. Найдены были только следы кобальта.

Успешнее была попытка применить купферрон (см. стр. 132). Раствор, содержащий CoCl_2 и FeCl_3 , был выпарен досуха. Остаток был остужен и затем выщелочен 6% раствором купферрона, который затем тоже был выпарен досуха. Остаток был выщелочен 1 : 7 HNO_3 , и фильтрат был перенесен на другое место на пластинке и выпарен досуха. Затем остаток был остужен и выщелочен нитрозо- β -нафтоловым реактивом. Немедленно образовалось красное кобальтовое кольцо, и не наблюдалось никаких следов коричневого железного соединения. Этим способом испытывались разные пропорции смесей CoCl_2 и FeCl_3 . Раствор, содержащий 0,5% FeCl_3 и 0,05% CoCl_2 дает на кобальт хорошие результаты. Раствор, содержащий 0,5% FeCl_3 и 0,03% CoCl_2 , дал отчетливый кобальтовый осадок, но испытываемое количество было так незначительно, что автор не мог быть уверен в его цвете, который является единственным критерием для суждения об испытании.

Испытание азотистокислым калием

Реактив: твердый азотистокислый калий (KNO_2).

Продукт: азотистокислая соль калия и кобальта ($3\text{KNO}_2\text{Co}(\text{NO}_2)_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$) в небольших желтых кубках.

Предел: 0,5% $\text{Co}(\text{NO}_2)_2$.

Испытание на кобальт при помощи азотистокислого калия подробно описано проф. Шамо, Беренсом и Клейем.



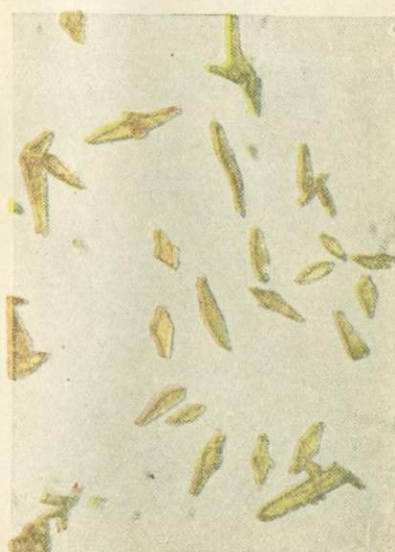
A



B



C



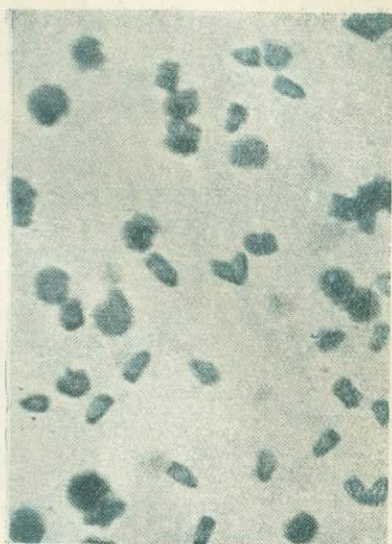
D

Рис. 19. Микрохимические испытания на медь.

A — кристаллы двойной роданистой соли ртути и меди, полученные из 0,5% раствора азотнокислой меди, $\times 130$. B — кристаллы двойной роданистой соли ртути и меди, полученные из 0,1% раствора азотнокислой меди, $\times 130$. C, D — из того же раствора, что и B.



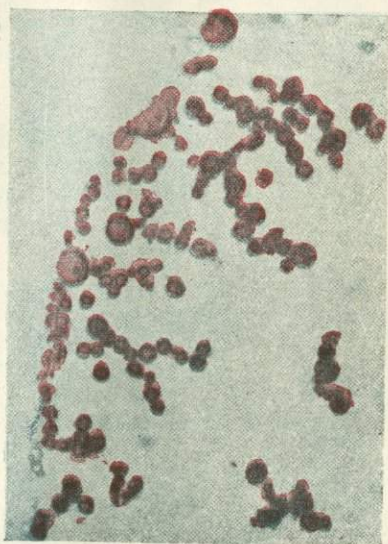
A



B



C



D

Рис. 20. Микрохимические испытания на кобальт и никель.

A — призмы двойной роданистой соли ртути и кобальта из 1% азотно-кислого раствора кобальта, $\times 130$. B — призмы и сферолиты двойной роданистой соли ртути и кобальта из раствора, содержащего 0,5% азотнокислого кобальта и 0,1% азотнокислого никеля, $\times 200$. C — сферолиты двойной роданистой соли ртути, кобальта и сферолиты двойной роданистой соли ртути и никеля из раствора, содержащего 0,5% азотнокислого кобальта и 0,5% азотнокислого никеля, $\times 210$. D — сферолиты двойной роданистой соли ртути и никеля из раствора, содержащего 0,5% азотнокислого никеля, $\times 210$.

Раствор, содержащий кобальт (обычно азотнокислый раствор), выпаривается досуха. Затем он снова растворяется в капле 1% уксусной кислоты, к которой прибавляется кусочек азотистокислого калия. Капля осторожно нагревается, но не выпаривается. Азотистокислая соль калия и кобальта отделяется в виде маленьких желтых кубов, таких крошечных, что осадок имеет как бы аморфный или тонкозернистый вид. При сильном увеличении зерна эти кажутся почти круглыми и очень похожи на зерна мышьяковолибденовокислого аммония, описанные на стр. 123.

Беренс и Клей⁷⁸ полагают, что эта реакция особенно ценна для отделения кобальта от других металлов, потому что при отсутствии элементов бариевой группы осаждается только кобальт. Высоко ценит эту реакцию Шамо. Он говорит⁷⁹: «Это испытание имеет величайшую цену в отрицательном смысле, так как неполучение плохо растворимого двойного нитрита может рассматриваться как указание на отсутствие кобальта».

Это испытание было бы весьма ценным, если бы оно было настолько надежным, как об этом говорят цитированные замечания, но автор не может согласиться с заключениями названных авторов. Результаты продолжительных опытов над кобальтовыми растворами разной крепости показывают, что испытания эти ненадежны, если концентрация кобальта ниже 0,5% азотнокислого кобальта. Налицо сильная тенденция двойной азотистой соли к перенасыщению, и она может совершенно не осадиться. Испытание это требует большого искусства в манипулировании. Кусочек KNO_3 не должен быть слишком большим, а раствор не должен перегреваться, или он начнет испаряться прежде, чем осадок успеет осесть. По этим соображениям настоящее испытание и нельзя рекомендовать как испытание на кобальт, но процедура эта в некоторых случаях может быть полезной, удаляя избыток кобальта перед испытанием раствора на другие элементы.

Железо

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути

Реактив: 5% $K_2Hg(CNS)_4$ в в. де.

Продукт: осадка не образуется, но раствор делается розовым.

Предел: 0,02% $Fe(NO_3)_3$.

Всякий роданистый раствор дает тонкую реакцию на железо. Железо как в этом, так и в других описанных у нас испытаниях должно быть в трехвалентном состоянии. Само собой разумеется, железо наверняка остается в окисленном состоянии, если изучаемый минерал будет растворен или разрушен HNO_3 или царской бодкой.

Остаток затем выщелачивается 1:7 HNO_3 , капля переносится на другое место пластинки и соединяется с каплей реактива по способу I, стр. 122. Азотнокислые растворы железа 2% или большей концентрации вблизи от линии соединения двух растворов немедленно розовеют. Если концентрация ниже 0,2% цвет может не обозначаться до тех пор, пока испытываемая капля

почти не высохнет. Розово-пурпурный цвет тогда появится на периферии капли.

Испытание это очень ценно в том отношении, что указанные явления наступают часто тогда, когда мы изучаем другие элементы. Многие минералы, содержащие 1% железа или более, нередко дадут отчетливое роданистое показание на железо, когда фактически железо даже не входит в обычные формулы этих минералов. Автор получал ясные указания на железо, например при исследовании сфалерита и халькозина. Наблюдения эти не являются возражением против данного приема, но они привлекают внимание исследователя к тому обстоятельству, что во многих рудных минералах, обычно не относимых к разряду железосодержащих, известное количество железа встречается.

Испытание железистосинеродистым калием

Реактив: твердый железистосинеродистый калий ($K_4Fe(CN)_6$).

Продукт: синий аморфный осадок (берлинская лазурь).

Предел: 0,02% азотнокислого железа или хлорного железа.

При прибавлении к раствору, содержащему железные ионы, кусочка железистосинеродистого калия последний дает характерный осадок берлинской лазури. Осадок аморфен, но по своему цвету достаточно характерен, чтобы помочь диагнозу. В проходящем свете цвет будет зеленоватый. Синий цвет заметнее всего при наклонении зеркала и наблюдении осадка в косом освещении.

Самое большое возражение против этого испытания состоит в том, что железистосинеродистый калий осаждает многие элементы, и если они есть в образце вместе с железом, синий цвет железного осадка может быть затемнен. Если преобладает например никель или кобальт, надо применить для железа какое-либо другое испытание.

Железистосинеродистое испытание действует в нейтральном и кислом растворах, но в присутствии кислоты оно гораздо чувствительное. Автор не мог получить голубого осадка при помощи нейтральных азотнокислых растворов при концентрации ниже 0,1%, но при прибавлении HNO_3 раствор мог быть доведен до 0,02% и все-таки давал удовлетворительные результаты.

Испытание протекает одинаково хорошо и в растворах 1:7 HNO_3 и 1:5 HCl . Более высокая концентрация кислот не нужна, так как реактив сам содержит железо в молекуле, и сильная кислота будет стремиться освободить его и этим затемнит испытание.

Испытание аммиаком

Реактив: раствор NH_4OH .

Продукт: студенистая гидроокись железа.

Предел: около 0,03% азотнокислого железа или хлорного железа.

Если мы прибавим аммиак к нейтральной железной соли или избыточно прибавим его к кислому раствору железа, немедленно образуется характерный желто-оранжевый осадок студенистой гидроокиси железа. Для того чтобы избежать излишнего увеличения капли, лучше всего выпаривать почти весь избыток

кислоты и затем прибавить аммиак непосредственно к еще влажному остатку (см. метод III-b, стр. 123). Остаток стремится пристать к стеклу. Его следует смыть тремя или четырьмя последовательными каплями воды, снова растворить 1:7 HNO₃ и исследовать каплю на железо кусочком железистосинеродистого калия. Этим способом железо может быть отделено от меди, никеля и многих других элементов, растворимых в аммиаке. Однако обычно осадок гидроокиси железа так своеобразен по внешнему виду, что подтверждающие испытания являются излишними.

Испытание купферроном

Реактив: 6% раствор купферрона в воде.

Продукт: аморфный осадок от оранжевого и до кирпично-красного цвета.

Пред-л: 0,03% хлорного или азотнокислого железа.

Термином купферрон пользуются для удобства обозначения аммониевой соли нитрозофенилгидроксиламина (C₆H₅N. NO. ONH₄)⁸⁰. Он количественно осаждает из очень кислых растворов окиси железа, меди, ванадий, цирконий, торий, церий, титан и четырехвалентный уран. Этот реактив растворяется в воде и аммиаке, но нерастворим в кислотах, если только нет большого избытка кислот. С точки зрения микрохимической работы купферрон может считаться нерастворим в 1:7 HNO₃ и 1:5 HCl⁸¹. При количественном анализе раствор купферрона медленно вливается в аналитический стакан, содержащий железо в крепком солянокислом растворе. Таким образом купферрон удерживается в растворе, в то время как железо осаждается. Но к купферроновому раствору не следует прибавлять кислоты, потому что тогда немедленно образуется труднорастворимый белый осадок. Это свойство можно использовать для того, чтобы из кислых растворов удалить железо. Исследуемый раствор выпаривается досуха, а затем к остатку прибавляется купферрон, осаждаются железо, медь и пр. Далее также выпаривается и капля купферрона. При выщелачивании осадка и остатка купферрона посредством HNO₃ и HCl никель, кобальт и другие элементы, не осаждаемые купферроном, растворяются, но купферрон растворяется только в незначительной своей части. Фильтрат переносится и испытывается на кобальт и другие элементы (см. стр. 136).

Осадок железа окрашен в оранжевый — кирпично-красный цвета, зависящие от количества его в растворе. Осадок этот очень похож на гидроокись железа и подобно ей стремится пристать к стеклянной пластинке. Осадок меди белого — серого цветов и кристаллизуется в ромбических иглах. Осадки ванадия, титана и урана имеют светложелтый цвет.

Растворы купферрона медленно разлагаются и обладают особым сладковатым запахом нитрозобензола. Примерно раз в месяц реактив следует сделать заново.

Итоги. Ни один из четырех описанных способов испытания на железо не осаждает элемента в определенных кристаллах. Но тем не менее, методы эти дают достаточно надежные для его определения результаты. Выбор метода зависит главным образом от того, какие другие элементы присутствуют в растворе. В кис-

рых растворах, содержащих неизвестные элементы, применяется обычно в первую очередь двойная роданистая соль калия и ртути, являющаяся поэтому самым ценным испытательным методом для железа. Испытание железистосинеродистым калием дает из всех четырех способов наиболее отчетливые результаты и может быть проделано в отсутствие других элементов, осаждаемых этим реактивом. Испытание аммиаком ценно тем, что отделяет железо от меди или никеля. Если образовавшаяся гидроокись количественно недостаточна для распознавания по своему внешнему виду, она может быть снова растворена HNO_3 или HCl и испытана на железо посредством $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.

Ртуть

Испытание на двойную роданистую соль

Реактивы: твердый азотнокислый кобальт ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и твердый роданистый калий (KCNS).

Продукт: двойная роданистая соль кобальта и ртути в синих призмах и ветвящихся формах.

Предел: 0,005 HgCl_2 в 1% HNO_3 .

Испытание на ртуть состоит в образовании двойной роданистой соли кобальта и ртути, другими словами, испытание это является обратным по отношению к описанному выше испытанию на кобальт. Ртутные соединения отличаются тем, что в HNO_3 и HCl они почти нерастворимы, но легко растворяются в царской водке. При наблюдении под микроскопом остаток (HgCl_2) имеет вполне кристаллический характер. Мы наблюдаем в нем дендриты с прямоугольными разветвлениями, часто образующие отчетливый решетчатый узор, сходный с узором азотнокислого свинца (рис. 21, C, D).

Минерал разлагается царской водкой, остаток выщелачивается 1% HNO_3 , и раствор затем переносится на пластинку. Прибавляется небольшой кусочек азотнокислого кобальта; когда он растворится, прибавляется кусочек роданистого калия. Синие призмы и дендриты укажут на присутствие ртути (см. рис. 21 A, B). Если раствор по содержанию ртути очень слаб, образование синих кристаллов запаздывает. В очень слабых растворах (например менее 0,02% HCl) синие сферолиты будут преобладать над отчетливыми кристаллами. Иногда обычно нерастворимый осадок двойной роданистой соли кобальта и ртути не образуется совсем, но когда раствор уже почти подсохнет, он приобретает темносиний цвет и начнет осаждать растворимые голубые перистые кристаллы неизвестного состава. Если к остатку прибавить каплю воды, образуется обычно темносиняя нерастворимая двойная роданистая соль кобальта и ртути.

Испытание это очень чувствительно и даже 0,005% раствор HgCl_2 дает удовлетворительную реакцию. Раствор должен быть слегка подкислен до введения в него твердых реактивов. Осадок обычно начинает садиться не сразу, так как раствор стремится к перенасыщению.

Свинец

Испытание на иодистый свинец

Реактив: твердый КJ.

Продукт: PbJ_2 ; гексагональные лимонно-желтые плеохроичные пластинки и диски.

Предел: 0,005% уксуснокислого свинца.

Это самое надежное испытание на свинец. Минерал переводится в раствор HNO_3 . В этот раствор не следует вводить хлорных ионов. Кислота тщательно выпаривается, но при минимальном нагревании, — иначе образуется относительно нерастворимая основная соль HNO_3 или даже окись. Предпочтительно пользоваться не сильной кислотой, так как даже при 1 : 1 HNO_3 часть серы окисляется и свинец осаждается в виде нерастворимого сульфата. Повторные выпаривания слабой кислоты имеют то же действие. В остатке мы нередко можем наблюдать решетчатую структуру, служащую одним из указаний на присутствие свинца (рис. 22, D). Сходный остаток дают ртутные соединения, разрушенные царской водкой. Фактически HNO_3 легко разрушает все свинцовые минералы, тогда как ртутные минералы почти совершенно инертны к ней.

Остаток выщелачивается 0,5% уксусной кислотой, капля переносится и испытывается маленьким кусочком КJ по методу III смешения капель. Происходит осаждение лимонно-желтого осадка нормального иодистого свинца⁸². Если концентрация свинцовых ионов относительно велика (0,1% $Pb(NO_3)_2$ или больше), обычно появятся хорошо оформленные гексагональные пластинки (рис. 22, A, B). Но они могут иметь также форму звезд или неправильные очертания. Если раствор очень слаб, кристаллы будут иметь форму дисков. Шамо рекомендует пользоваться слабым раствором HNO_3 .

По опытам автора оформленные кристаллы лучше осаждаются из нейтрального раствора. В проходящем свете пластинки имеют зеленовато-желтый цвет. При включении анализатора они по видимому не имеют двупреломления, но поставленные на ребро очень плеохроичны, давая эффект, весьма сходный с эффектом биотитовых пластинок. Самым лучшим испытанием является однако наблюдение их в косом свете при помощи лейтцевского № 3 или однородного с ним объектива. Пластинки хорошо отражают свет и блестят, как фольга на рождественской елке.

Так как иодистый свинец легко растворим в растворе иодистого калия, размер кусочка КJ должен быть минимальным (стр. 133). При высыхании капли по краю ее обычно появляются бесцветные иглы двойной иодистой соли $2KJ \cdot PbJ_2$. Эти иглы образуют обычно очень характерный и отличительный для свинца решетчатый узор. Исследователь быстро привыкает к этому узору и не будет принимать его за признак другого элемента, дополняющего свинец.

Двойная иодистая соль калия и свинца обычно образуется как продукт разрушения нормального иодистого свинца. По мере испарения капли, по периферии начинается разрушение желтых пластинок иодистого свинца. При продолжении выпаривания

волна разрушения продвигается к центру, пока не распадутся все пластинки нормального иодистого свинца и вместо них не появится мат из игл двойной иодистой соди. Таким образом нормальный иодистый свинец является продуктом переходным, и наблюдатель, вводя кусочек КJ в каплю, должен внимательно следить в микроскоп за реакцией; нормальный иодистый свинец может исчезнуть, не будучи замечен. Будучи разрушен, нормальный иодистый свинец не может быть заново осажден из раствора осадка. Если однако концентрация свинца по отношению к КJ высока, пластинки нормального желтого иодида могут продолжать существовать даже и после совершенного испарения капли.

Медь и висмут влияют на это испытание и вызывают образование двойных иодистых солей. Медь может быть удалена аммиаком, как описано на стр. 131, а осадок затем должен быть исследован на свинец. В присутствии висмута лучше всего испытывать свинец описанным ниже способом хлористого свинца. Шамо⁸³ говорит, что нормальный иодистый свинец может быть перекристаллизован из двойной иодистой соли свинца и висмута кипячением смешанного продукта в горячей воде. Автору процедура эта удавалась плохо. Капля так мала, что нагревание ее над огнем влечет за собою обычно полное исчезновение жидкости. Мало толку и в прибавлении уже нагретой воды, так как капля, снятая с огня, остывает слишком быстро. То же самое надо сказать и относительно перекристаллизации нормального иодистого свинца из горячей воды.

Испытание на хлористый свинец

Реактив: 1:5 HCl.

Продукт: PbCl₂, белые ромбические иглы.

Предел: 0,1% уксуснокислого свинца.

Если прибавить соляную кислоту к раствору, содержащему свинец, или растворимую свинцовую соль, выделяются характерные длинные белые игольчатые кристаллиты хлористого свинца. По Шамо⁸⁴, в растворе появляются также перистые дендритовые крестики и длинные, неправильные, с изломанными краями призмы; но по наблюдениям автора единственной формой бывает призма.

Исследователь должен приучить свой глаз к этим формам, так как они вероятно встретятся ему, когда он будет производить соляной кислотой испытание на другие элементы, в частности на сурьму и висмут. Обычно рекомендуется сделать дополнительное испытание на хлористый свинец. Это можно сделать, превратив хлористый свинец в более характерный нормальный иодистый свинец.

Хотя хлористый свинец обычно считается в воде нерастворимым, на самом деле он растворим гораздо более, чем иодистый свинец. Поэтому если высушенный остаток хлорида выщелочить водой, а каплю перенести, можно прибавлением к капле кусочка КJ осадить иодистый свинец в обычных гексагональных пластинках. Эта процедура особенно ценна при наличии висмута в рас-

творе, потому что висмут подвергнется гидролизу, образуя нерастворимую BiOCl , если к остатку BiCl_3 прибавить воду. Это единственный метод, при помощи которого автору удалось получить, если висмут присутствовал в изучаемом минерале, свободный от висмута свинцовый раствор.

Испытание на тройную азотистую соль

Реактивы: 0,5% уксуснокислой меди и 0,5% уксуснокислого натрия в 1% уксусной кислоте; твердый азотистокалиевый калий.

Продукт: тройная азотистая соль калия-меди-свинца $(2\text{KNO}_3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$ в коричневых и черных кубах.

Предел: 0,01% $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Тройная азотистая соль калия, свинца и меди гораздо менее растворима, чем простые азотистые соли этих элементов или двойные соли, образованные какой-либо их парой. Тройная азотистая соль встречается в виде коричневых—черных кубов, квадратных и прямоугольных пластинок (рис. 22, С). Пластинчатые кристаллы по большей части будут коричневыми, а кубы обычно черными. Вид этого соединения настолько характерен, что поражает глаз. Свинец или медь можно испытывать, вводя ионы одного из них. Однако испытание двойной роданистой солью калия и ртути на медь имеет такие огромные достоинства, что реакция тройной азотистой соли не нужна.

Раствор, содержащий свинец (по Шамо), для того чтобы удалить мешающие испытанию сильные кислоты, выпаривается досуха над микропламенем. Остаток берется в раствор со слабо разведенной уксусной кислотой, и в раствор последовательно вводятся кусочки уксуснокислого натрия, уксуснокислой меди и азотнокислого калия. Если в достаточной для испытания концентрации присутствует свинец, образуется облако коричневых кристаллов, расплывающееся по направлению к периферии капли. При довольно сильном увеличении (обычно Лейтц № 4 или объектив равный ему по силе) можно заметить, что преобладают кристаллы кубической формы. Чувствительность испытания может быть значительно увеличена путем введения в каплю кусочка хлористого цезия. Соответствующая тройная азотистая соль цезия, свинца и меди одинакова по внешности с калийной солью и менее растворима. С другой стороны, размер кристаллов цезиевой соли делается меньше.

Возражением против введения в раствор трех, а возможно и четырех последовательных кусочков состоит в том, что тогда будет трудно учесть количество материала, и раствор перенасыщается, прежде чем кристаллы тройной азотистой соли успеют образоваться. Автор видоизменил эту процедуру, растворя определенные количества уксуснокислого натрия и уксуснокислой меди в слабой уксусной кислоте. Все эти элементы вводились им поэтому в раствор в один прием. Опытным путем было установлено, что 0,5% уксуснокислый натрий и 0,5% уксуснокислая медь, растворенные в 1% уксусной кислоте, давали реактив, удовлетворительно действовавший на растворы азотистокалиевый свинец 0,01—1% концентрации, и на все подвергавшиеся исследова-

нию свинцоворудные минералы. Азотнокислый раствор свинца выпаривается досуха, и к остатку прибавляется капля уксуснокислого реактива. Затем в раствор вводится кусочек азотнокислого калия. Если концентрация свинца низка, осадок тройной азотистой соли может не успеть образоваться, между тем как капля почти успеет высохнуть. Если он не образовался, прибавляется еще капля 1% уксусной кислоты, а затем кусочек хлористого цезия.

Все минералы, содержащие свинец, при выпаривании до 1:1 HNO_3 стремятся образовать основной азотнокислый свинец. Эта соль относительно нерастворима в 1% уксусной кислоте и описанном выше уксуснокислом реактиве. Автор рекомендует применять следующую процедуру: возьмите минерал в растворе 1:1 HNO_3 ; выпарьте раствор досуха. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 ; перенесите каплю на другое место на пластинке и снова медленно выпарьте досуха. Затем прибавьте уксуснокислый реактив или 1% уксусной кислоты и продолжайте исследование по предыдущему. Если в растворе присутствует большее или меньшее количество сурьмы и висмута, они будут перенесены с раствором 1:7 HNO_3 , но в слабом уксуснокислом реактиве эти элементы стремятся гидролизироваться и заметно на исследовании не влияют.

Шамо (85) предполагает: „Прибавление чрезмерного количества азотистокислого калия неудобно, потому что тройная азотистая соль вполне растворима в растворах этого реактива. С другой стороны, существенно, чтобы количество его было слегка в избытке, какого требует теория. Надо поступать поэтому осторожно. Прибавьте маленький кусочек азотистокислого калия, затем, переждав несколько секунд, если кристаллы не повисят, прибавьте еще немного“.

В реакции тройной азотистой соли медь может быть замещена никелем. До открытия испытания на никель диметилглиоксимом испытание на тройную азотистую соль для определения этого элемента считалось единственно надежным. Никелевая соль $2\text{KNO}_2\cdot\text{Ni}(\text{NO}_2)_2\cdot\text{Pb}(\text{NO}_2)_2$ осаждается в виде бесцветных, желтых и светложелтых кубов гораздо меньшего размера, чем кубы медной соли. Цвет никелевой соли тоже совершенно разнится от цвета медной соли. Никелевая соль никогда не образует темнокоричневых и черных кубов, наиболее характерных для медной соли.

По мнению автора реакция тройной азотистой соли очень ценна и должна применяться каждым исследователем, работающим микрохимическими методами. Исследование это требует большого искусства в манипулировании, чем испытание на иодистый свинец. С другой стороны, тройная азотистая соль является стойким соединением и, раз образовавшись, держится и после высыхания капли, между тем как нормальный иодистый свинец имеет неустойчивый характер. Тонкость испытания на тройную азотистую соль приблизительно одинакова с испытанием на иодистый свинец. Тройная азотистая соль действует хорошо в присутствии висмута в противоположность испытанию на иодистый свинец, серьезно подрываемому присутствием такового.

Автор вообще предпочитает испытание на иодистый свинец из-за его простоты, но в случае каких-либо сомнений в надежности испытания на иодистый свинец ценным проверочным средством служит испытание при помощи тройной азотистой соли.



A



B



C



D

Рис. 21. Микрохимические испытания на ртуть.

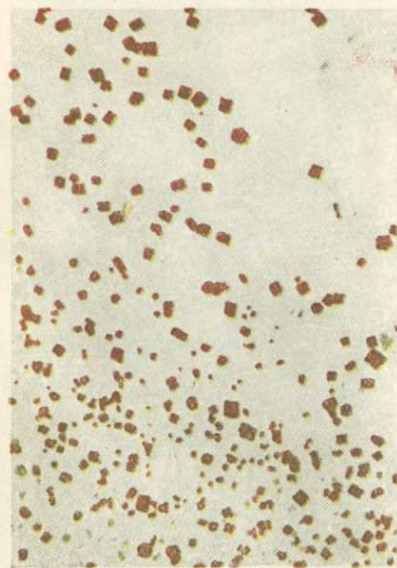
A, B — двойная роданистая соль ртути и кобальта из 0,5% раствора хлористой ртути, $\times 210$. C, D — остаток хлористой ртути. Получен путем выпаривания досуха порошка кинновэри (HgS) на стеклянной пластинке для помощи царской водки, C $\times 23$, D $\times 130$.



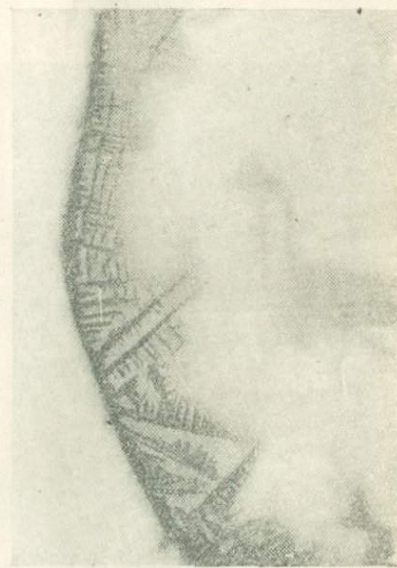
A



B



C



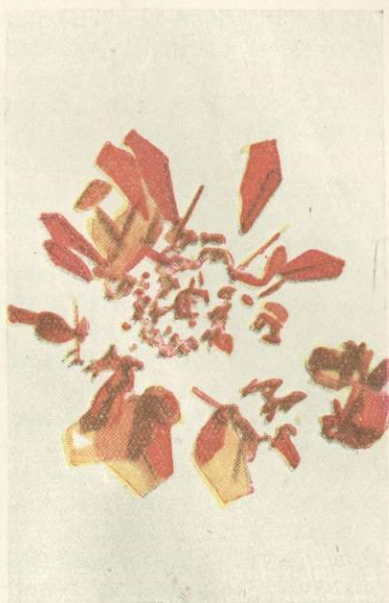
D

Рис. 22. Микрохимические испытания на свинец.

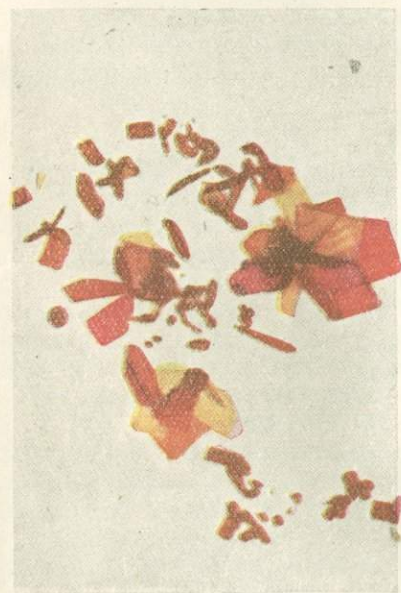
A — кристаллы подистого свинца, полученные из 0,5% раствора уксуснокислого свинца, $\times 70$. B — из этого же раствора, как и A. C — кристаллы тройной азотнокислой соли калия-свинца-меди, полученные из 0,5% раствора уксуснокислого свинца, $\times 215$. D — остаток азотнокислого свинца, полученный после выпаривания досуха капли 1:1 HNO_3 , содержащей порошок галенита, $\times 70$.



A



B



C



D

Рис. 23. Микрохимические испытания на серебро.

A — кристаллы двухромовокислого серебра, полученные из 0,5% раствора азотнокислого серебра, $\times 70$. B, C — тот же раствор, что и A. D — кристаллы двухромовокислого серебра, полученные из 0,1% раствора азотнокислого серебра, $\times 70$.

Хлористый цезий. Хлористый свинец имеет в 1:5 HCl растворимость слабую. Однако кусочек хлористого цезия, помещенный в такой раствор, начинает осаждать небольшие, но хорошо оформленные кристаллы двойной хлористой соли $PbCl_2 \cdot 2CsCl$. Обычно это короткие бесцветные призмы с прямоугольными очертаниями. Они дают бледную интерференционную окраску в поляризованном свете и параллельное погасание. Количество такого осадка незначительно, и он не мешает испытаниям на сурьму, висмут, олово и теллур.

Эту реакцию нельзя рекомендовать, как испытание на свинец, но студент должен быть с ней знаком, так как она вероятно появится при испытаниях на другие элементы.

Если последовательно помещать кусочки KJ и CsCl в раствор 1:5 соляной кислоты, содержащий свинцовые ионы, обычно образуется только что описанный двойной хлорид. Укажем на то, что нередко по краю капли наблюдаются длинные, тонкие желтые — оранжевые иглы. Они могут быть кристаллами двойного иодида, но этого нельзя сказать с уверенностью.

Двухромовокислый аммоний. Кусочек двухромовокислого аммония, помещенный в 1% раствор HNO_3 , содержащий свинцовые ионы, осаждает мягкий аморфный желтый порошок, являющийся двухромовокислым свинцом. Эта реакция часто появляется при испытании на серебро. Лучше всего проверить присутствие свинца в первоначальном остатке при помощи испытания иодистым калием. Обычно 1% HNO_3 удалит только незначительную долю свинца. На первоначальный остаток налагается капля 1:5 HCl, и затем она испаряется над микропламенем. На остаток налагается капля воды, в свою очередь выпариваемая для того, чтобы удалить последние следы HCl. Остаток остуживается и выщелачивается каплей воды; капля переносится и испытывается кусочком KJ.

Серебро

В природе встречается немало серебряных минералов, но многие из них редки. Однако самыми обильными источниками серебра являются некоторые медные и свинцовые минералы, в роде тетраэдрита, теннантита и галенита. Тщательное микроскопическое исследование этих рудных минералов указывает на то, что в большинстве месторождений серебро содержится в самой молекуле, а не в виде определенных серебряных минералов, включенных в основные металлические минералы.

Все серебряные минералы, испытанные автором, разрушались 1:1 HNO_3 , но обработка некоторых из них была сопряжена со значительными трудностями. Пираргирит например требует обычно наложения 10 последовательных капель серной кислоты, испаряемых досуха над микропламенем, прежде чем мы получим достаточный для исследования материал в растворенном виде. Очень важно не вводить в этот материал хлорных ионов, так как хлористое серебро осаждается немедленно и, раз образовавшись, не может уже быть разрушено последующей обработкой серной кислотой. Поэтому при переносе материала с полированного сульфида на стеклянную пластинку, спичка должна быть

смочена дистиллированной водой, а не прикосновением к языку, так как слюна содержит значительное количество хлористого натрия, достаточное для того, чтобы осадить часть серебра при введении спички в испытываемую каплю. Азотная кислота должна быть проверена на отсутствие хлорных ионов путем вливания небольшого ее количества в раствор азотнокислого серебра. Если заметна в какой-либо мере облачность, раствор должен быть оставлен. Эти предосторожности излишни, если испытание ведется с целью получения хлористого серебра.

Испытание двуххромовокислым аммонием

Реактив: твердый двуххромовокислый аммоний ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Продукт: двуххромовокислое серебро в виде рубиново-красных триклинных кристаллов; иногда также хромовокислое серебро в рубиново-красных ромбических кристаллах.

Предел: 0,02% AgNO_3 .

Минерал растворяется в 1:1 HNO_3 . Излишняя кислота тщательно выпаривается, но остаток перегревать не следует. Он выщелачивается 1% HNO_3 . Капля переносится на другое место на пластинке и испытывается кусочком двуххромовокислого аммония по методу III смешения капель. Серебро отделяется, как двуххромовокислая соль и хромовокислая соль. Оба соединения имеют рубиново-красный цвет. Двуххромовокислая соль является триклинной, и ее пластинки имеют в поляризованном свете косое погасание. Хромовокислая соль является ромбической и имеет прямое погасание. Двуххромовокислая соль мало плеохроична или совсем не плеохроична, а хромовокислая соль имеет сильный плеохроизм; тонкие хромовокислые пластинки окрашены в кроваво-красный цвет, когда удлинение их параллельно плоскости поляризации, и в желтый цвет, когда оно перпендикулярно к ней. Обычно, если раствор азотнокислого серебра чист, двуххромовокислая соль преобладает над хромовой. В присутствии серной, селеновой или теллуровой кислот и других посторонних ионов серебра стремится осесть в виде хромовокислой соли. Двуххромовокислая соль имеет удивительное разнообразие форм, некоторые из которых изображены на рис. 23. Отличительными критериями служат цвет кристаллов и их растворимость в аммиаке. При более слабой концентрации серебра следует пользоваться очень маленьким кусочком двуххромовокислого аммония, как раз достаточным для того, чтобы сообщить части капли слабую желтую окраску.

Когда капля почти выпарена, желтоватый остаток двуххромовокислого аммония обычно затемняет красноватые серебряные соединения и надо прибавить каплю 1% HNO_3 , чтобы снова вернуть в состояние раствора избыток двуххромовокислого аммония. После своего образования оба серебряных соединения нерастворимы в слабой азотной кислоте.

Медь не мешает испытанию двуххромовокислой солью на серебро, если только она не присутствует в значительно большем, чем серебро, количестве. Автор не мог провести двуххромовокислого испытания на серебро, изучая тенантит, показывавший в пробе 1% серебра. Некоторые фрейбергские образцы давали однако на

серебро хорошую двуххромовокислую реакцию. Но в нашем распоряжении нет анализов этих образцов. Раствор, содержащий 2,5% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и 0,05% AgNO_3 , дал хорошую реакцию на серебро, но раствор, содержащий 2,5% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и 0,025% AgNO_3 , дал реакцию отрицательную.

Свинец осаждается, как хромовокислая соль, обычно в виде аморфного желтого порошка. Он не препятствует образованию красных кристаллов двуххромовокислого и хромовокислого серебра, но обилие желтого порошка может замаскировать наблюдение над серебряными кристаллами. Раствор, содержащий 0,5% $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и 0,05% AgNO_3 , дал хорошие результаты испытания двуххромовокислой солью на серебро. Ни один из образцов серебра содержащего галенита, испытанных автором, не дал положительного результата при испытании двуххромовокислой солью на серебро.

Испытание на серебро двуххромовокислым аммонием дает хорошие результаты, и, если концентрация серебра относительно высока, испытание протекает эффектно. Некоторые растворы, с другой стороны, повидимому понижают чувствительность испытания в значительной степени. Сверх того, для того чтобы провести опыт как следует, требуются значительная сноровка и опыт. Мы уже говорили об одном источнике ошибок, а именно о введении в испытуемую каплю хлорных ионов. Другой нередкой ошибкой начинающих является смешение самого двуххромовокислого аммония с серебряным соединением. Двуххромовокислый аммоний оранжевый и хорошо растворим, между тем как серебряное соединение красное и, раз образовавшись, очень стойко в 1% HNO_3 . Для того чтобы убедиться в том, что наблюдатель видит серебряное соединение, он должен дать капле испариться почти досуха а затем прибавить к остатку капли 1% HNO_3 . Двуххромовокислый аммоний растворится опять, а имевшиеся кристаллы двуххромовокислого и хромовокислого серебра не изменятся.

Но опять-таки надо подчеркнуть, что если концентрация серебра низка (менее 0,1% AgNO_3), кристаллы двуххромовокислого серебра будут очень мелки, иглоподобны, но обыкновенно неправильны и будут образовываться по краю капли (рис. 23, D). Цвет этих кристаллов является главным критерием. Если кристаллы очень мелки, цвет их лучше всего наблюдать в косоотраженном свете.

Начинающий должен приготовить 0,02% раствор AgNO_3 в 1% HNO_3 и доказать свое искусство, повторно проделывая испытание, пока не начнет получать постоянные положительные результаты.

Испытание на хлористое серебро

Реактивы: 1:5 HCl и концентрированный NH_4OH .

Продукт: хлористое серебро в виде очень мелких бесцветных кубических кристаллов.

Предел: 0,02% AgNO_3 .

Минерал разлагается химически последовательным наложением капель 1:1 HNO_3 . На сухой остаток налагается капля 1:5 HCl . Все присутствующее серебро немедленно осаждается в виде хлористого серебра.

Хлористое серебро растворимо в воде и в кислотах так плохо,

что оно является совершенно аморфным. Но его можно заставить кристаллизоваться путем растворения в концентрированном аммиаке и выпаривания раствора. По мере выпаривания по периферии капли начинают образовываться маленькие бесцветные кубические с очень высоким преломлением кристаллы хлористого серебра, и осаждение продвигается к центру, пока капля не высохнет. Если концентрация серебра сравнительно высока, кристаллы могут принять комплексные формы, например сочетать комбинации куба и гексоктаэдра, куба и октаэдра и реже тетраэдра. При наблюдении с 4-мм объективом многие из этих кристаллов замечательно красивы. Часто можно наблюдать треугольные и псевдогексагональные пластинки. Если концентрация серебра относительно слаба, преобладают более простые формы. Куб является наиболее характерной из этих форм, но нередко образуются и октаэдры.

Некоторые элементы, а именно медь и теллур, имеют вредное влияние на испытание. Медь заставляет осадок садиться в виде очень мелких скелетообразных кристаллов. Если таковые появились, надо сделать испытание на медь. Если медь будет найдена, испытание на серебро должно быть повторено, а хлористое серебро должно быть выщелочено последовательным наложением капель 1:7 HNO_3 , продолжающимся до тех пор, пока капля не перестанет давать испытания на медь при введении роданистой соли калия и ртути. Тогда хлористое серебро должно быть для удаления азотной кислоты выщелочено каплей воды и растворено в аммиаке.

Если теллур входит в раствор, хлористое серебро должно быть выщелочено последовательным наложением капель 1:5 HCl , а каждая капля взята и исследована посредством кусочка CsCl . Если капля с хлористым цезием не даст немедленно осадка, хлористое серебро достаточно свободно от теллура для испытания на серебро. Затем хлористое серебро промывается каплей воды и переводится в раствор NH_4OH . Закисные ртуть и свинец представляют два других обычных элемента 1 группы (качественный анализ), осаждаемых ионами хлора. Оба в аммиаке не растворяются. Хлористая ртуть чернеет; хлористый свинец превращается в нерастворимый гидрат, обычно псевдоморфно сохраняющий иглоподобные формы хлористого свинца. В прежнее время автор предпочитал выщелачивать хлористое серебро аммиаком и переносить для наблюдения аммиачную каплю на другое место на пластинке. Но потом оказалось, что лучше оставлять каплю аммиака на первоначальном остатке: при такой процедуре как будто образуются более крупные и лучше сформированные кристаллы. Чтобы избежать смешения между белыми частицами первоначального остатка и кристаллами освобожденного серебра, капле аммиака придается достаточный размер, чтобы она несколько распространилась за край остатка. Затем микроскоп направляется на край аммиачной капли, и исследователь следит, пока не образуются первые кристаллы хлористого серебра.

Подвергнутый анализу образец теннантита из Бонанца (Колорадо) оказался содержащим 1% серебра. Он был испытан по вышеописанному методу и дал хорошо сформированные кубы AgCl .

Автор не был однако в состоянии получить удовлетворительное испытание на хлористое серебро, сделав раствор, содержащий по 0,5% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и AgNO_3 в воде. При прибавлении к раствору HCl серебро дало обильный аморфный белый осадок. Этот осадок был смыт пятью последовательно наложенными каплями 1:7 HNO_3 и одной каплей воды. При растворении в NH_4OH вновь осажденные формы были мелкими, черными и скелетообразными. Этого расхождения автор объяснить не берется.

Смеси $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и AgNO_3 были испытаны по этому методу. Хлористый свинец связывает часть образовавшегося хлористого серебра и этим несколько (хотя и несущественно) понижает чувствительность испытания. Раствор, содержащий 0,5% $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и 0,05% AgNO_3 дал хорошо сформированные кубы. Раствор, содержащий 0,5% $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и 0,025% AgNO_3 , дал при испытании отрицательные результаты. Несколько образцов галенита, ассоциированного с серебряными минералами, исследованные по тому же методу, все дали на серебро отрицательные результаты.

Нередко случается, что при испарении аммиачной капли осаждаются мелкие черные бесформенные зерна. Вообще говоря, это вероятно зерна хлористого серебра, но при отсутствии определенных изометрических форм осторожнее считать испытание неопределенным.

Испытание при помощи хлористого серебра не дает того удовлетворения, какое получается при испытании двуххромовокислой солью. Кристаллы малы и бесцветны. И тем не менее небольшой опыт с применением описываемого метода сообщает удивительную уверенность в нем, благодаря исключительному химическому поведению хлорного серебра. Испытание это чувствительнее двуххромовокислого, но его главная ценность заключается в том факте, что серебро может быть отделено от элементов, в частности свинца, мешающих двуххромовокислому испытанию. Рекомендуется поэтому ознакомиться с испытанием на хлористое серебро поближе, хотя для большинства целей испытание при помощи двуххромовокислой соли и является наилучшим.

Решительным указанием на присутствие серебра является творожистый белый осадок, внезапно появляющийся при введении капли соляной кислоты. Этот осадок должен быть очищен подходящими кислотами и подвергнут дальнейшему испытанию при помощи аммиака.

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути

Реактивы: 5% $\text{K}_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$ в воде.

Продукт: творожистый белый аморфный осадок (KCNSAgCNS).

Предел: 0,02% AgNO_3 .

Минерал разлагается 1:1 HNO_3 . Остаток выщелачивается каплей 1:7 HNO_3 , капля переносится на пластинке на другое место и соединяется с каплей двойной роданистой соли калия и ртути (метод I смешения капель). Образуется облачный белый осадок. Реакция эта полезна в том отношении, что тот же осадок получается попутно в испытаниях на другие элементы. Насколько автору из-

вестно, никакой другой элемент не дает при применении двойной роданистой соли калия и ртути подобного осадка. Но если он и появится, присутствие серебра должно быть подтверждено испытанием двуххромовокислой солью.

Испытание двойной роданистой солью калия и ртути на серебро бывает особенно удачным в присутствии меди. Осадок серебра садится прежде осадка меди и может быть наблюдаем в виде подковообразной волны белых зерен, распространяющихся впереди медного осадка. Серебряный осадок лучше всего наблюдать в косом отраженном свете.

Золото

Золотых минералов в природе немного. Наиболее обычный из них — самородное золото. Его легко распознать на полированных поверхностях по цвету и способности разрезаться. Если площадь слишком мала для царапания, травление поможет отличить золото от халькопирита.

В золотосодержащих минералах всего чаще встречается теллур. Это почти единственный элемент, встречающийся в природе в комбинации с золотом. Селенид золота известен, но встречается крайне редко. Теллуридов золота много, и большинство их содержит большее или меньшее количество серебра. Минералы эти нехарактерны по своей внешности, и потому обычно желательно подтвердить их определение при помощи микрохимических испытаний.

Теллуриды легко разлагаются 1:1 HNO_3 . Остаются густая, белая, аморфная теллуристая кислота и металлическое золото. Теллуристая кислота обычно покрывает и затемняет золото. Эта кислота однако обычно легко растворима в 1:5 HCl , и золото можно распознать по цвету, наблюдая его в косом отраженном свете. Для распознавания его всего лучше подходит объектив Лейтца № 3 или объектив другой фирмы такого же увеличения. Этого достаточно, чтобы определить золото в большинстве испытаний.

В тех случаях, когда желательно подтверждающее испытание, золото может быть растворено при помощи царской водки. Но прежде чем начинать эту операцию, надо убедиться в том, что весь теллур из раствора удален. Первоначальный остаток должен быть выщелочен последовательным введением капель 1:5 HCl , и каждая капля должна быть испытана кусочком хлористого цезия, пока осадок не прекратится появляться сразу (см. стр. 162). Затем накладывается капля царской водки, и золото растворяется. В остатке получается хлорное золото (HAuCl_4); оно окрашено в сранжевый цвет и легко растворяется в воде. К остатку прибавляется капля воды. Когда остаток растворен, капля переносится на другое место на пластинке и испытывается при помощи одного из двух нижеследующих методов.

Испытание на двойную роданистую соль пиридина и золота

Реактив: 1 объем пиридина в 9 объемах 40% HBr .

Продукт: $(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH})\text{AuBr}_4$; плеохроичные кристаллы.

Предел: 0,02% раствор $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Наиболее удовлетворительным испытанием на золото является образование двойной бромистой соли золота и пиридина. Заслуга открытия этого испытания принадлежит Патнэму, Робертсу и Селчу, его описавшим (см. стр. 115). Золото растворяется одной или несколькими каплями царской водки, а избыток кислоты выпаривается. Остаток выщелачивается каплей воды, капля переносится на другое место на пластинке и соединяется с каплей реактива по методу I. Если золото есть в растворе в достаточной концентрации, то образуется хорошо кристаллизующийся осадок. Форма кристаллов несколько изменяется с концентрацией. В умеренно концентрированных растворах преобладают призмы.

В слабых растворах кристаллы имеют форму листочков и перистую, часто они располагаются от периферии радиально внутрь капли (рис. 24).

Кристаллы чрезвычайно плеохроичны, меняясь от оранжевого до каштанового цветов, если удлинение перпендикулярно к вибрационному направлению нижнего николя, и от безцветного до бледножелтого цвета при параллельном положении. Крайний плеохроизм является диагностическим признаком соединения. Кристаллы моноклинны или триклинны, а максимальное погасание составляет примерно 10° к призме. Названные выше авторы утверждают, что нижеследующие элементы в течение 10 мин. при 0,02-молярном растворе, не дают реакции сами по себе, и присутствие их порознь или в совокупности не влияет заметно на формирование золотого соединения: Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg (окись), J; In; Ir; La; Mg; Mn, Mo, Ni, Os, PO_4 , Pd, Pt, Ru, Se, Sn (окись), Te; Th; Ti; UO_2 ; V; W, Zn и по аналогии, основанной на периодической системе, B, Li, Na, K, Rb, Sr, Sb.

В обыкновенных условиях может дать осадок и аналогичное свинцовое соединение. Это соединение характеризуется длинными, похожими на траву, бесцветными, неплеохроичными кристаллами, и поэтому сильно отличается от соответствующего золотого соединения. Большая часть свинца, когда остаток выщелачивается водой после первоначальной обработки царской водкой, остается в осадке в виде хлопистого свинца. Названные авторы утверждают, что свинец можно удержать в растворе путем прибавления $NaBr$ к исследуемой капле, до соединения с ней реактива.

Это испытание на золото особенно ценно потому, что присутствие теллуристой кислоты не мешает ему. Предел растворения по наблюдениям автора равняется приблизительно 0,02% хлорного золота.

Опыты, производившиеся над растворами азотнокислого свинца разных концентраций, указывают на то, что раствор пиридина и HBr вызовет осаждение из 0,05% или более концентрированного раствора $Pb(NO_3)_2$. Осадок этот недостаточно характерен и по своему внешнему виду и по свойствам для того, чтобы его можно было считать хорошей реакцией на свинец, но наблюдатель должен как следует ознакомиться с этим соединением, так как оно может появиться при испытании на золото.

Испытание хлористым оловом

Реактив: 5% SnCl_2 в 1:5 HCl .

Продукт: металлическое золото (кассиев пурпур).

Предел: 0,1% хлорного золота.

Минерал растворяется в 1:1 HNO_3 . Металлическое золото обычно отделяется и может быть распознано по своему цвету. В случае нужды однако делается подтверждающее испытание по следующему способу: растворите остаток в царской водке. Образуется красновато-коричневое треххлорное золото. Растворите его в капле воды и перенесите каплю. Испытайте каплю раствором хлористого олова, пользуясь методом 1. Там, где растворы приходят в контакт, образуется осадок очень тонко распыленного металлического золота. Он распространяется расширяющейся полосой по направлению к периферии испытываемой капли. Осадок этот аморфен и окрашен в красновато-голубоватые оттенки. Наиболее ярким является пурпуровый цвет (кассиев пурпур).

В сходных условиях селеновая кислота дает красный осадок, а теллурическая кислота тусклочерный порошок. Надо признать, что эта реакция оставляет много желать в смысле тонкости и единообразия в наружном виде осадка. Однако она действительна и в присутствии других элементов. Мы описываем его здесь потому, что данная реакция может наступить при испытании на селен. Все следы теллуристой кислоты должны быть удалены до начала реакции на золото.

Реакция с азотнокислым таллием, описанная Беренсом и Клейем, малонадежна и ее следует избегать.

Мышьяк

Рекомендуемые в учебниках микрохимии реакции на мышьяк могут быть сведены к следующим.

1. Получение мышьяковистого водорода. Это испытание очень рекомендует Шамо. Оно является видоизменением обычного испытания Марша на мышьяк, применяемого в качественном химическом анализе. Способ этот бесспорно очень чувствителен, но он требует довольно сложного аппарата⁶⁶, потому мы и обходим его в нашем обзоре, а кроме того описанное ниже испытание при помощи молибденовокислого аммония весьма удовлетворительно и может быть сделано на стеклянной пластинке.

2. Образование мышьяковокислого серебра. Красные кристаллы, образованные путем прибавления азотнокислого серебра к раствору соли мышьяковой кислоты, характерны, но исследуемый раствор должен быть почти нейтральным; сверх того многие другие элементы мешают исследованию.

3. Образование аммониево-магниево-мышьяковой соли мышьяковой кислоты. В количественном анализе обычно применяется именно этот способ. Беренс и Клей рекомендуют его в качестве микрохимического испытания. Зерно уксуснокислого магния прибавляется к раствору аммиачной соли мышьяковой кислоты. Образующиеся при этом кристаллы бесцветны, но характерны по своей форме⁶⁷. Опыт автора показывает, что это испытание требует узко ограни-



Рис. 24. Кристаллы двойного бромистого пиридинового золота, $\times 250$. Цветная пластинка Agfa.

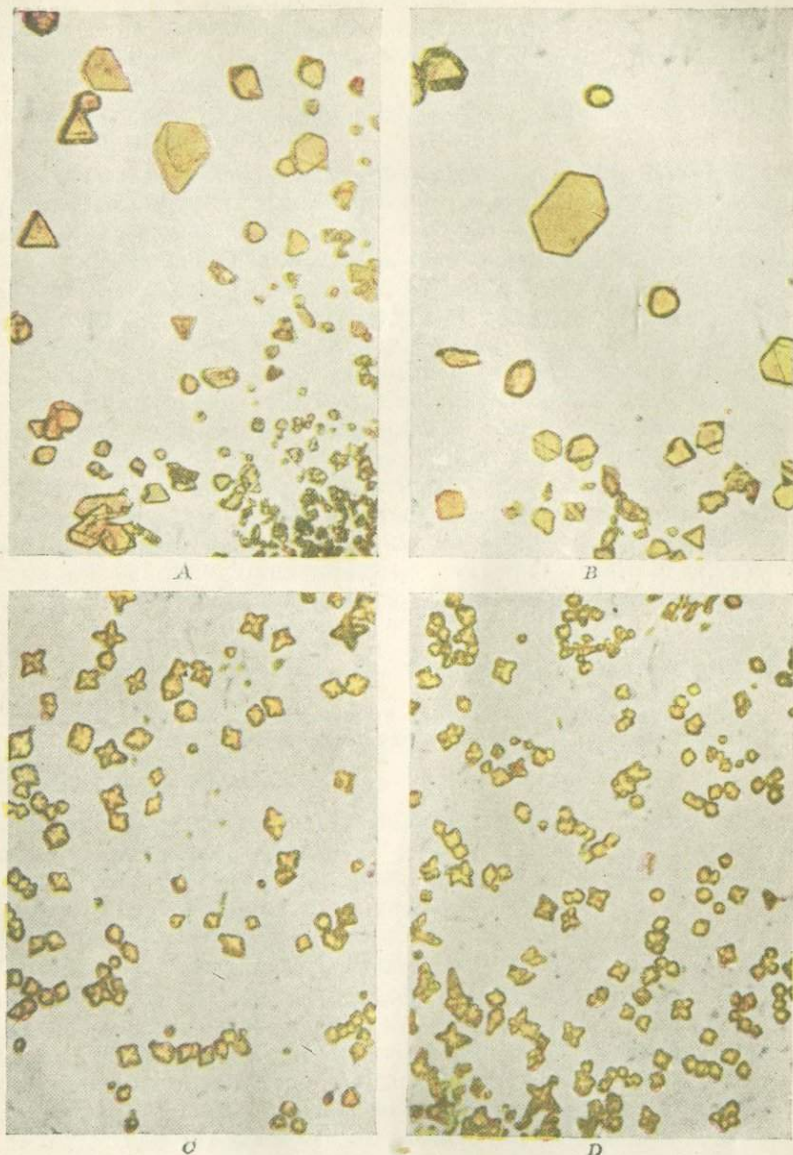


Рис. 25. Микрохимические испытания на мышьяк и теллур.

А — кристаллы хлоротеллуристого цезия, полученные из 1:5 HCl раствора, содержащего 1% Te, $\times 70$. В — из того же раствора, что и А. С — кристаллы мышьяково-молибденовокислого аммония, полученные из 0,5% раствора мышьяковокислого аммония в 1:7 HNO₃, $\times 215$. D — из того же раствора, как и С.

ченных условий. Хотя оно чувствительно и удачно производилось на 0,01% растворе аммиачной соли мышьяковой кислоты, кристаллы, при этом образующиеся, были тупыми квадратными призмами, а не своеобразными конвертоподобными кристаллами, описанными Беренсом и Клейем, получавшимися только в относительно концентрированных растворах. Испытание это требует щелочных условий и потому менее удобно, чем испытание, протекающее в кислых растворах.

4. Образование мышьяково-молибденовокислого аммония. Это испытание аналогично фосфорному испытанию, применяемому в качественном анализе. По Беренсу и Клейю оно гораздо ниже только что описанного испытания при помощи аммониево-магниево-мышьяковой соли мышьяковой кислоты, но опыт автора приводит его к совершенно другому заключению. Испытание молибденовокислым аммонием вполне удовлетворительно, и его можно рекомендовать по следующим соображениям. Оно по меньшей мере также чувствительно, как и испытание при помощи аммониево-магниево-мышьяковой соли мышьяковой кислоты и дает хорошую реакцию с 0,01% аммониевой или натровой соли мышьяковой кислоты; оно действует в крепких кислотных растворах; получающиеся при этом кристаллы имеют желтый цвет и характерны по своей форме; испытанию мешают только два элемента (фосфор и кремний); шкала условий, охватываемых этим испытанием, очень значительна, и его можно считать гарантированным от ошибок.

Испытание молибденовокислым аммонием

Реактив: 1,5% молибденовокислый аммоний в 1:7 HNO_3 .

Продукт: мышьяково-молибденовокислый аммоний в мелких желтых кубических кристаллах.

Предел: 0,01% $(\text{NH}_4)_2 \text{AsO}_4$.

Минерал разлагается на стеклянной пластинке путем последовательного наложения капель 1:1 HNO_3 или царской водки. Мышьяковые соединения разлагаются царской водкой вообще легче, чем азотной кислотой, но если приходится исследовать и сурьму, то лучше пользоваться HNO_3 . Обе кислоты имеют сильное окисляющее действие и переводят мышьяк в пятивалентное состояние.

Остаток выщелачивается каплей 1:7 HNO_3 . Сурьма остается в осадке, мышьяк растворяется как мышьяковая кислота H_3AsO_4 . Капля переносится на новое место на пластинке и медленно выпаривается на микропламени. Когда капля почти высохнет, к остатку прибавляется 1,5% раствор молибденовокислого аммония. Затем этот раствор мы выпариваем на высоте по крайней мере 10 см над микропламенем; пластинка то вводится в полосу нагрева, то выводится из нее до тех пор, пока выпаривание не закончится. После высушивания избыток молибденовокислого аммония растворяется путем введения в остаток капли 1:7 HNO_3 . Если в изучаемом растворе присутствует мышьяк, появляются маленькие желтые октаэдры мышьяково-молибденовокислого аммония (рис. 25 С, D). Эти кристаллы кубической системы. Преобладают октаэдры, но с ними обычно комбинируются другие кубические формы, например триаксоктаэдры. Обычно кристаллы очень малы, и

часто в такой мере приближаются к форме шара, что индивидуальных фигур нельзя бывает и различить. Двойники обычны, особенно по типу шпинеля, а присутствие мелких крестиков заставляет предполагать наличие других систем, кроме кубической. Кристаллы эти в поляризованном свете однако изотропны. Отличительным признаком служит светлый лимонно-желтый цвет, лучше всего наблюдаемый в косом свете с объективом Лейтца № 4 или 8-мм объективом Бауш и Ломба; зеркало рефлектора отклоняется в сторону, чтобы устранить проходящее освещение. Кристаллы эти легко растворяются в NH_4OH , но перекристаллизации поддаются плохо.

Мышьяково-молибденовокислый аммоний в холодных растворах осаждается медленно и только частично — в противоположность соответствующему фосфорному соединению, осаждающемуся в тех же условиях быстро и полностью. Фосфор содержит лишь немногие рудные минералы, имеющие металлический блеск, если таковые вообще есть.

Согласно Беренсу и Клейю висмут образует осадок, одинаковый по виду с соответствующим мышьяковым соединением. Автор не может подтвердить этого утверждения. Испытания, проведенные на разных концентрациях азотнокислого висмута, при той же самой процедуре, как и испытание на мышьяк, не дали никакого осадка.

Кремневая кислота при выпаривании минерала досуха с HNO_3 удаляется начисто; нерастворимый SiO_2 из раствора выделяется.

Испытание на мышьяк молибденовокислым аммонием не влияет на ход обычных испытаний на другие элементы. Например, после того как описанное испытание на мышьяк уже сделано, изучаемый раствор может быть испытан на кобальт или медь путем наложения капли двойной роданистой соли калия и ртути непосредственно на 1 : 7 HNO_3 раствор, содержащий избыток молибденовокислого аммония (метод III-а, стр. 130 и 133). Фактически двойные роданистые соли кобальта и ртути или меди и ртути образуют, по удалении мышьяка из раствора, лучшие кристаллы, чем в его присутствии.

Сурьма и мышьяк обычно ассоциируются, но при помощи азотной кислоты раз'единить их нетрудно. Обычно, делая испытание на мышьяк, заодно делают его и на сурьму. Если в минерале есть висмут, это вскрыется при испытании на сурьму.

Для того чтобы осадить мышьяково-молибденовокислый аммоний, в растворе должен присутствовать значительный избыток молибденовокислого аммония. Если однако молибденовокислый аммоний присутствует в слишком большом количестве, часть его выделится раньше мышьяково-молибденового аммония и затемнит его. Предпочтительнее поэтому пользоваться раствором молибденовокислого аммония определенной силы, чем вводить в раствор твердый реактив. Испытание может происходить в кислом или нейтральном растворах, но кристаллы мышьяково-молибденовокислого аммония всего характернее образуются в растворе азотной кислоты. Опыты над растворами разной силы показали автору, что 1,5% раствор молибденовокислого аммония в 1 : 7 HNO_3 является наиболее удовлетворительным реактивом.

Испытание иодистым калием

Реактив: твердый KJ.

Продукт: трииодистый мышьяк (AsI_3), аморфный желтый порошок.

Предел: 0,02% $(NH_4)_3 AsO_4$ в 1:5 HCl.

Минерал разлагается посредством 1:1 HNO_3 или царской водки. Остаток выщелачивается каплей 1:5 HCl. Капля переносится на другое место на пластинке. В каплю кладется кусочек KJ. Если в растворе есть мышьяк, образуется аморфный осадок, окрашенный в желтый—оранжевый цвета. Цвет мышьякового осадка похож на цвет осадка иодистой меди, но имеет более темный оттенок желтого цвета. Цвет его всего лучше наблюдать в косом отраженном свете с 16-мм объективом.

При растворах большей концентрации, чем 0,10% $(NH_4)_3 AsO_4$, осаждение происходит немедленно; при более слабой концентрации осадок садится по краю капли на несколько секунд позднее.

В тех же самых условиях сурьма окрашивает каплю в желтый цвет, но не дает осадка.

Иодистое испытание не так наглядно, как молибденовокислородное испытание на мышьяк, но очень чувствительно, и с ним нередко приходится встречаться при производстве реакций с двойной иодистой солью цезия на сурьму или висмут.

Испытание на двойную иодистую соль цезия

Реактив: твердый KJ и CsCl.

Продукт: двойная иодистая соль мышьяка и цезия ($AsI_3 \cdot 3CsI$) в оранжевоокрашенных гексагональных или бесформенных зернах.

Предел: 0,02% $(NH_4)_3 AsO_4$ в 1:5 HCl.

Минерал разлагается 1:1 HNO_3 или царской водке. Остаток выщелачивается каплей 1:5 HCl, и испытываемая капля переносится. Сначала прибавляется кусочек KJ, а потом CsCl. KJ дает аморфный осадок, как это было описано в предыдущем испытании. Когда кусочек CsCl введен в раствор, осадок иодистого мышьяка замещается темным оранжевоокрашенным осадком, вероятно представляющим собой двойную иодистую соль мышьяка и цезия. Он обычно аморфный, но если концентрация мышьяка относительно высока, в дополнение к аморфному осадку образуются иногда оранжевоокрашенные шестиугольники. Эти шестиугольники по форме и цвету одинаковы с гексагональными пластинками соответствующего сурьмяного соединения (см. стр. 158). Испытание это следовало бы считать замечательно хорошим по отношению к мышьяку, если бы не было опасности смешения его с испытанием на сурьму.

В противоположность сурьме хлористый цезий один не дает осадка на мышьяк, поэтому при испытании на сурьму следует прибавлять к раствору хлористый цезий ранее иодистого калия. Для различения между мышьяком и сурьмой имеет большое значение тот факт, что мышьяк из раствора HCl осаждается даже одним иодистым калием. При появлении желтого осадка иодистого мышьяка первоначальный остаток надо выщелочить последовательным наложением капель 1:7 HNO_3 , чтобы весь мышьяк

удалить до испытания на сурьму. По удалении мышьяка можно испытывать первоначальный остаток на сурьму, выщелочив его каплей 1 : 5 HCl. Остаток переносится, и к нему прибавляется кусочек KJ. Если образуется желтый аморфный осадок, то это значит, что мышьяк еще присутствует, и очищение не закончено. Если осадок не образуется и раствор окрашивается в желтый цвет, мы заключаем о присутствии сурьмы. В этом можно убедиться, прибавив кусочек CsCl. Появление оранжевоокрашенных шестиугольников укажет тогда на присутствие сурьмы, а не мышьяка. Если желтый осадок после введения KJ не появится и раствор не пожелтеет, присутствие сурьмы по методу двухиодистого цезия нельзя будет доказать, потому что оранжевоокрашенные гексагоны могут означать либо мышьяк, либо сурьму. Процедуру испытания следует повторить, применяя испытание на сурьму посредством двухлористого цезия (стр. 157).

Наблюдения эти можно резюмировать следующим образом: один KJ дает при мышьяке аморфный желтый осадок.

Один KJ при сурьме не дает осадка. Он окрашивает умеренно концентрированный раствор в светложелтый цвет, но никак не влияет на разведенный раствор.

Один CsCl при мышьяке не дает осадка.

Один CsCl дает при сурьме очень отчетливый осадок.

Реакция двойной иодистой соли цезия еще не отмечена в литературе. Автор считает это по известным выше соображениям упущением. Ясное понимание ее при исследовании мышьяковых и сурьмяных минералов имеет однако весьма существенное значение.

Сурьма и висмут

Микрохимические реакции на сурьму и висмут так сходны, что для различения между ними нужна опытность. Если в раствор входит один из этих двух элементов без другого, затруднения при определении не бывает. Если налицо оба элемента, они стремятся образовать изоморфные кристаллы. Считаем поэтому наиболее удобным описывать оба элемента совместно.

Соединения висмута легко растворяются в HNO_3 , образуя азотнокислую соль $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. Она останется в растворе даже при слабых концентрациях HNO_3 , но в отсутствии кислот гидролизуетса водой, осажая основную азотнокислую соль BiONO_3 . Эти висмутовые соединения легко растворяются в 1 : 5 HCl, образуя BiCl_3 . Хлористая соль также гидролизуетса чистой водой и осаждаёт BiOCl . При испытании на висмут рудный минерал, его содержащий, сначала разлагается 1 : 1 HNO_3 . Полученный азотнокислый висмут растворяется 1 : 5 HCl, так как нижеописанные микрохимические испытания развиваются лучше в растворе соляной, чем азотной кислоты.

Сурьма отличается от висмута тем, что ее соединения растворяются в азотной кислоте нелегко. Соединения сурьмы почти без исключения легко разлагаются 1 : 1 HNO_3 , причем сурьма окисляется в Sb_2O_5 , представляющую собой белый порошок, относительно плохо растворимый в 1 : 7 HNO_3 , но к сожалению раство-

римый достаточно, чтобы дать микрохимическую реакцию на сурьму. Нельзя поэтому быть уверенным в том, что азотная кислота отделил сурьму и висмут в осадке, полученном путем выпаривания с 1 : 1 HNO_3 досуха соединения, содержащего оба элемента. Sb_2O_5 легко растворима в 1 : 5 HCl . В первой капле обычно растворяется не вся сурьма; к тому же самому осадку можно прибавлять последовательные капли, получая реакцию на сурьму в каждой из них. Если поэтому в первой капле сурьмы для удовлетворительной реакции слишком много, что сказывается появлением густого аморфного осадка, вторая или третья капля 1 : 5 HCl наложенная на первоначальный остаток, обычно вызовет при повторении того же испытания появление хорошо образованных кристаллов.

Для сурьмы и висмута рекомендуются следующие микрохимические испытания: а) образование двойной хлористой соли с цезием ($\text{SbCl}_3 \cdot 3\text{CsCl}$ или $\text{BiCl}_3 \cdot 3\text{CsCl}$) и б) образование двойной иодистой соли с цезием ($\text{SbI}_3 \cdot \text{CsCl}$ или $\text{BiI}_3 \cdot \text{CsCl}$). Оба эти метода имеют свои преимущества и недостатки. Если налицо в том же самом соединении и сурьма и висмут, рекомендуется применять эти методы, соединяя выгодные стороны каждого из них.

Испытание на двойную хлористую соль

Реактив: твердый хлористый цезий (CsCl).

Продукт: двойная хлористая соль цезия и сурьмы (или висмута) $\text{SbCl}_3 \cdot 3\text{CsCl}$ в виде бесцветных пластинок с высоким преломлением.

Предел: 0,0. % раствор SbCl_3 ; 0,0. % раствор BiCl_3 .

Минерал разлагается при погружении его в каплю 1 : 1 HNO_3 и выпаривается досуха. Остаток выщелачивается в капле 1 : 5 HCl , капля переносится на другое место на пластинке, и в раствор вводится кусочек CsCl (метод III).

Сурьма образует звездоподобные кристаллы и гексагональные пластинки, некоторые с радиальными спицами. Образующиеся кристаллы по построению одинаковы с формами двойной иодистой соли (см. стр. 158). Кристаллы двойной иодистой соли сильно окрашены, тогда как кристаллы двойной хлористой соли прозрачны и бесцветны. Большая часть осадка двойной хлористой соли аморфна. Наилучше образованные кристаллы находятся по краю массы, в то время как центр массы содержит обычно бесформенные зерна с более или менее одинаковыми измерениями.

Висмут образует прозрачные ромбы, похожие на спайные осколки кальцита (см. рис. 27, С). В дополнение к ромбам иногда образуются кристаллы, имеющие форму лепестков и ножевых лезвий, реже шестиугольные пластинки, похожие на соответствующие сурьмяные соединения. В растворах, содержащих висмут, одни только шестиугольники никогда однако не наблюдались, за исключением очень разжиженных растворов хлористого висмута (0,02 % или менее BiCl_3). Присутствуют также почти неизменно и ромбы.

Двойная хлористая соль висмута и цезия неизменно образует очень тонкие прозрачные пластинки. Они так тонки, что в поляризованном свете почти не обнаруживают двупреломления. По временам они почти невидимы в обыкновенном свете, но легко

обнаруживаются благодаря их преломлению. Поднимая и опуская объектив, можно сделать заметной линию Бекке. Пластинки эти однако хорошо отражают свет и иногда имеют радужную окраску вследствие интерференции между волнами, отраженными от верхней и нижней поверхностей. Это явление заметно в поляризованном свете, и его эффект был ошибочно принят за двупреломление. Оно исчезает, если косой свет загоразивается от стеклянной пластинки рукою или каким-либо предметом. Висмутовое соединение имеет более сильную тенденцию к кристаллизации, чем соответствующее сурьмяное соединение, и аморфные зерна встречаются в нем редко.

Суммируем изложенные наблюдения: бесцветные гексагоны, звезды и бесформенные зерна указывают на сурьму; очень тонкие, бесцветные ромбы, листочки и лезвия — на висмут.

Когда присутствуют и сурьма и висмут, подчиненный элемент комбинируется с частью преобладающего элемента для образования изоморфных кристаллов. Остаток преобладающего элемента образует кристаллы, характерные для этого элемента. Изоморфные кристаллы имеют особенности, чуждые обоим составным элементам.

Растворы хлористой сурьмы в 1 : 5 HCl и хлористого висмута в 1 : 5 HCl были смешаны в разных пропорциях, испытаны CsCl и дали нижеследующие результаты:

0,5% $SbCl_3$ и 0,01% $BiCl_3$.—Сурьмяные шестиугольники и бесформенные зерна. Признаков висмута нет.

0,5% $SbCl_3$ и 0,02% $BiCl_3$.—То же, что и в предыдущем случае.

0,5% $SbCl_3$ и 0,03% $BiCl_3$.—Сурьмяные звездочки, шестиугольники и бесформенные зерна. Признаков висмута нет.

0,5% $SbCl_3$ и 0,06% $BiCl_3$.—Звездообразные кристаллы, некоторые значительного размера. Они несомненно содержат и сурьму и висмут, так как нехарактерны ни для одного из них.

0,5% $SbCl_3$ и 0,12% $BiCl_3$.—Великолепные звездообразные кристаллы с разветвлениями.

0,5% $SbCl_3$ и 0,25 $BiCl_3$.—То же, что и в предыдущем случае,—и несколько больших белых шестиугольников с ребрами.

0,5% $SbCl_3$ и 0,5% $BiCl_3$.—Комплексные звездообразные и древоподобные кристаллы.

0,25% $SbCl_3$ и 0,5% $BiCl_3$.—То же, что и в предыдущем случае; характерны также висмутовые ромбы

0,12% $SbCl_3$ и 0,5% $BiCl_3$.—Обилие ромбов; звездочек меньше, многие кристаллы являются семеобразными, неправильными зернами.

0,06% $SbCl_3$ и 0,5% $BiCl_3$.—Обилие ромбов; „семян“ меньше. „Семена“ имеют высокое преломление и имеют вокруг себя очень заметную черную линию. Некоторые из них оформлены лучше и кажутся плосколежащими гексагональными призмами. Обилие неправильных форм.

0,03 $SbCl_3$ и 0,5% $BiCl_3$. Ромбы значительно преобладают, но обильны и „семена“.

0,15% Sb и 0,5% $BiCl_3$.—Обилие висмутовых ромбов; отсутствие признаков сурьмы.

Начинающий должен составить один или несколько вышеописанных смешанных растворов и испытать их CsCl для того, чтобы освоиться с внешним видом смешанных кристаллов.

Испытание на двойную иодистую соль

Реактив: твердый иодистый калий (KJ) и твердый хлористый цезий (CsCl).

Продукт: двойная иодистая соль сурьмы (или висмут.), в виде оранжевых—красных шестиугольников и звезд.

Предел: 0,01% раствор $SbCl_3$; 0,005% раствор $BiCl_3$.

Минерал разлагается при внесении его в каплю 1 : 1 HNO_3 и выпаривании полученного раствора досуха. Остаток выщелачивается в капле 1 : 5 HCl , и капля переносится на другое место на пластинке. Маленький кусочек иодистого калия кладется на одну сторону капли. Если налицо хлористые сурьма или висмут, 0,10% или большей концентрации, часть раствора, примыкающая к кучочку иодида, окрашивается в светложелтый цвет. Висмут сообщает раствору более темную желтую окраску, чем сурьма. Если одного из этих элементов нет или таковой присутствует в концентрации, слабее 0,10% хлористой соли, раствор не окрашивается.

Маленький кусочек KJ растворился, кусочек CsCl кладется к противоположной стороне капли. Там, где растворы приходят в соприкосновение, желтый цвет исчезает и двуиодистые сурьма или висмут осаждаются в виде шестиугольников или звезд. Сурьмяное соединение имеет оранжевую окраску, а висмутовое—розово-красную (рис. 26 и 27, А и В). Наиболее обильны шестиугольники, но сурьма очень часто дает звездочки. Обычными формами висмутовых осадков бывают шестиугольники, причем некоторые из них вытянуты. Это составляет ясно выраженный контраст к соответствующей двойной хлористой соли цезия и висмута. В тех случаях, когда в растворе бывает висмут, а сурьма совершенно отсутствует звездочки попадают редко.

Если раствор в отношении сурьмы является концентрированным, или если в растворе есть соединения, мешающие испытанию, например мышьяк, теллур или серная кислота, первый осадок сурьмы будет вероятно иметь форму неправильно округленных зерен. Некоторые из этих зерен обычно будут играть роль сердцевин или ядер, около которых происходит последующая кристаллизация хорошо образованных шестиугольных пластинок. Эти ядра имеют более темный цвет, чем тот материал, который нарастает на них позднее. Если количество сурьмяного остатка значительно, агрегат имеет отчетливый красноватый цвет, почти одинаковый с цветом висмутового соединения. Если кристаллы сурьмы плотны, они тоже могут быть красными, и их можно принять за висмутовые. Это самый значительный недостаток испытания посредством двойной иодистой соли. В косом отраженном свете кристаллы сурьмы точно так же красны. Начинаящие делают ошибки при определении цвета кристаллов. При наличии навыка затруднение почти исчезает: от окончательного определения по плотным, более или менее равномерно развитым кристаллам мы уклонимся и будем искать более тонких и более пластинчатых шестиугольников и звездочек. Начиющему рекомендуется иметь под рукой растворы SbCl_3 и BiCl_3 в 1 : 5 HCl и при случае проверять свою способность различать цвета.

Кристаллы висмута постояннее по своему характеру, если в растворе достаточно иодистой соли, висмутовые шестиугольники всегда красны. Немногие из рудных минералов содержат и сурьму и мышьяк. Минерал обычно разлагается 1 : 1 HNO_3 , а затем выщелачивается тремя последовательными каплями 1 : 7 HNO_3 . Такая обработка удаляет почти весь мышьяк, почти всю медь и другие более основные минералы. Тем не менее очень трудно удалить последние следы мышьяка.

Соединения, содержащие одновременно и мышьяк и висмут, в природе редки или отсутствуют совершенно.

Испытание на двойные иодистые соли производилось в растворах SbCl_3 в 1 : 5 HCl и BiCl_3 в 1 : 5 HCl , смешиваемых в разных пропорциях.

Получены были следующие результаты:

0,5% SbCl_3 и 0,01% BiCl_3 .— Обычные оранжевые шестиугольники и звездочки, характерные для сурьмы; следов висмута нет.

0,5% SbCl_3 и 0,02% BiCl_3 .— Преобладают оранжевые шестиугольники, но встречается и небольшое количество красных шестиугольников.

0,5% SbCl_3 и 0,03% BiCl_3 .— Преобладаю оранжевые звездочки и шестиугольники, но встречаются и красные звездочки и шестиугольники. Можно думать, что красные звездочки указывают на присутствие и сурьмы и висмута.

0,5% SbCl_3 и 0,06% BiCl_3 .— То же, что и в предыдущем случае. Оранжевые шестиугольники преобладают над красными,

0,5% SbCl_3 и 0,12% BiCl_3 .— То же, что и в предшествующем случае, но красные шестиугольники многочисленнее.

0,5% SbCl_3 и 0,25% BiCl_3 .— Видны только красные висмутовые шестиугольники. Следов сурьмы нет.

По мере возрастания пропорции висмута в растворе действие сурьмы на характерные особенности смешанных кристаллов сокращается и наконец сводится на-нет.

Из этих наблюдений можно сделать следующие выводы:

1. Если в растворе присутствуют только сурьма или только висмут, удовлетворительны и реакции на двойные иодистые соли и реакция на двойные хлористые соли. Однако цветовой эффект двойной иодистой соли заставляет отдать предпочтение этому испытанию.

2. Если присутствуют и сурьма и висмут, а преобладает висмут, на присутствие сурьмы укажет только реакция на хлористые соли.

4. Небольшое количество висмута в присутствии большого количества сурьмы открыть можно, но небольшое количество сурьмы в присутствии большого количества висмута открыть нельзя.

5. Если мы предполагаем присутствие обоих элементов, надо прибегнуть к двум реакциям и на двойные хлористые соли и на двойные иодистые соли.

Мышьяк вызывает процесс осаждения, одинаковой по характеру с процессом двойной иодистой соли сурьмы и цезия. Средства для различения между мышьяковым и сурьмяным соединениями рассмотрены на стр. 155.

Олово

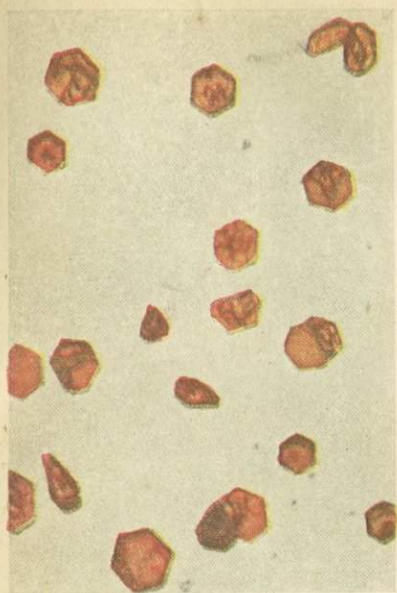
Испытание хлористым цезием

Реактив: твердый хлористый цезий.

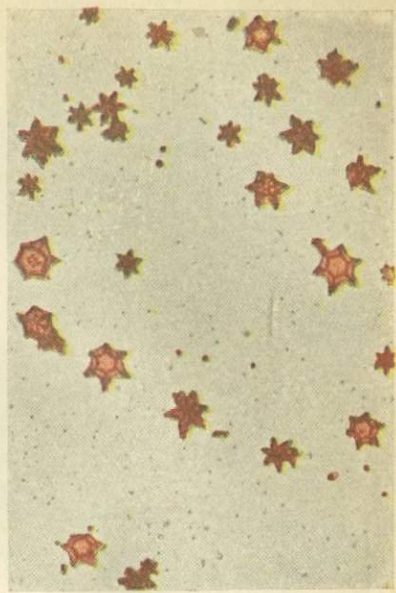
Продукт: цезиевый хлоростаннат (CsSnCl_6) в бесцветных, сильно преломляющих октаэдрах.

Предел: 0,01% SnCl_2 .

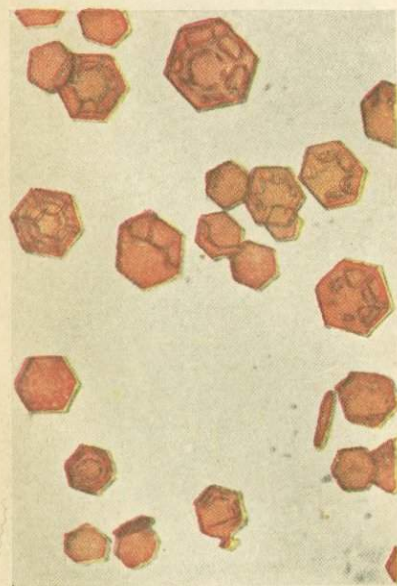
Испытание на олово ведется так же, как и на сурьму хлористым цезием. Минерал разлагается 1 : 1 HNO_3 . Остаток для удаления растворенных нитратов выщелачивается тремя последовательными каплями 1 : 7 HNO_3 , а затем для удаления оставшихся следов HNO_3 , капель воды. Олово остается в остатке. Оно выщелачи-



A



B



C



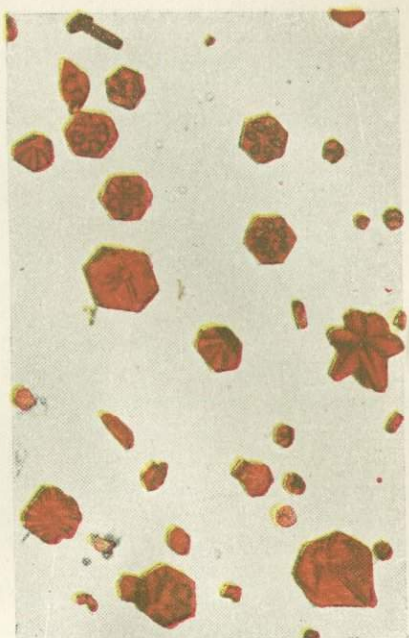
D

Рис. 26. Микрохимические испытания на сурьму.

A, B, C, D — кристаллы иодистых сурьмы-цезия, полученные из 0,5% раствора хлористой сурьмы в 1:5 HCl, $\times 130$.



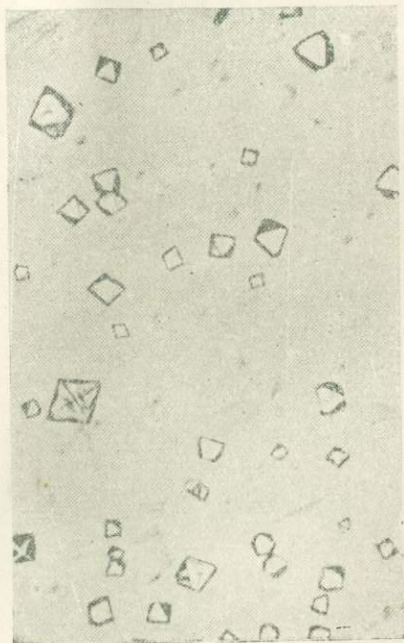
A



B



C



D

Рис. 27. Микрохимические испытания на висмут и олово.

A, B — кристаллы двойной иодистой соли висмута-цезия, $\times 250$. C — кристаллы хлористых висмута-цезия, $\times 75$. D — кристаллы хлористой соли олова-рубиния, $\times 145$.

зается каплей 1 : 5 HCl, капля переносится на другое место на пластинке и испытывается кусочком CsCl (метод III). Остаток из бесцветных сильно преломляющих октаэдров указывает на присутствие олова (см. рис. 27 D).

Одна капля 1 : 5 HCl обычно не растворит всего олова в остатке, и к нему надо последовательно прибавить три или четыре капли, причем каждая дает хорошую реакцию на олово.

Соединения олова подобно соединениям сурьмы в азотной кислоте не растворяются, и олово окисляется в метаоловянную кислоту (H_2SnO_3). Последняя представляет белый аморфный порошок, растворяющийся в HCl и образующий хлорное олово ($SnCl_4$). Когда кусочек хлористого цезия (или рубидия) кладется в раствор хлорного олова, — нерастворимые соединения цезиевого (или рубидиевого) хлоростанната осаждаются в виде бесцветных кристаллов кубической системы, представленных почти неизменно октаэдрами. Для того чтобы дать реакцию, олово должно быть четырехвалентным. Испытывая вышеназванный раствор $SnCl_4$, мы прибавляли для того, чтобы окислить олово в $SnCl_4$, несколько капель перекиси водорода.

Если олово приходится исследовать отдельно, автор предпочитает в качестве реактива хлористому цезию хлористый рубидий. Октаэдры рубидиевого хлоростанната всегда крупнее и лучше образованы, чем октаэдры соответствующего цезиевого соединения. Чувствительность испытания хлористым рубидием по видимому не ниже, чем чувствительность испытания хлористым цезием⁸⁸. Соль цезия более нерастворима, чем соль рубидия, и образует более мелкие кристаллы, требующие часто для определения 4-мм объектив.

С другой стороны, хлористый рубидий не является хорошим реактивом для определения сурьмы и висмута. Поэтому делая систематический ряд испытаний над неизвестным минералом, лучше пользоваться хлористым цезием. Если присутствует олово, то образуется осадок, а если таковой неудовлетворителен, поскольку идет речь о формах индивидуальных кристаллов, испытание может быть повторено при помощи хлористого рубидия.

Осадок иногда так мелкозернист, что формы индивидуальных кристаллов неразличимы. Это указывает, что олово не было вполне окислено до четырехвалентного состояния. Для исправления этого обстоятельства опускаем каплю царской водки на первоначальный остаток и выпариваем его досуха. Остаток выщелачивается каплей 1 : 5 HCl, капля переносится на другое место на пластинке и испытывается, как и раньше, кусочком хлористого рубидия.

Сурьма не образует с оловом изоморфного соединения. При испытании минерала, содержащего и сурьму и олово, сурьма образует характерные оранжевые шестиугольники двойной иодистой соли, а олово рядом с сурьмяными гексагонами образует бесцветные октаэдры (см. подробное описание испытаний франкента и цилиндрита на стр. 194 и 196).

Учебники Шамо и Беренса и Клейя утверждают, что если кусочек иодистого калия растворен в оловосодержащем растворе, цезиевый осадок будет окрашен в желтый цвет. Автор настоя-

щей книги не согласен с этим мнением. В условиях, здесь описанных, октаэдры останутся бесцветными.

Свинец образует с цезием двойную соль, похожую на соль олова. Большая часть свинца удаляется выщелачиванием первоначального осадка 1 : 7 HNO_3 и переносом капли. Прибавлением HCl остальной свинец превращается в PbCl_2 почти нерастворимый в HCl . Если однако свинец присутствует в минерале, лучше всего прибавить к HCl раствору до прибавления CsCl кусочек KJ . Двойная иодистая соль цезия и свинца образует оранжевые иглы, которые не мешают формированию соли олова.

Описанное выше испытание на олово весьма удовлетворительно во всех отношениях. По своему внешнему виду октаэдры эффектны. Все оловянные сульфосоли, встречающиеся в природе, легко разлагаются HNO_3 . Касситерит (SnO_2) нерастворим, и чтобы придать ему растворимую форму, его надо сначала сплавить с содой. Сплавленный шарик потом раздробляется и растворяется в нескольких каплях 1 : 5 HCl в небольшой пробирке или тигельке в роде описанного Шамо⁸⁹. Капля этого раствора втягивается в капиллярную трубку и выдувается на стеклянную пластинку. К капле прибавляется кусочек CsCl . Присутствие NaCl , вызванное разложением в HCl избытка Na_2CO_3 , не мешает образованию соли олова. Конечно, количество касситерита, нужное для удовлетворительного испытания на олово, в несколько раз превосходит количество сульфосолей.

Теллур

Испытание хлористым цезием

Реактив: твердый хлористый цезий (CsCl).
Продукт: хлоротеллуристый цезий (CsTeCl_6).
Предел: 0,01% Te в 1,5 HCl .

Минерал разлагается 1 : 1 HNO_3 . Остаток выщелачивается каплей 1 : 5 HCl . Затем капля переносится и испытывается кусочком хлористого цезия по методу III. Осаждаются хорошо образованные лимонно-желтые кубические кристаллы. Если концентрация теллура невысока, по краю капли начнут образовываться кристаллы, и осаждение будет развиваться к центру ее.

В концентрированных растворах в осадке преобладают октаэдры. В более низких концентрациях чаще встречаются псевдогексагональные пластинки и треугольники. Ни пластинки, ни треугольники не обнаруживают двупреломления и вероятно являются кубическими (рис. 25, А, В). Вышеуказанный состав кристаллов может быть, по мнению Беренса и Клейя, подтвержден путем введения в центр капли небольшого кусочка KJ . Если этот кусочек очень мал, кристаллы окрашиваются в коричневый цвет, но если прибавить более значительные его количества, кристаллы совершенно разрушаются, и образуется осадок из мелких аморфных коричневых зерен.

Главная трудность испытания на теллур состоит в растворении минерала. Следует применять для этого минимальную температуру, иначе вместо нормального соединения $\text{H}_2\text{TeO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ образуется безводная теллуристая кислота (H_2TeO_3). Эта безводная разность едва растворима даже в сильнейших кислотах.

Настоящее испытание во всех отношениях весьма удовлетворительно. Оно и просто и надежно, а продукт, при нем получаемый, весьма характерен.

Испытание это плохо развивается в нейтральных или слабых кислотных растворах. Крепость изучаемой кислоты определена опытным путем: 0,5 г металлического теллура клали в аналитический стакан, содержащий 20 см³ 1:1 HNO₃ и затем раствор выпаривался досуха в паровой ванне. Белый порошок H₂TeO₃ в HNO₃ растворялся в 17 см³ 1:1 HCl. После растворения к раствору прибавлялись 33 см³ воды, и в результате получался 1% теллура в 1:5 HCl.

Испытание иодистым калием

Иодистый калий, прибавленный к раствору, содержащему H₂TeO₃, осаждает очень мелкий аморфный коричнево-шоколадный порошок, состоящий частью из четырехиодистого теллура (TeI₄) и частью из металлического теллура. Тотчас по прибавлении KJ осадок садится на том месте, куда введен кусочек KJ; затем осадок распространяется расширяющимся кольцом по направлению к периферии капли. Осадок в центре капли растворяется снова, образуя жидкость в проходящем свете со своеобразным зеленоватым оттенком. Жидкость окружена кольцом коричневого осадка. Реакцию эту нелегко описать, но она очень характерна и достаточно увидеть ее один раз, чтобы навсегда ее запомнить.

Точно такую же реакцию с KJ дает и селенистая кислота. Ее осадок имеет более светлый оттенок коричневого цвета, чем соответствующий теллуристый осадок, и если осаждаемое количество невелико, преобладающий тон окраски может быть розоватым или оранжевым. Неопытный наблюдатель должен однако сделать подтверждающие испытания на свежей капле испытуемого раствора (растворителем конечно является 1:5 HCl). К капле сначала прибавляется кусочек CsCl. Если образуется осадок из кубических кристаллов медово-желтого цвета, в растворе есть теллур. Если осадка не образуется, капля препарата смешивается с каплей раствора хлористого олова (см. стр. 156), кирпично-красный осадок укажет на селен.

Все здесь описанные аморфные осадки лучше всего наблюдать в косом отраженном свете с 16 мм объективом.

Иодистая реакция на теллур особенно ценна, потому что теллур встречается иногда при испытаниях на другие элементы. На эту реакцию и приходится, главным образом опираться при определении теллура и селена в систематической схеме анализа, описанной на стр. 170.

Селен

Испытание хлористым оловом

Реактив: 5% раствор SnCl₂ в 1:5 HCl.

Продукт: металлический селен, кирпично-красный порошок.

Редел: 0,05% S. O₂ в воде.

Красный цвет самородного селена очень характерен и, если мы его получим, не нужно никакого дополнительного испытания для подтверждения присутствия этого элемента. Большинство селенидов легко разлагается азотной кислотой. Металлический селен осаждается обычно немедленно, наблюдать его лучше всего в косом свете. По осаждении его нельзя растворить ни азотной кислотой, ни царской водкой. Некоторые соединения в роде клаусталита осаждают часть металлического селена, но большая его часть растворяется, как селенистая кислота (H_2SeO_3).

Обычная процедура такова: разложите минерал 1:1 HNO_3 и выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Красный оттенок в остатке будет указывать на селен. Чтобы убедиться в этом, перенесите фильтрат и смешайте с ним каплю 5% раствора $SnCl_2$ (метод 1). Селен осядет в виде кирпично-красного порошка. Это испытание весьма удовлетворительно, но осадок аморфный, и лучше, поэтому, пользоваться большим количеством материала, чем при испытании на теллур. Обычно достаточна площадь на минерале 0,35 мм в диаметре. Золото, ртуть и теллур, если они присутствуют в растворе, осядут одинаково, но они редко затемнят красный цвет осадка.

Испытание иодистым калием

Реактив: твердый иодистый калий (KJ).

Продукт: иодистый селен (SeJ_4), красновато-коричневый порошок.

Предел: 0,02% SeO_2 в воде.

Минерал разлагается повторным наложением 1:1 HNO_3 . Часть селена обычно осаждается в виде металлического селена, а остальная часть его образует кислоту H_2SeO_3 , остающуюся в виде белого порошка после выщелачивания раствора. Остаток по выпаривании выщелачивается каплей 1:5 HCl , и капля переносится. В центр капли кладется кусочек KJ. Немедленно осаждается красновато-коричневый аморфный осадок SeJ_4 , расплывающийся по направлению к периферии капли в виде расширяющегося кольца (см. описание соответствующего испытания на теллур, стр. 163). Цвет очень похож на цвет соответствующего Te осадка, но имеет более светлый коричневый оттенок.

Хотя иодистая реакция на селен чувствительнее, чем реакция хлористым оловом, цвет иодистого осадка менее характерен, чем цвет металлического элемента. Иодистое испытание ценно потому, что с ним иногда приходится встречаться при испытании на другие элементы, в частности сурьму, висмут и олово.

Хлористый цезий с селенистой кислотой не дает осадка, и это является лучшим средством для отличия селена и теллура. При получении иодистого осадка лучше растворить большее количество материала в 1:5 HCl . Обычно в остатке получается достаточно селенистой и теллуристой кислоты от предыдущего испытания, чтобы на этом материале получить другую удовлетворительную реакцию для соответствующего элемента. Если это не удалось, следует растворить новый минеральный порошок в 1:1 HNO_3 и выщелочить остаток каплей 1:5 HCl . Прибавляется кусочек хлористого цезия. Осадок из кубических кристаллов медово-

желтого цвета оказывается теллуrom. Если не образуется осадка, раствор содержит селен. Это заключение подкрепляется смешением капли исследуемого раствора с каплей раствора хлористого олова; кирпично-красный осадок будет селеном.

Марганец

Испытание висмутовокислым натрием

Реактив: твердый висмутовокислый натрий (NaBiO_3).

Продукт: марганцевокислый натрий (NaMnO_4), окрашивающий раствор в розовый—пурпуровый цвета.

Предел: 0,12% $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в 1:7 HNO_3 .

Окислы марганца в азотной кислоте растворяются довольно плохо, но они хорошо растворяются в 1:1 HCl и в царской водке. Порошок растворяется при помощи трех или четырех последовательных капель одного из этих реактивов. Остаток $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ собирается по периферии капли в виде кольца. Обычно он имеет розовую окраску и отчетливую кристалличность, но благодаря незначительному размеру кристаллов мы не можем определить их природы.

Затем остаток растворяется каплей 1:7 HNO_3 и к раствору прибавляется кусочек висмутовокислого натрия. Этот реактив является сильным окислителем и окисляет двухвалентный марганец до марганцевой кислоты. Ионы MnO_4 окрашивают раствор в розовый—пурпуровый цвета, причем окраска зависит от концентрации MnO_4 . Если концентрация очень низка, цвет может сразу и не обозначиться, но при подсыхании капли будет заметен блеск ее краев.

Раствор марганцевокислой соли этим путем полученный, в трюко что описанных условиях не будет стойким. В короткий срок, обычно в четверть минуты, ионы марганцевой кислоты распадаются и откладывают перекись марганца в виде коричневого порошка. Отложение этого порошка начинается по краю капли и развивается к ее центру. По мере отложения порошка раствор теряет свой цвет.

Рекомендуется пользоваться довольно значительным количеством висмутовокислого натрия, гораздо большим, чем то, которое применяется по методу III. Растворяется только часть реактива, причем количество его зависит от пропорции наличного марганца.

Испытание при помощи висмутовокислого натрия описано профессором Шамо, но оно не выдвинуто им на то место, которого заслуживает. Оно чувствительно, дает очень тонкие различия и другие элементы не мешают ему. Сверх того, это испытание идет в очень кислом растворе.

Некоторые минералы в роде гюбнерита (MnWO_4) и вольфрамит ($\text{FeMn}(\text{W}_6\text{O}_{21})_2$) не могут быть растворены ни азотной, ни соляной кислотами, ни царской водкой. Испытание висмутовокислым натрием очевидно не приложимо к этим минералам, и поэтому марганец в них лучше определять методом паяльной трубки получением окраски марганца в стекле соды.

Сера

Реактив: твердый уксуснокислый кальций ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$).

Продукт: кристаллы сероокислого кальция (гипса).

Пр-дел: 0,15% H_2SO_4 .

Элементарная сера и H_2S . Элементарная сера известна в виде нескольких аллотропических модификаций, но форма обычной продажной серы имеет обычный ромбический характер и обладает, как правило, кристаллическими гранями. Она растворяется в сероуглероде (CS_2), бензоле (C_6H_6), многих других органических растворителях и может быть из этих реактивов перекристаллизована, давая таким образом быстрое и отчетливое ее определение. Сероуглерод является самым действительным растворителем, но, освобождая элементарную серу, он медленно разлагается. Если мы применим этот реактив, мы должны сначала его испытать, испарив каплю на стеклянной пластинке. Если появляется остаток, данный реактив должен быть забракован. Бензол представляет собою удовлетворительный растворитель, но он испаряется с чрезвычайной быстротой. Испытуемый порошок кладется на стеклянную пластинку и закрывается стеклянной покрывашкой около 3 мм в диаметре. Капля бензола накладывается при помощи платиновой проволоки на край стеклянной покрывашки. Стряхнутая с проволоки, она немедленно стекает под покрывное стекло. Хотя покрывное стекло ее отчасти и защищает, капля приблизительно в одну минуту исчезает, но тем временем часть серы успевает раствориться и при испарении капли сера осаждается в виде кристаллов. Кристаллы эти значительного размера и стремятся агломерироваться. Поддающиеся определению формы их встречаются не часто, но по границам массы заметны прямые края. Лучшим указанием на кристаллическую серу служит высокое двупреломление массы. Интерференционные цвета белые высокого порядка, похожие на цвета карбонатных кристаллов. В косом отраженном свете кристаллическая сера имеет желтый цвет.

Некоторые простые сульфиды в роде стибнита, сфалерита и висмутита и все, или почти все, сульфосоли висмута при разложении азотной кислоты дают желтый шарик серы. Он совершенно похож по внешнему виду на обычную расплавленную серу, но не растворяется в сероуглероде или бензоле. Однако самый факт появления шарика служит достаточным указанием, так что другого испытания на серу и не нужно.

Несколько простых сульфидов, при обработке их азотной кислотой, выделяют сероводород. Запах этого газа узнать легко, и даже небольшие его количества открыть нетрудно. Испытание производится непосредственно на полированном шлифе, чем устраняется необходимость переносить порошок на стеклянную пластинку. Сероводород выделяют алабандит (MnS), троилит (FeS) и немногие из образцов галенита.

При разложении азотной кислотой гораздо большее количество сульфидов и сульфосолей отлагают серу в виде белого аморфного порошка. По виду порошок этот трудно различить, и поэтому он не является вспомогательной пробой на серу. Это

одна из аллотропических форм серы и, подобно описанному выше желтому шартику, она не растворяется в сероуглероде или бензоле.

Испытание на серноокислую соль. Попытки растворить остаток аморфной белой серы на стеклянной пластинке не удалось. Для этой цели применялись следующие реактивы: 1:1 HNO_3 , дымящаяся HNO_3 и царская водка. Но растворить эту серу можно обработкой ее в аналитическом стакане дымящейся азотной кислотой. Сера окисляется в H_2SO_4 , в количественном анализе осаждается хлористым барием и взвешивается, как сернокислый барий. Окисление серы этим способом требует продолжительного кипячения, почему его и нельзя производить на стеклянной пластинке. Чтобы обойти эту трудность, надо расплавить сульфид в шарике соды или азотнокислого калия. Сравнительно с описанными нами приемами способ этот требует гораздо больше материала, а в испытуемую каплю вводятся высокие концентрации натрия или калия. К этому методу приходится обращаться лишь как к последнему средству.

К счастью при обработке большинства содержащих серу минералов 1:1 HNO_3 часть серы окисляется в H_2SO_4 , часть серы остается отложенной в виде твердого элемента. При обработке некоторых сульфидов с высоким содержанием серы в роде пирита, марказита и гауерита (MnS_2) окисляется относительно большее количество серы. То же самое надо сказать о минералах в роде халькозина и сфалерита, легко растворимых HNO_3 . Сульфиды, плохо растворимые в HNO_3 , и многие сульфосоли дают относительно низкую пропорцию H_2SO_4 . Выпаривая материал досуха, надо следить за тем, чтобы вследствие высокой температуры H_2SO_4 не начала испаряться. К счастью H_2SO_4 не очень летуча и для ее выпаривания нужна более высокая температура и большее время, чем обычно требуется для микрохимических испытаний. Если тщательно следить за операцией, испарение вызовет лишь очень незначительную потерю.

Наиболее распространенными элементами, дающими нерастворимые серноокислые соли, являются барий, стронций, кальций и свинец. Наиболее нерастворимой из серноокислых солей и теоретически такой, которая должна бы была дать наиболее чувствительное испытание, является соль бария. Однако, в условиях здесь описанных, осадок получается всегда аморфный и может быть перекристаллизован только в крепкой серной кислоте. Уксуснокислый стронций в нейтральных растворах и слабых кислотах образует с серноокислыми ионами аморфный осадок. При сильном увеличении по краю аморфной массы обычно можно наблюдать несколько маленьких ромбических кристаллов. В крепкой HCl серноокислый стронций растворимее, а осадок кристаллический. Осадок этот тоже следует наблюдать при большом увеличении. Кристаллы бесцветны и обладают сильным преломлением, но слишком малы для того, чтобы при скрещенных николях могло наблюдаться двупреломление. Самые обычные формы — ромбические бипирамиды, напоминающие октаэдры, тупые призмы с округленными концами и овальные сферолиты. Подобно серноокислому барию серноокислый стронций может быть

перекристаллизован в горячей, концентрированной H_2SO_4 , но это конечно при испытании сульфатов делать трудно. Такой метод полезно применять при реакции на стронций. Получаемые при этом кристаллы размерами больше и по своему характеру однообразнее, поэтому они более характерны, чем кристаллы, получаемые из крепкой HCl . Стронциевая реакция может быть использована как метод выявления сернокислых ионов, но аналогичная реакция с кальцием выгоднее, так как она дает более характерные кристаллы. Предел открываемой концентрации при стронциевой реакции — около 0,05% серной кислоты, т. е. в три раза более точный по сравнению с пределом, допустимым при испытании кальцием.

Уксуснокислый свинец дает на сернокислые ионы гораздо более удовлетворительное испытание, чем соль стронция, сернокислый свинец имеет более сильную кристаллизационную способность, чем сернокислый стронций, и больший процент его осадка является кристаллическим, хотя главная масса его аморфна. Самыми характерными формами сернокислого свинца являются очень мелкие бесцветные алмазо- или ладьеобразные пластинки и тонкие призмы с заостренными концами. Многие из этих призм имеют в центральных частях утолщения и отпрыски в поперечных разрезах овальные и алмазообразные. Предел допустимого растворения при этом испытании равняется приблизительно 0,02% серной кислоты. Реактив применяется в твердом состоянии и вводится в центр капли. Испытание при помощи сернокислого свинца могло бы считаться весьма удовлетворительным, если бы не то обстоятельство, что другие ионы, в частности ионы мышьяковой кислоты, тоже осаждают свинец. Мышьяковокислый свинец похож на сернокислый свинец, и если мышьяк присутствует в материале, делать испытание на серу по этому методу нельзя.

Уксуснокислый кальций осаждает сернокислые соли из нейтрального или слабого солянокислого раствора. В азотнокислом растворе реакция эта менее удачна. Сернокислый кальций лучше растворим, чем сернокислые стронций и свинец, а его кристаллизационная способность сильна, поэтому осадок получается совершенно кристаллический. Из нейтрального и слабокислого раствора получается гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); из крепких кислых растворов — преобладающий осадок ангидрит ($CaSO_4$). В условиях, здесь описанных, образуется один только гипс. Гипс обычно не осаждается непосредственно из растворов, бедных ионами SO_4 . Первые кристаллы обычно осаждаются близко к краю капли, и осаждение развивается в сторону центра ее. Кристаллы бесцветны и очень характерны. В них преобладают длинные тонкие иглы. Концы их имеют разные очертания. Обычно они очень неправильны, и многие из них похожи на обломанные концы деревянных лучинок. В несколько более концентрированных растворах концы кристаллов могут иметь правильные кристаллические грани, расположенные под некоторым углом к самой призме, указывая, что кристаллические формы моноклинны. Весьма характерной формой является входящий угол на одном из концов или даже на обоих концах, что придает кристаллам сходство

с рыбьими или ласточкиными хвостами. Встречаются, но изредка, парные концы в роде наконечника стрелы. Двупреломление является низким и кристаллы так тонки, что поляризационных цветов мы обычно не наблюдаем. По своей тонкости призмы часто похожи на волокна, стремящиеся переплестись и образовать мат.

Мышьяковая кислота осаждает из нейтральных растворов кальций в виде порошка белого аморфного мышьяковокислого кальция. Мышьяковокислый кальций удерживается в растворе 5% или более крепким раствором HCl. Наилучшие гипсовые кристаллы получаются при обработке составом самым слабым из приемлемых кислотных растворов. Поэтому для испытания на сернокислый кальций рекомендуется пользоваться 5% раствором HCl.

Для окисления серы наиболее действительным реактивом служит царская водка. Два или большее число наложений царской водки разлагают минерал. Остаток остуживается и выщелачивается каплей 5% соляной кислоты. Капля переносится на другое место на пластинке, и в центр ее кладется кусочек уксуснокислого кальция. Через полминуты, или даже меньше, появятся характерные гипсовые кристаллы. Количество материала, нужное для того, чтобы дать хорошее испытание на сульфат, является примерно двойным сравнительно с количествами, используемыми при других испытаниях. На полированном шлифе достаточна площадь примерно 0,35 мм в диаметре.

Мышьяковая кислота и хлорное железо замедляют кристаллизацию гипса, но не пресекают ее совершенно. Мышьяковая кислота представляет собою студенистое вещество, и, если оно присутствует в относительно концентрированной пропорции, то останавливает диффузию элементов в растворе. То же действие имеет и хлорное железо. Поэтому, если в слишком небольшую каплю введено слишком много материала, содержащего мышьяк и железо, испытание на серу будет неудовлетворительно. Если уксуснокислый кальций растворяется слишком слабо или не растворяется совсем, это указывает на то, что либо оба, либо один из этих вредных для реакции соединений входит в изучаемый раствор. Наблюдатель должен практиковаться с арсенопиритом до тех пор, пока не будет получать при каждом опыте хорошего испытания на сульфат. Мы рекомендуем следующее изменение вышеописанной процедуры.

Разложите минерал наложением двух последовательных капель царской водки, испаряя каждую из них до сухости. Выщелочите остаток каплей 5% HCl, перенесите каплю и прибавьте кусочек уксуснокислого кальция. Если кусочек растворяется медленно или не растворяется совсем, это будет значить, что концентрация мышьяковой кислоты или хлористого железа или того и другого вместе вероятно слишком высока. Необходимо поэтому дожидаться, пока капля почти высохнет, и только тогда начнут образовываться кристаллы гипса, но они могут и совсем не образоваться. Если ожидаемые кристаллы гипса не появятся совсем, прибавьте к первоначальному остатку каплю царской водки, выпарьте досуха, выщелочите 5% раствором HCl и испытайте раствор на сульфаты уксуснокислым кальцием, как и раньше.

Основанием для такого видоизменения процедуры является то обстоятельство, что мышьяк царской водкой окисляется гораздо быстрее, чем сера. Первая обработка минерала окислит большую часть мышьяка и растворит большую часть железа. По удалении того и другого в первой капле 5% раствора соляной кислоты отношение мышьяковой кислоты и железа к сере в составе становится гораздо ниже. После вторичной обработки действие вредных для исследования соединений становится слабее, и испытание на сульфат может быть закончено удачно.

Прибавим в заключение, что автор вовсе не стремится доказать что испытание на серу должно быть производимо только в тех случаях, когда оно совершенно необходимо. Значительное большинство рудных минералов содержит серу, и определение металлических элементов обычно бывает достаточным для определения минерала. Испытание на серноокислую соль однако необходимо для различения между такими минералами, как арсениспирит (FeAsS) и лёллингит (FeAs_2), как хлоантит (NiAs_2) и герсдорфит (NiAsS). Минералы без металлического блеска, но содержащие серу, вроде гауерита (MnS_2), должны быть на серу испытаны именно по этому методу.

Систематический ход микрохимического анализа

Микрохимические испытания приложимы ко всякому минералу, если только он поддается растворению. Однако прозрачные минералы обычно удобнее определять оптическими методами. Наилучший из этих методов состоит в определении иммерсионным методом показателей преломления минерала, превращенного в порошок, в жидкостях с известными уже показателями преломления.

Ход анализа, описанный в настоящей книге, почти полностью ограничивается непрозрачными рудными минералами. Непрозрачные минералы легко определимы под микроскопом по своему цвету в вертикально отраженном свете. Полнее это рассмотрено на стр. 33.

Как уже было указано (стр. 73), определять непрозрачный рудный минерал лучше всего оценкой его твердости, поляризации и травления, подкрепляя определение микрохимическими испытаниями на один или несколько элементов. Но схема эта может оказаться неудачной из-за ошибок в таблицах травления, ошибок в интерпретации поляризационных или протравочных эффектов или ошибок в формулах минералов, приводимых в тексте руководств, наконец ошибок, зависящих от того, что минералы могут быть «новыми»; т. е. еще не описанными в литературе. Один из этих факторов и может быть причиной неудачи при приложении нашей схемы к работе. Дальнейшим средством для определения минерала будет тогда определение элементов путем приложения систематической схемы, сходной со схемой качественного химического анализа.

— Всякая систематическая схема этого рода очень упрощается, если испытание на твердость сделано в самом начале. Это опи-

сано на стр. 39, но ради удобства, вкратце повторим наши выводы и здесь. Минерал испытывается на твердость при помощи острой иглы. Минералы, легко царапающиеся, относятся к разряду мягких, а царапающиеся с трудом или не царапающиеся совсем — к разряду твердых. Выгоднее проделать это разделение в самом начале работы, так как некоторые элементы оказываются в составе твердой группы редко, или не попадают в нее никогда, тогда как другие редко или никогда не попадают в группу мягких.

Твердые минералы

Непрозрачные твердые минералы могут быть разделены на три следующие группы:

А. Нерастворимые или очень плохо растворимые в концентрированной HNO_3 , 1:1 HNO_3 и царской водке. Эта группа состоит большей частью из железосодержащих минеральных окислов, касситерита, вольфраматов и редкоземельных минералов.

В. Легко растворимые в 1:1 HNO_3 или в царской водке. Эта группа состоит большей частью из никелевых-кобальтовых-железных арсенидов, антимонидов, сульфарсенидов и сульфантимонидов, пирита и марказита.

С. Нерастворимых или плохо растворимых в HNO_3 , но легко растворимых в царской водке и 1:1 HCl . Эта группа состоит из твердых марганцевых окислов.

Группа А. Обычно применяемая игла № 9 твердых минералов не царапает. Получить порошок обычно можно пользуясь иглой № 6 или иглой еще более крепкой, острие которой сточено с одной стороны более тупо на наждачном круге, так чтобы игла получила относительно широкий режущий край. При движении ее взад и вперед в ямке на поверхности минерала перед ней получим некоторое скопление порошка. Неметаллический красный порошок укажет на гематит; кирпично-красный-светлокоричневый порошок укажет на водные окислы железа «лимонитовой» группы и на хромит; темнокоричневый порошок — на франклинит или браунит; черный металлический порошок будет вероятно магнетитом. Все эти минералы, за исключением браунита, в крепкой HNO_3 или в царской водке почти нерастворимы. Однако путем повторных наложений царской водки, одно за другим испаряемых над микропламенем, мы можем растворить достаточно материала, чтобы сделать испытание на железо. Остаток окрашен в оранжевый—коричневый цвета. Мы растворяем его каплей 1:7 HNO_3 и испытываем на железо кусочком $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.

Если минерал слишком тверд, чтобы дать порошок по только что описанному методу, он представляет собою вероятно минерал редкоземельный. Как уже было указано, в наше обследование этих минералов мы не включаем.

Группа В. Минералы группы В легко разлагаются 1:1 HNO_3 или царской водкой. Минералы группы никеля-кобальта-мышьяка-сурьмы стремятся ассоциироваться друг с другом. Никелин узнается сразу по своему цвету. Пока не доказано противное, можно исходить из предположения, что соседи данного минерала принадлежат к одной с ним группе. Эта группа значительна,

и едва ли не все минералы ее выглядят почти совершенно одинаково. В отраженном свете они имеют пепельно-серый цвет и «твердый» (в вышеупомянутом смысле). Обладая навыком по цвету и твердости, всегда можно сказать, что минерал с вышеприведенным описанием есть хлоантит, лёллингит, герсдорфит, скуттерудит, раммельсбергит, шмальтин, каллилит, вильямит, гаухекорит, сфалерит или ульманит. Арсенопирит и лёллингит не могут быть различены травлением, поляризацией или микрохимическими испытаниями. Однако они слегка различаются по своему цвету: арсенопирит имеет окраску галенитово-белую, а лёллингит пепельно-серую. Арсенопирит стремится ассоциироваться с пирротинном, сфалеритом, галенитом и халькопиритом, а лёллингит — с другими арсенидами вышеописанной группы.

Твердый белый минерал, растворимый в HNO_3 , будет содержать только никель, кобальт, железо, мышьяк, сурьму, висмут или серу. Растворите минерал в HNO_3 или в царской водке и всмотритесь в остаток.

Белый аморфный порошок укажет на серу или сурьму.

Студенистое кольцо вокруг капли укажет на мышьяк.

Если остаток имеет зеленый цвет, ищите никель; если желтый или оранжевый — железо; если розовый — кобальт.

Испытания на все элементы этой группы могут быть сделаны по материалу данного остатка. Выщелочите остаток 1% HNO_3 .

1. Железо, никель, кобальт и мышьяк растворятся. Перенесите каплю 1% HNO_3 и выпарьте ее почти досуха. Прибавьте раствора молибденовокислого аммония и немедленно нагревайте, пока капля не высохнет. Прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , растворяющую избыток молибденовокислого аммония и оставляющую мелкие желтые октаэдры или двойниковые кубические кристаллы, если в растворе есть мышьяк. Профильтруйте раствор этих кристаллов, перенесите его на другое место на пластинке и прибавьте двойной роданистой соли калия и ртути (метод I). Если присутствует железо, раствор становится красным. Если присутствует кобальт, он образует игольчатые синие кристаллы, обычно группирующиеся в крестики или розочки. Если присутствует никель, по краю капли медленно образуются мелкие коричневые сферолиты.

2. Сурьма, висмут и сера остаются в первоначальном остатке нерастворенными. Образование в этой стадии осадочных хлопьев укажет на присутствие висмута. Для того чтобы удалить следы мышьяка, выщелочите первоначальный осадок тремя по крайней мере последовательными каплями 1% HNO_3 , затем каплей воды, чтобы удалить азотную кислоту. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Если образуется аморфный желтый или оранжевый осадок, в растворе есть мышьяк. Если раствор становится светложелтым, он содержит сурьму или висмут или то и другое. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки укажут на сурьму, а красные на висмут.

Существуют только три твердых минерала, содержащих сурьму: каллилит ($\text{Ni}(\text{Bi}, \text{Sb})\text{S}$), ульманит ($\text{Ni}(\text{As}, \text{Sb})\text{S}$) и вильямит ($\text{Co}, \text{Ni}(\text{Sb})\text{S}$).

Группа С. Если твердый минерал почти нерастворим в 1:1 HNO_3 , но легко растворим в царской водке, надо исследовать его на марганец выщелачиванием остатка каплей 1:7 HNO_3 , переносом капли и прибавлением твердого висмутовокислого натрия. Если капля становится розовой или пурпурной, в растворе есть марганец.

Мягкие минералы

Мягкие минералы разделяются на три группы: (А) растворимые в 1:1 HNO_3 , (В) нерастворимые в 1:1 HNO_3 , но растворимые в царской водке, (С) нерастворимые ни в 1:1 HNO_3 , ни в царской водке. В нашу аналитическую схему группа С не входит.

Группа А. Мягкий минерал, растворимый в азотной кислоте, не будет содержать ртути. Исследуйте остаток, имея в виду следующие моменты:

Белый аморфный порошок означает серу или сурьму.

Студенистое кольцо означает или мышьяк или серебро.

Белая, не имеющая определенной структуры, творожистая масса заставляет предполагать висмут или теллур.

Белая решетчатая или ячеистая структура указывает на свинец; реже подобную структуру может дать избыток серебра.

Сера иногда оставляет, вместо белого порошка, светложелтую клейкую массу.

Клейкая кирпично-красная масса есть селен.

Если остаток зеленый, предполагайте медь или никель; если желтый или оранжевый — железо.

Селен встречается только в комбинации с серебром, золотом, висмутом, медью, ртутью, свинцом, теллуrom и серой.

Операция 1-я для железа, меди, цинка, кобальта, никеля и серебра: выщелочите остаток из первоначального минерального раствора каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и соедините ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Если есть железо, испытуемый раствор окрасится в красный цвет; медь образует кристаллический осадок, состоящий из зеленовато-желтых мохообразных пучков призм и крестиков; цинк образует белые или серые перистые крестики; серебро — аморфный белый порошок; кобальт — индиго-синие призмы; никель — по краю капли мелкие коричневые сферолиты.

Операция 2-я для меди, мышьяка, селена, и теллура: выщелочите для удаления следов HNO_3 первоначальный остаток каплей воды. Удалите каплю и затем выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Все оставшееся от предшествующего испытания серебро осядет в виде творожистого белого хлорида. Свинцовые соединения изменяются в хлористый свинец, нередко имеющий вид белых игл. Перенесите фильтрат на другое место на пластинке и прибавьте кусочек КJ. Вся медь, остающаяся от предшествующей стадии испытания, осядет в виде аморфного белого, серого или светложелтого порошка; мышьяк осядет как аморфный желто-оранжевый порошок; теллур или селен осядет как мелкозернистый аморфный шоколадно-коричневый порошок; если в заметном размере присутствует сурьма или висмут (0,1%

или более $SbCl_3$), раствор окрасится по соседству с кусочком KJ в желтый цвет. Селен и теллур осадут мгновенно. Мышьяк и медь осаждаются иногда медленно. Поэтому лучше всего наблюдать каплю, пока она почти испарится, а затем достаточно прибавить 1 : 5 HCl , чтобы вернуть капле ее первоначальный объем. Раз образовавшись, осадки меди и мышьяка не растворяются в дополнительно прибавленной кислоте. Все осадки, осажденные KJ , аморфны, и наблюдать их всего лучше в косом отраженном свете. Осадков теллура и селена нельзя смешать с осадками мышьяка и меди вследствие особенной реакции этих двух элементов (см. подробнее описание на стр. 163). Когда теллуrowый или селеновый осадок получен, следует сделать проверочное испытание реакцией хлористого цезия и хлористого олова для выяснения того, теллуrowым или селеновым является изучаемый осадок. Проверочное испытание обычно можно сделать, выщелачивая первоначальный осадок новой каплей 1 : 5 HCl и продельвая испытание полученного раствора. Если для такого испытания в первоначальном растворе не останется достаточно материала, придется сделать его на добавочном минеральном порошке. Осадки мышьяка и меди очень сходны между собою, — факт, который может повести к некоторой сбивчивости в определении минерала. Мышьяковый осадок желтее чем медный, и даже имеет иногда ясный оранжевый цвет. Если природа осадка все же будет сомнительна, следует сделать испытание на мышьяк молибденовокислым аммонием на новом минеральном порошке. Следует помнить, что значительная, а возможно и большая часть мышьяка, была удалена из остатка уже его выщелачиванием 1% HNO_3 , каплей воды и удалением обеих каплей. Этот мышьяк утрачен при производстве роданистого испытания на другие элементы (операция 1-я). Поэтому неудача получить иодистую реакцию на мышьяк в этой стадии исследования еще не доказывает отсутствия мышьяка в минерале вообще. В этом самый слабый пункт во всей изложенной аналитической схеме. Однако в девяти случаях из десяти мышьяковой кислоты остается достаточно, чтобы дать хорошее показание на мышьяк при испытании посредством KJ . Как уже было сказано, в минерале, если можно предполагать присутствие мышьяка, а иодистая реакция его не обнаруживает, молибденовокислую реакцию на мышьяк следует сделать на добавочном минеральном порошке.

Операция 3-я для мышьяка, сурьмы, висмута и олова: к той же капле, которая была испытана посредством KJ , прибавляется кусочек хлористого цезия. Сначала капле надо вернуть путем прибавления 1 : 5 HCl ее прежний размер. Если в составе ее есть мышьяк, часть иодистого осадка, полученного от предшествующего испытания, превращается в двойную иодистую соль цезия и мышьяка, образующую оранжевый аморфный осадок около края капли. Концентрация мышьяка обычно не бывает достаточно значительной, чтобы вызвать образование оранжевых шестиугольников, описанных на стр. 155. Наблюдать осадок всего лучше в косом отраженном свете. Сурьма образует оранжевые шестиугольники, висмут красные шестиугольники, а свинец — бесцветные октаэдр.

Операция 4-я для свинца, золота, серы и селена: рассмотрите посредством 16-мм объектива первоначальный остаток, освещенный косым отраженным светом. Золото, если оно присутствует, будет иметь вид желтых металлических зерен; селен, не превращенный в растворимую кислоту и не удаленный при предшествующей операции, останется в первоначальном растворе в виде самородного элемента, имеющего вид красноватого порошка или клейкой массы, при добавлении HCl при 2-й операции свинец превратился в хлористый свинец (PbCl_2). «Иглы» хлористого свинца обычно можно узнать под микроскопом по их наружному виду. Всегда рекомендуем однако сделать иодистую реакцию на свинец, независимо от того, распознаются хлористые кристаллы или нет. Улетучьте HCl , прибавьте к остатку каплю воды и выпарьте ее досуха. Остудите и прибавьте к остатку каплю воды. Перенесите каплю на другое место на пластинке и прибавьте кусочек KJ . Если есть свинец, то он образует лимонно-желтые шестиугольники и дискообразные пластинки нормального иодистого свинца. Чтобы подтвердить присутствие золота, прибавьте к остатку каплю царской водки и выпарьте его досуха над микропламенем. Золото превращается в остаток оранжевого коричневого цвета, легко растворимый в воде. Выщелочите этот остаток каплей воды, перенесите каплю и растворите в ней каплю пиридин- HBr раствора. Плехроические красные кристаллы представляют собой золото.

Имеют значение нижеследующие наблюдения над мягкими минералами после обработки их HNO_3 : присутствие мышьяка исключает висмут, теллур, ртуть, селен и цинк; присутствие никеля исключает медь, золото, свинец, селен, серебро и цинк.

Группа В. Мягкий минерал, не растворимый в HNO_3 , но легко растворимый в царской водке, содержит вероятно ртуть или марганец. Если есть ртуть, остаток HgCl_2 обычно дает решетчатый узор (см. рис. 21, D). Марганцевый остаток образует круглое кольцо со слабым розовым оттенком.

Испытание на ртуть: растворите в царской водке. Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте небольшой кусочек $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. По растворении прибавьте кусочек KCNS . Синие ветвящиеся или игольчатые кристаллы, одинаковые с наблюдаемыми при испытании на кобальт, будут признаком присутствия ртути. Ртуть ассоциируется только с сурьмой, селеном, теллуром и серой.

Испытание на марганец: растворите в царской водке, выщелочите раствор каплей 1:7 HNO_3 , перенесите каплю и прибавьте твердого висмутовокислого натрия. Если раствор станет розовым или пурпуровым, в нем есть марганец.

Специальные испытания для минералов

Вышеописанная систематическая схема микрохимического анализа имеет задачей определить встречающиеся в рудных минералах основные элементы посредством возможно меньшего количества операций. Испытания, входящие в изложенную схему,

приложимы к наибольшему количеству элементов. Испытание, предлагаемое для данного элемента, не является необходимо наилучшим для него. Например испытания посредством двойной роданистой соли калия и ртути на серебро и никель предлагаются потому, что этот реактив укажет на присутствие значительного количества добавочных элементов; но испытание посредством двуххромовокислого аммония на серебро и посредством диметилглиоксима на никель характернее для двух этих элементов, чем испытания роданистые.

Исследуя поляризацию, цвет, твердость и травление, наблюдатель имеет ключ к определению изучаемого минерала. Но ему нужно затем подтвердить свои наблюдения реакциями на элементы, которые, по его предположению, содержатся в минерале. На следующих страницах подробно описывается процедура, которую мы считаем наилучшей для определения элементов в каждом данном минерале. Применяя эту процедуру, можно прибегать, сравнительно с процедурой систематической, ко многим сокращениям и итти иногда «напрямик». Например нет особой нужды прибегать к роданистаму испытанию на галенит. Автор надеется, что это сокращение процедуры сэкономит исследователю много времени.

Агвиларит ($Ag_2(SeS)$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Остаток имеет студенистый характер и может быть окрашен в желтый и красноватый цвета. Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Присутствие селеновой кислоты задержит образование двуххромовокислого серебра, но не воспрепятствует этому. Красные кристаллы подтвердят наличие серебра. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Если в растворе еще осталось серебро, оно превратится в белое хлопьевидное хлористое серебро. Кирпично-красный аморфный осадок подтвердит наличие селена. При желании хлористое серебро в составе можно испытать аммиачным методом. Последовательным наложением нескольких каплей 1:5 HCl удалите все следы селена. Каплей воды удалите следы HCl . Наложите затем на состав каплю концентрированного NH_4OH . Из раствора, через несколько секунд начнут выделяться бесцветные кубические кристаллы, обладающие высоким преломлением (см. описание науманниты на стр. 189).

Айкинит. ($Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$). — Разложите минерал одним или двумя наложениями 1:1 HNO_3 , легко его разрушающей. Получится белый творожистый остаток. Внимательно проследите, не имеет ли остаток решетчатой структуры (азотнокислый свинец). Выщелочите его каплей 1% HNO_3 , перенесите каплю и выпарьте ее досуха. К остатку от выпаривания прибавьте каплю 1% уксусной кислоты. Прибавьте к капле кусочек уксуснокислого натрия и азотистого калия. Если сразу не образуются черные кубы тройной азотистой соли, прибавьте кусочек хлористого цезия, черные и коричневые кубы укажут на наличие свинца и меди. Часть висмута будет перенесена в азотнокислый раствор; большая часть останется в первоначальном остатке. Выщелочите его каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около кусочка раствор окрасится в желтый цвет (Sb или Bi). Прибавьте затем кусочек $CsCl$. Красные шестиугольники укажут на наличие висмута.

Алабандит (MnS). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выпарьте, остудите и выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 . Прибавьте кусочек висмутовокислого натрия. Растворы окрасятся в розовый или пурпуровый цвета, указывающие на марганец.

Алтаит ($PbTe$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры. Выщелочите состав каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $CsCl$. Кубические кристаллы медово-желтого цвета укажут на теллур. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте каплю над пламенем горелки, чтобы удалить HCl . Остудите.

снова прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и перенесите каплю. Прибавьте к ней кусочек КJ. Желтые шестиугольники укажут на свинец.

Аляскаит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Желтый аморфный остаток указывает на наличие свинца, а красные кристаллы — серебра. Эти два осадка друг друга не маскируют.

Первоначальный остаток содержит висмут и большую часть свинца. Прибавьте каплю 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Раствор около кусочка пожелтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl . Красные шестиугольники будут висмутом. Чтобы удалить последние следы висмута, выщелочите первоначальный остаток еще тремя каплями 1:5 HCl . Затем прибавьте к нему три последовательные капли воды. Перенесите каждую каплю на другое место на пластинке и прибавьте кусочек КJ. Первая капля благодаря следам HCl и висмута может и не дать удовлетворительного указания на свинец. Вторая или третья капля дадут желтые шестиугольники, указывающие на свинец.

Альгодонит (Cu_6As). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Остаток получится студенистый с зеленоватой окраской. Выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 , перенесите каплю и медленно нагревайте, двигая над пламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммония и рассмотрите ее. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Перенесите фильтрат (содержащий азотнокислую медь и растворенный молибденовокислый аммоний) и смешайте его с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Желтовато-зеленый осадок укажет на медь.

Андорит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Действию HNO_3 минерал оказывает некоторое сопротивление, но если взять значительное количество хорошо измельченного минерала и ввести 10 по крайней мере последовательных капель жидкости, его можно растворить в достаточном для испытания количестве. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и исследуйте на сурьму при помощи КJ и CsCl . Оранжевые шестиугольники укажут на сурьму. Чтобы удалить следы сурьмы, выщелочите первоначальный остаток двумя дополнительными каплями HCl и удалите каплю. Выщелочите затем первоначальный остаток тремя последовательными каплями воды и прибавьте к каждой по маленькому кусочку КJ. Желтые блестящие шестиугольники укажут на свинец. В заключение выщелочите первоначальный остаток каплей концентрированной NH_4OH . Наблюдайте край капли с 4-мм объективом. Через несколько секунд из раствора выделяется маленькое с высоким преломлением кубические кристаллы AgCl . Двуххромовокислое испытание на серебро с успехом применялось на андорите, но оно требует раза в три больше материала, чем при обычной микрохимической пробе и сверх того требует и повышенной техники.

Арамайонит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot (\text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Около кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Образуются оранжевые и красные гексагональные пластинки, указывающие на сурьму и висмут.

Аргентит (Ag_2S). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро.

Аргиродит ($4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{GeS}_2$). Аргиродит очень стоек по отношению к 1:1 HNO_3 , но повторными наложениями ее (обычно бывает достаточно десяти) можно растворить достаточно материала, чтобы получить испытание на серебро. Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро. Хорошего испытания для германия нет.

Арсенаргентит (Ag_2As). — Растворите минерал в 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро. Растворите еще некоторое количество минерала 1:1 HNO_3 . Чтобы осадить серебро, прибавьте к остатку каплю 1:5 HCl . Выпарьте досуха, охладите и

прибавьте к остатку каплю 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти испарится, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова выпарьте ее над микропламенем. Когда препарат почти высохнет, прибавьте к составу каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк.

Арсенопирит (FeAsS).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Остаток обычно окрашен в желтый или оранжевый цвет. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте, двигая пластинку над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте немедленно каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно нагревайте над микропламенем. Когда препарат будет почти сух, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Наблюдайте в микроскоп. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Возьмите фильтрат и перенесите его на другое место на пластинке. Впустите каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Красная окраска испытуемого раствора укажет на железо.

Арсеноферрит (FeAs_2).—Испытание одинаковое с арсениопиритом.

Аурипигмент (As_2S_3).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее на микропламени. Когда она почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте ее над микропламенем, на этот раз досуха. Дайте остыть и для того чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Очень мелкие желтые кубические кристаллы подтвердят наличие мышьяка.

Баумгауерит ($4\text{PbS} \cdot 3\text{As}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и выпарьте ее почти досуха. Выщелочите состав от выпаривания каплей раствора молибденовокислого аммония. Медленно выпарьте досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Выщелочите первичный осадок тремя последовательными каплями воды. Перенесите капли и прибавьте к каждой кусочек KJ . Желтые блестящие гексагональные пластинки укажут на свинец.

Бениаминит (Cu, Ag) $_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленоватожелтые моховидные пучки и призмы укажут на медь, а аморфный белый порошок на серебро. Выщелочите первичный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочки KJ и CsCl . Красные гексагональные пластинки будут висмутом. Чтобы удалить большую часть осаждающегося висмута, выщелочите первичный остаток двумя последовательными каплями 1:5 HCl . Удалите обе капли. Выщелочите остаток тремя последовательными каплями воды. Прибавьте к каждой кусочек KJ . Первая капля благодаря следам HCl может и не дать удовлетворительного испытания, и в растворе останутся следы висмута, стремящегося изменить осадок иодистого свинца. Вторая и третья капли дадут хорошие желтые шестиугольные пластинки, которые укажут на свинец.

Бертонит ($2(\text{Pb, Cu})\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. К остатку от этого выпаривания прибавьте каплю 1% уксусной кислоты. Прибавьте затем последовательно к уксуснокислому раствору кусочки уксуснокислого натрия и азотистокислого калия. Если тотчас же не начнут оседать черные и коричневые кубы, прибавьте кусочек CsCl . Образование кубов послужит доказательством присутствия и свинца и меди. Чтобы удалить медь перед испытанием на сурьму, выщелочите первоначальный остаток двумя дополнительными каплями HNO_3 . Удалите обе капли. Высушите первоначальный остаток и прибавьте к нему каплю 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Близ кусочка раствор окрасится в желтый цвет. Затем прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые шестиугольники и звездочки укажут на сурьму.

Бертьерит ($\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $\text{K}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$. Синий аморфный осадок укажет на железо. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек

КJ. Около кусочка раствор окрасится в желтый цвет. Прибавьте затем кусочек хлористого цезия. Желтые гексагоны и звездочки будут сурьмой.

Борнит (Cu_2FeS_4). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути (метод I). Часть капли розовеет, что указывает на присутствие железа. Зеленовато-желтый кристаллический осадок указывает на медь. Испытание на железо может быть слабым, если мы не возьмем для исследования относительно значительного количества минерала. Микрхимическое испытание для борнита требуется редко.

Бравойт (Fe, NiS_2). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. К остатку от этого выпаривания прибавьте немедленно каплю 1% NH_4OH . Студенистый желтый или оранжевый осадок укажет на железо. Дайте капле медленно испариться. Когда испарение почти закончится, но остаток еще будет влажным, прибавьте каплю диметилглиоксимового раствора (метод III-b, стр. 132). Розовый осадок укажет на никель.

Браунит ($3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$). — Разложите минерал, наложив на него несколько раз царскую водку. Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 , перенесите каплю и прибавьте твердого висмутовокислого натрия. Около кусочков раствор становится пурпуровым, что указывает на марганец.

Брейтгауптит (NiSb). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. Прибавьте немедленно к остатку от выпаривания каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок укажет на никель. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Около кусочка, по мере его растворения, состав делается желтым. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые шестиугольники и звездочки будут сурьмой.

Броньардит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные, обычно иглоподобные, кристаллы, укажут на серебро, а аморфный желтый осадок на свинец. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Раствор около кусочка делается желтым. Затем к противоположной стороне капли прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки будут сурьмой. Если нужно, факт присутствия свинца можно подтвердить, прибавив к первоначальному раствору каплю воды, перенеся каплю и прибавив кусочек КJ. Желтые блестящие гексагональные пластинки будут свинцом.

Буланжерит ($5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. При растворении кусочка раствор около него делается желтым. Прибавьте затем кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте раствор над пламенем, чтобы удалить остаток HCl . Остудите и снова прибавьте к первоначальному остатку каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Блестящие желтые гексагоны будут свинцом.

Бурнонит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Проследите, нет ли в остатке решетчатого строения азотнокислого свинца. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. К остатку от этого испарения прибавьте каплю 1% уксусной кислоты. Затем прибавьте к капле последовательно кусочки уксуснокислого натрия и азотистокислого калия. Если в растворе сразу не образуется коричневых и черных кубов тройной азотистой соли, прибавьте кусочек CsCl . Кубические кристаллы тройной азотистой соли укажут на присутствие свинца и меди. Выщелочите первоначальный остаток двумя дополнительными каплями HNO_3 и затем каплей воды, чтобы до испытания на сурьму удалить всю медь. Удалите все три капли. Прибавьте к остатку каплю 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. По мере растворения кусочка, раствор окрашивается около него в желтый цвет. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму.

Вейссит ($\text{Cu}_2 \text{Te}_3$) (точные пропорции неизвестны). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути.

Зеленовато-желтые мохоподобные агрегаты и призмы укажут на медь. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Кубические кристаллы медово-желтого цвета укажут на теллур.

Вильямит (Co, Ni)SbS). — Разложите минерал каплей 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Если присутствуют и кобальт и никель, образуются и синие и коричневые сферолиты. Если кобальт присутствует в достаточной концентрации, образуются также и синие призмы (см. описание на стр. 133). Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму.

Виоларит (Ni, Fe)₂S₄). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. Прибавьте к остатку каплю 1% NH₄OH. Желтый студенистый осадок Fe(OH)₃ укажет на наличие железа. Дайте NH₄OH испариться. Когда раствор почти высохнет, прибавьте тотчас каплю раствора диметила глиоксима. Над оболочкой студенистой гидроокиси железа образуется розовый осадок. Это служит указанием на никель.

Висмут (Bi). — Растворите минерал в 1:1 HNO₃. Он растворится полностью. Выпаривание оставит белый творожистый осадок. Растворите его 1:5 HCl. Прибавьте кусочек KJ. Раствор делается ярко желтым. Прибавьте затем кусочек CsCl. Красные гексагональные пластинки подтвердят наличие висмута.

Висмутин (Bi₂S₃). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Прибавьте к остатку каплю 1:5 HCl. Висмут переходит в раствор в виде хлористой соли, а сера остается в виде нерастворившейся желтой массы. Перенесите фильтрат, затем прибавьте последовательно по кусочку KJ и CsCl. Красные гексагональные пластинки укажут на висмут.

Висмутоплагинит (5PbS.4Bi₂S₃). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте к ней по кусочку KJ и CsCl. Красные гексагональные пластинки укажут на висмут. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями 1:5 HCl, чтобы удалить большую часть остающегося висмута. Удалите обе капли. Выщелочите затем получившийся остаток тремя последовательными каплями воды. Прибавьте к каждой по кусочку KJ. Первая капля, благодаря следам HCl, может и не дать удовлетворительного испытания на свинец. HCl оставляет в растворе следы висмута, имеющие тенденцию изменять осадок иодистого свинца, вторая или третья капля даст хорошие желтые гексагональные пластинки, указывающие на свинец.

Виттихенит (3Cu₂S. Bi₂S₃). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленоватые моховидные пучки и призмы укажут на медь. Выщелочите первичный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Тонкие бесцветные ромбоэдрические пластинки служат указанием на висмут. Реакция на двойную иодистую соль для висмута удается плохо, потому что большая или меньшая часть меди увлекается вместе с висмутом и осаждается действием KJ, маскируя испытание на висмут.

Вольтцин (4ZnS. ZnO). — Разложите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Белые перистые крестики укажут на цинк.

Врбант (Tl₂S. 3(As, Sb)₂S₃). — Испытание на таллий происходит путем наблюдения над окраской пламени. В петельку на капле платиновой проволоки набирается капля 1:1 HCl и в эту петельку вкладывается небольшой кусочек минерала, вводимый затем в самую горячую часть бунзеновской горелки. Яркое зеленое пламя укажет на таллий. Микрохимическое испытание на мышьяк и сурьму идет следующим порядком: разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃ и медленно выпарьте его над микропламенем. По высыхании прибавьте каплю молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем. По

высыхании прибавьте каплю $1:7 \text{ HNO}_3$ и снова растворите избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Выщелочите первоначальный остаток каплей $1:5 \text{ HCl}$. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl . Бесцветные гексагональные пластинки укажут на сурьму.

Вуртцит (ZnS).— Разложите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей $1:7 \text{ HNO}_3$. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Белые перистые крестики укажут на цинк.

Галенит (PbS).— Разложите минерал $1:1 \text{ HNO}_3$. Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры азотнокислого свинца. Прибавьте к составу каплю $1:5 \text{ HCl}$. Удалите каплю HCl . Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте ее досуха для того, чтобы улетучить остаток следов HCl . Остудив, прибавьте к первоначальному составу каплю воды, перенесите каплю и вложите в нее кусочек KJ . Желтые гексагональные пластинки дадут указание на свинец.

Галеновисмутит ($\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$).— Разложите минерал $1:1 \text{ HNO}_3$. Посмотрите, нет ли в остатке решетчатых сростков азотнокислого свинца. Выщелочите остаток каплей $1:5 \text{ HCl}$. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . По мере растворения кусочка, раствор около него желтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl . Около кусочка желтый цвет исчезает и образуются красные шестигульники, указывающие на висмут. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями $1:5 \text{ HCl}$ и удалите обе капли. Эта операция удалит большую часть следов висмута. Прибавьте затем к первоначальному составу три последовательных капли воды. Перенесите каждую каплю на другое место на пластинке и прибавьте кусочек KJ . Первая капля благодаря следам висмута может не дать удовлетворительного испытания. Вторая и третья капли дадут хорошие желтые гексагональные пластинки, указывающие на свинец.

Гауерит (MnS_2).— Растворите минерал царской водкой. Выщелочите состав каплей $1:7 \text{ HNO}_3$. Перенесите каплю и прибавьте кусочки висмутовокислого натрия. Около кусочков раствор розовеет, что указывает на марганец.

Гаусманнит (Mn_2O_3).— Растворите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей $1:7 \text{ HNO}_3$. Перенесите каплю и прибавьте кусочки висмутовокислого натрия. Около кусочков раствор делается розовым или пурпурным, что указывает на марганец.

Гематит (Fe_2O_3).— Этот минерал плохо поддается химическому воздействию, но путем повторного наложения царской водки можно растворить достаточно материала, чтобы сделать испытание на железо. Выщелочите остаток каплей $1:5 \text{ HCl}$. Перенесите каплю и прибавьте кусочек $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Синий аморфный осадок будет железом.

Геокронит ($5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$).— Разложите минерал $1:1 \text{ HNO}_3$. Посмотрите, нет ли в остатке решетчатого узора, указывающего на свинец. Выщелочите остаток каплей $1:5 \text{ HCl}$. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка состав желтеет. Прибавьте затем кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте препарат над огнем, чтобы удалить остаток следов HCl . Остудите и к первоначальному составу снова прибавьте каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Влезающие желтые гексагональные пластинки укажут на свинец.

Германит (Cu_2GeS_4).— Минерал, плохо поддающийся воздействию кислоты, но царская водка при повторных усилиях разложит его в достаточной мере, чтобы дать испытание на медь. Выщелочите остаток $1:7 \text{ HNO}_3$. Перенесите каплю и испытайте на медь, смешав ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Удовлетворительной микрохимической реакции на германий, элемент, химически родственный кремнезему, мы не имеем.

Герсдорфит (NiAs).— Разложите минерал $1:1 \text{ HNO}_3$. Выщелочите остаток $1:7 \text{ HNO}_3$. Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем досуха. Остудите и прибавьте каплю $1:7 \text{ HNO}_3$, чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кри-

сталлы укажут на мышьяк. Перенесите фильтрат и смешайте его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути (метод I). Маленькие коричневые сферолиты укажут на никель. Кобальт и железо, если они есть, обозначаются одновременно. При желании на никель можно сделать диаметиловую пробу, прибавив каплю реактива непосредственно к высушенному остатку роданистого испытания.

Гессит (Ag_2Te).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро, выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Еще неудаленное серебро будет осаждено в виде творожистой белой массы. Перенесите фильтрат и прибавьте кусочек CsCl . Кубические кристаллы медово-желтого цвета укажут на теллур.

Гётит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).—Растворите минерал царской водкой. Необходимы повторные наложения ее, так как минерал не сразу поддается химическому воздействию. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl и прибавьте кусочки $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Синий аморфный порошок укажет на железо.

Гитерманнит ($3\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Проверьте, нет ли в остатке решетки азотнокислого свинца. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю, и выпарьте ее медленно над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем. Просушите, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы будут мышьяком. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте препарат досуха над микропламенем, чтобы заставить улетучиться остающиеся следы HCl . Остудите и прибавьте к первоначальному составу каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Желтые гексагональные пластинки указывают на свинец. Благодаря присутствию мышьяка кристаллы могут быть несколько искривлены.

Глаукодот (Co, Fe) AsS).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите и остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда она почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте досуха над микропламенем. Остудите и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Перенесите фильтрат и смешайте его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Испытуемая капля розовеет, что указывает на железо, а осаждение темных индиго-синих призм укажет на кобальт. Призмы иногда так темны, что синий цвет перестает быть заметным. Всего виднее он при сильном косом освещении.

Гуанахуатит ($\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочки CsCl . Тонкие радужные бесцветные ромбы и пластинки, имеющие очертание ножевых лезвий, укажут на висмут. Рассмотрите состав в косом отраженном свете. Склеивающаяся темнокрасная масса укажет на селен. Если нужно, можно сделать микрохимическое исследование на селен, разложив еще некоторое количество материала 1:1 HNO_3 . Состав затем выщелачивается каплей 1:5 HCl . Капля переносится и смешивается с каплей раствора хлористого олова (метод I). Кирпично-красный порошок будет селеном.

Делафоссит (CuFeO_2).—Растворите минерал в 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы укажут на медь. Испытуемый раствор окрашивается в красный цвет, что указывает на железо.

Джемсонит ($4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$).—Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Испытуемый раствор окрашивается в желтый цвет, что указывает на присутствие железа. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите фильтрат и прибавьте кусочек KJ . Состав около растворяющегося кусочка окрашивается в светложелтый цвет. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму. Выщелочите первоначальный остаток каплей воды и испарите его досуха, чтобы заставить улетучиться следы HCl . Остудите опять. Прибавьте к полученному остатку каплю воды.

Перенесите каплю и прибавьте кусочек Кз. Желтые гексагональные пластинки укажут на свинец.

Дискразит (Ag_3Sb). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы укажут на серебро. Выщелочите первоначальный остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек Кз. Около растворяющегося кусочка раствор пожелтеет. Прибавьте кусочек $CsCl$. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки укажут на сурьму.

До мейкит (Cu_3As). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и медленно выпарьте досуха. Остудите и прибавьте к составу каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Перенесите фильтр и смешайте с ним каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы укажут на медь.

Дюфренуазит ($2PbS \cdot As_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите и остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и выпарите ее почти досуха. Выщелочите остаток от выпаривания каплей раствора молибденовокислого аммония. Выпарьте медленно досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Выщелочите первоначальный остаток тремя последовательными каплями воды. Перенесите капли и прибавьте к каждой по кусочку Кз. Желтые блестящие гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Зигенит (Ni, Co) $_3S_4$. — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток в капле 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и растворите ее каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Если раствор покраснеет, в нем есть железо. Коричневые сферолиты будут никелем, а голубые сферолиты — кобальтом.

Золото (Au). — Цвет золота и способность резаться обычно достаточны, чтобы определить его в полированном штифе. При желании однако можно сделать микрохимическое испытание, растворив минерал в царской водке. Остаток растворяется в воде, капля переносится и смешивается с каплей пиридин- HBr раствора. Сильно плеохроничные призмы (от бесцветных до темнокрасных) установят золото.

Иорданит ($4PbS \cdot As_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры свинцовой соли. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммониевого раствора и снова медленно выпарьте над микропламенем. Когда остаток высохнет, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы установят мышьяк. Прибавьте к первоначальному составу каплю воды и выпарьте над микропламенем досуха, что и заставит улетучиться следы HCl . Остудите и прибавьте к полученному составу каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек Кз. Желтые гексагональные пластинки установят свинец. Благодаря присутствию мышьяка кристаллы иногда могут быть искривленными.

Калаверит (Au, Ag) $_2Te_2$. — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Достаточно одного или двух наложений кислоты. Остаток представляет собой белый творожистый порошок. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Белый творожистый осадок сразу растворится. Переместите каплю и прибавьте кусочек $CsCl$. Кубические кристаллы медово-желтого цвета установят теллур.

Золото останется в первоначальном растворе в маленьких металлических зернах и комках. Для определения его обычно достаточно наблюдения в косом отраженном свете с 16-мм объективом. Если вид состава недостаточно характерен, прибавьте к составу каплю царской водки и выпарьте его досуха. Останется характерное хлорное золото оранжевого цвета. Растворите его в воде, перенесите каплю и смешайте ее с каплей пиридин- HBr реактива. Сильно плеохроничные (от бесцветных до темнокрасных) призмы укажут на золото.

Серебро останется в первоначальном остатке в виде белого творожистого хлористого серебра. Выщелочите его двумя или тремя последовательными каплями 1:5 HCl , чтобы удалить следы золота и теллура, а затем каплей воды, чтобы удалить HCl . Прибавьте затем к первоначальному

остатку каплю концентрированного NH_4OH . Наблюдайте в 8-мм объектив. Через несколько секунд будут плавать маленькие бесцветные, обладающие большим преломлением кубические кристаллы.

Каллилит ($\text{Ni}(\text{Sb}, \text{Bi})\text{S}$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю, выпарьте ее досуха и прибавьте каплю диметилгликсового раствора. Розовый осадок установит никель. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Красные гексагональные пластинки установят висмут. Выщелочите первоначальный остаток другой каплей 1:5 HCl и снова повторите испытание на двойную иодиновую соль с цезием. Образуются красные и оранжевые гексагональные пластинки, указывающие и на присутствие сурьмы.

Канфиллит ($4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{SnS}_2$ с некоторым количеством германия). Разложите минерал несколькими наложениями царской водки. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl , перенесите каплю и прибавьте кусочек хлористого рубидия. Бесцветные октаэдры с высоким преломлением укажут на свинец. Испытания на германий не делается. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды, выщелочите досуха, чтобы удалить последние следы HCl . Прибавьте затем к полученному остатку каплю концентрированного NH_4OH . Наблюдайте каплю в 8-мм объектив. Через несколько секунд в растворе будут плавать маленькие бесцветные, обладающие высоким преломлением, кубические кристаллы.

Карролит ($\text{Co}, \text{Cu})\text{S} \cdot \text{Co}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю, смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Медь осаждается в виде желтовато-зеленых призм и моховидных пучков, а кобальт осаждается отдельно в виде индиго-синих призм.

Касситерит (SnO_2). — Сплавьте минерал в шарике соды в петельке платиновой проволоки. Растворите сплав в маленькой пробирочке, содержащей несколько капель 1:5 HCl . Подберите каплю при помощи капиллярной трубки и перенесите ее на пластинку. Прибавьте к капле кусочек хлористого рубидия. Бесцветные октаэдры с высоким преломлением установят олово.

Кераргирит (AgCl). — Положите кусочек минерала в каплю концентрированного NH_4OH . Через несколько секунд из раствора выделяется кристаллы AgCl . Часто они скелетообразны и непрозрачны. В косом отраженном свете они кажутся белыми. В них преобладают прямоугольные крестники и трехконечные звездочки, в которых концы расходятся из центра под углом в 120° . Тщательные поиски и повторные капли аммиака почти всегда выявят хорошо образованные прозрачные кубы и другие кубические формы.

Кермесит ($\text{Sb}_2\text{S}_3\text{O}$). — Испытание KOH очень характерно. Присутствие сурьмы может быть подтверждено микроскопически по следующему методу: разложить минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте к раствору CsCl оранжевые звездочки и гексагональные пластинки (с преобладанием звездочек) установят сурьму.

Килейит ($\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Близ растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки установят сурьму. Прибавьте к первоначальному составу каплю воды и чтобы удалить остающиеся следы HCl , выпарьте ее над пламенем. Остудите и снова прибавьте к полученному остатку каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Блестящие желтые гексагональные пластинки укажут на присутствие свинца.

Киноварь (HgS). — Разложите минерал царской водкой. Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры хлорной ртути. Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $\text{Co}(\text{NO}_2)_2$. По растворении его прибавьте кусочек роданистого калия. Индиго-синие призмы и разветвления двойной роданистой соли кобальта и ртути установят ртуть.

Клапротит ($3\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выще-

дочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы установят медь. Выщелочите первоначальный остаток двумя дополнительными каплями 1% HNO_3 и каплей воды, чтобы по возможности удалить следы меди. Удалите три капли. Выщелочите полученный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Если в капле осталась медь, она будет осаждена в виде светложелтого или серого аморфного порошка. Около растворяющего кусочка раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек КJ. Красные гексагональные пластинки установят висмут.

Клаусталит (PbSe). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры азотнокислого свинца и красного оттенка, указывающего на селен. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и смешайте с каплей раствора хлористого олова. Кирпично-красный аморфный осадок укажет на селен. Прибавьте к полученному остатку каплю воды и выпарьте ее над микропламенем, чтобы удалить следы HCl . Остудите и прибавьте к полученному остатку еще каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте к ней кусочек КJ. Блестящие желтые гексагональные пластинки установят свинец.

Клокманит (CuSe). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и испытайте раствор на медь, смешав его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы установят медь. Выщелочите полученный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора хлористого олова. Аморфный кирпично-красный осадок укажет на присутствие селена.

Кобальтин (CoAsS). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарите, несколько раз подержав пластинку над микропламенем. Когда капля будет почти, но еще не совсем, суха, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарите над пламенем. По высыхании остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Рассмотрите под микроскопом с 8-м объективом. Маленькие желтые кубические кристаллы определяют мышьяк. Перенесите фильтрат на другое место на пластинке и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути (метод I). Индиго-синие призмы установят кобальт. Если раствор розовеет, в нем есть и железо.

Ковеллин (CuS). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы укажут на присутствие меди.

Козалит ($2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры азотнокислого свинца. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. По мере растворения кусочка раствор около него желтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Желтая окраска около кусочка исчезнет и образуются красные гексагональные пластинки, указывающие на висмут. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями 1:5 HCl и удалите обе капли. Так будет удалена большая часть оставшихся следов висмута. Затем прибавьте к полученному остатку три последовательных капли воды. Перенесите каждую каплю на другое место на пластинке и испытайте посредством КJ. Первая капля благодаря следам свинца и висмута может и не дать удовлетворительного испытания на свинец, но вторая и третья капли дадут желтые гексагональные пластинки, которые установят свинец.

Колорадоит (HgTe). — Разложите минерал царской водкой. Выщелочите состав каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте к ней кусочек азотнокислого кобальта. По растворении его положите в раствор кусочек роданистого калия (KCNS). Индиго-синие разветвления и призмы установят ртуть. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl . Кубические кристаллы медово-желтого цвета установят теллур.

Коринит (NiAsS , Sb ; сурьмяный герсдорфит). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно

но выпарите. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте досуха. Прибавьте к остатку каплю $1:7 \text{HNO}_3$, чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы установят мышьяк. Перенесите фильтрат и растворите в нем каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Маленькие коричневые сферолиты установят никель. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями $1:7 \text{HNO}_3$ и прибавьте каплю воды, чтобы удалить следы мышьяка. Выщелочите затем остаток каплей $1:5 \text{HCl}$. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl . Бесцветные гексагональные пластинки укажут на присутствие сурьмы.

Креннерит (Au, AgTe_2).—Разложите минерал $1:5 \text{HNO}_3$. Достаточно одно или два наложения кислоты. Остаток представляет белый творожистый порошок. Выщелочите остаток $1:5 \text{HCl}$. Белый творожистый остаток сразу растворится. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl . Кубические кристаллы медово-желтого цвета укажут на теллур. Золото останется в полученном остатке в виде небольших металлических зерен и комочков. Обычно для определения золота достаточно наблюдения в косом свете при помощи 16-мм объектива. Если внешний вид остатка недостаточно характерен, прибавьте каплю царской водки и выпарите досуха. Получится оранжевый остаток хлорного золота. Растворите его в воде, перенесите каплю и смешайте ее с каплей пиридин- HBr реактива. Весьма плеохроичные (от бесцветных до темнокрасных) призмы укажут на присутствие золота. Серебро останется в первоначальном составе в виде творожистого белого хлористого серебра. Чтобы удалить следы золота и теллура, выщелочите его одной или двумя последовательными каплями $1:5 \text{HCl}$, затем каплей воды, чтобы удалить HCl . Прибавьте затем к полученному остатку каплю концентрированного аммиака. Наблюдайте в 8-мм объектив. Через несколько секунд в аммиаке будут плавать маленькие бесцветные кубические кристаллы AgCl .

Кубанит (CuS, 2FeS).—Разложите минерал несколькими наложениями $1:1 \text{HNO}_3$. Остаток будет оранжевым или желтым. Выщелочите состав каплей $1:7 \text{HNO}_3$. Перенесите каплю и смешайте с ней каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы установят медь.

Курпродеклуазит ($\text{Pb}_2(\text{Zn, Cu})_2\text{V}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$).—Разложите минерал $1:1 \text{HNO}_3$. Выщелочите остаток каплей $1\% \text{HNO}_3$. Перенесите каплю и смешайте с ней каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы установят медь. Если есть цинк, должен появиться типический цинковый осадок (см. описание цинково-медного изоморфного осадка на стр. 129). Два образца курпродеклуазита из разных мест, изученные автором, дали на цинк отрицательные испытания. Выщелочите первоначальный остаток каплей $1:5 \text{HCl}$ и удалите каплю из состава. Прибавьте к полученному остатку каплю воды и выпарите ее досуха над микропламенем, чтобы заставить улетучиться следы HCl . Остудите, выщелочите полученный остаток каплей воды, перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Желтые гексагональные пластинки установят свинец. Автор не делал испытания на ванадий.

Лейкопирит (Fe_3As_4).—Разложите минерал $1:1 \text{HNO}_3$. Остаток обычно имеет желтую или оранжевую окраску. Выщелочите остаток каплей $1:7 \text{HNO}_3$. Перенесите каплю и немедленно выпарите, двинув ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте тотчас каплю молибденовокислого раствора и медленно нагревайте над микропламенем. По высыхании остудите и прибавьте каплю $1:7 \text{HNO}_3$, чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Наблюдайте в микроскоп. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут мышьяк. Возьмите фильтрат и перенесите его на пластинке на другое место. Смешайте с ним каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Красная окраска раствора укажет на железо.

Лёлингит (FeAs_2).—Растворите минерал в $1:1 \text{HNO}_3$. Остаток обычно имеет желтую или оранжевую окраску. Выщелочите остаток каплей $1:7 \text{HNO}_3$. Перенесите каплю и медленно выпарите, воду над пламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно нагревайте над микропламенем. Когда капля

почти высохнет, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония. Рассмотрите под микроскопом. Маленькие желтые кубические кристаллы укажут на мышьяк. Возьмите фильтр и перенесите на другое место на пластинке. Смешайте с ним каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Красная окраска раствора укажет на железо.

Ленгенбахит ($6\text{PbS} \cdot (\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Аморфный очень мелкий молочно-белый осадок укажет на серебро, а зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы — на медь. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Возьмите и удалите каплю. Выщелочите полученный остаток тремя последовательными каплями воды и прибавьте к каждому по маленькому кусочку КJ. Блестящие желтые гексагональные пластинки укажут на свинец. Части мышьяка и меди могли попасть в первую каплю и помешать образованию характерных пластинок PbJ_2 , но вторая и третья капли должны дать хорошее испытание на свинец. Чтобы сделать испытание на мышьяк, растворите 1:1 HNO_3 новый кусочек минерала. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарите. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и медленно выпарите досуха. Остудите и прибавьте к остатку каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы будут мышьяком.

Ливингстонит ($\text{HgS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал царской водкой. Рассмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры хлорной ртути. Выщелочите состав каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек азотнокислого кобальта. Когда кусочек кобальта растворится, прибавьте кусочек KONS . Индиго-синие ветвящиеся образования и призмы установят ртуть. Выщелочите полученный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Около растворяющего кусочка раствор пожелтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки установят сурьму.

Лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). — Растворите минерал в царской водке. Необходимо повторные наложения кислоты, так как лимонит плохо поддается химическому воздействию. Прибавьте к остатку каплю 1:5 HCl и к капле кусочек $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Аморфный синий осадок будет указывать на железо.

Личнеит (Co_3S_4). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Индиго-синие призмы будут указанием на кобальт. В дополнение к кобальтовому осадку обычно осадут коричневые никелевые сферолиты.

Лорандит ($\text{Te}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Кусочек минерала при испытании в бунзенской горелке окрасит пламя в яркий зеленый цвет (галлий). Кусочек был вложен в маленькую петельку из платиновой проволоки, содержащую также капельку HCl . В тех же самых условиях медь даст голубое пламя. Испытание на мышьяк производится следующим образом. Разложите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарите ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарите на этот раз досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк.

Магнетит (Fe_3O_4). — Этот минерал плохо поддается химическому воздействию, но повторным наложением царской водки можно растворить минерал достаточно, чтобы получить испытание на железо. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Синий аморфный осадок будет указанием на железо.

Марганит (Mn_2O_3). — Растворите минерал в царской водке. Прибавьте к остатку каплю 1:7 HNO_3 и прибавьте кусочки висмутовокислого калия. Около кусочков раствор окрашивается в розовый или пурпурный цвет, характерный для марганца.

Марказит (FeS_2). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Остаток окрашивается в желтый или оранжевый цвет. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Синий аморфный осадок будет указанием на железо.

Матильдит ($\text{Ag}_2, \text{Pb})\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Желтый аморфный осадок будет указанием на свинец, а красные кристаллы на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте затем кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка KJ раствор желтеет. Красные гексагональные пластинки установят висмут. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями 1:5 HCl и удалите обе капли. Этим способом вы удалите почти весь остаток висмута. Выщелочите полученный остаток тремя последовательными каплями воды. Перенесите каждую каплю на другое место на пластинки и испытайте ее кусочком KJ . Первая капля может не дать удовлетворительного испытания на свинец, благодаря присутствию следов свинца и висмута, но вторая и третья капли дадут гексагональные пластинки, которые будут указанием на свинец.

Маухерит (Ni_3As_2). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остатки каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарите ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем на этот раз досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк. Перенесите фильтрат и выпарьте досуха. Остудите и прибавьте к остатку каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок будет указывать на никель.

Медь (Cu). — Растворите минерал в 1:1 HNO_3 . Одного наложения капли достаточно. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы будут указывать на медь.

Мелаконит (CuO). — Растворите минерал в 1:1 HNO_3 . Растворите остаток в капле 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы будут указанием на медь.

Мелонит (Ni_2Te_3). — Растворите минерал в 1:1 HNO_3 . Растворите остаток в капле 1:5 HCl . При помощи капиллярной трубки разделите эту каплю на две равные части. Испытайте одну часть, прибавив кусочек CsCl . Кубические кристаллы медово-желтого цвета будут указывать на теллур. Выпарьте другую половину капли досуха и прибавьте каплю диметилглиоксимового реактива. Розовый осадок будет указанием на никель.

Менегинит ($4\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут устанавливать сурьму. Прибавьте к полученному остатку каплю воды и выпарьте ее над пламенем, чтобы удалить следы HCl . Остудите и снова прибавьте к первоначальному составу капли воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Блестящие желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Метациннабарит (HgS). — Разложите минерал царской водкой. Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры хлорной ртути. Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 и перенесите каплю. Прибавьте кусочек $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. По растворении прибавьте кусочек роданистого калия. Индиго-синие призмы и разветвления двойной роданистой соли кобальта и ртути укажут на ртуть.

Миаргирит ($\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указывать на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор пожелтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указывать на сурьму.

Миллерит (NiS). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте ее досуха. К остатку от выпаривания прибавьте каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок будет указывать на никель.

Нагиагит ($\text{Pb}, \text{Au}, \text{Te}, \text{S}$)? — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщело-

тите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Кубические кристаллы медно-желтого цвета будут указанием на теллуру. Кристаллы, получающиеся из нагнагита, по какой-то нам неизвестной причине, размером меньше, чем кристаллы других теллуридов. Выщелочите первоначальный остаток каплей воды и выпарьте над микропламенем досуха, чтобы заставить улетучиться следы HCl. Остудите и прибавьте к полученному остатку еще каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец. Испытания на золото при помощи пиридин-НВг метода автору получить не удалось.

Науманнит ($\text{Ag}_2, \text{Pb}\text{Se}$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Желтый аморфный состав будет указанием на свинец, а красные кристаллы — на серебро. Прибавьте к первоначальному остатку каплю 1:5 HCl. Все остающееся серебро превратится в белое хлопьевидное хлористое серебро. Перенесите фильтрат и смешайте его с каплей хлористого олова. Кирпично-красный аморфный осадок будет указывать на селен. Выщелочите первоначальный остаток каплей воды и выпарьте состав над микропламенем, чтобы заставить улетучиться следы HCl. Остудите, снова выщелочите полученный остаток каплей воды, перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Желтые гексагональные пластинки будут указывать на свинец. Различить науманнит и агвиларит можно только микрохимической пробой на свинец.

Никелин (NiAs). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем, на этот раз досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 , чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указывать на мышьяк. Перенесите фильтрат и выпарьте досуха. Остудите и прибавьте к составу каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок будет никелем.

Овихит ($8\text{PbS} \cdot 2\text{Ag}_2\text{S} \cdot 5\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте маленький кусочек двуххромовокислого аммония. Аморфный желтый осадок будет указывать на свинец, а красные игольчатые кристаллы на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте к одной стороне капли небольшой кусочек KJ. Около кусочка раствор пожелтеет. Прибавьте затем к другой стороне капли кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные таблицы и звездочки будут указанием на сурьму. Если нужно, присутствие свинца может быть подтверждено выщелачиванием первоначального остатка каплей воды, переносом капли и испытанием на свинец посредством кусочка KJ.

Пеарцит ($8\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути (метод 1). Аморфный белый осадок будет указанием на серебро. Обычно в пеарците бывает значительная примесь меди, почему и есть основание предпочитать исследование роданистое исследованию двуххромовокислому. Много мышьяка выщелачивается из первоначального остатка каплей 1% HNO_3 . Обычно все же он остается в достаточном для удовлетворительного испытания количестве. Выщелочите первоначальный остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда же капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем, на этот раз досуха. Чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Мелкие желтые кубические кристаллы подтвердят мышьяк.

Пентландит ($\text{Ni, Fe}\text{S}$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте досуха. Прибавьте к составу каплю NH_4OH . Желтый студенистый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ будет реакцией на железо. Дайте аммиаку испариться. Когда состав почти высохнет, прибавьте тотчас капельку диметилглиоксимового раствора. Розовый (никелевый) осадок образует покров поверх студенистой гидроокиси железа.

Петцит ($\text{Ag, Au}\text{Te}$). Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав 1% HNO_3 . Перенесите каплю, прибавьте кусочек двуххромовокислого

аммония. Красные кристаллы будут указанием на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Кубические кристаллы медовожелтого цвета будут указывать на теллур. Наблюдайте первоначальный остаток в косом освещении с 16-мм объективом. Металлические частицы золота в остатке обычно бывают достаточно заметны, чтобы сделать излишним контрольное испытание, но, если нужно, сделайте его так: первоначальный остаток растворите в царской водке и выпарьте раствор досуха. Остаток, окрашенный в оранжевый светлокоричневый цвет, растворяется в воде, капля переносится и сливается с каплей пиридин-HBr раствора. Сильно плеохроичные (от бесцветных до темнокрасных) призмы будут доказательством присутствия золота.

Пираргирит ($3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указанием на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные таблички и звездочки будут указывать на сурьму.

Пирит (FeS_2). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Состав окрашивается в желтый или оранжевый цвет. Выщелочите состав каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек $K_4Fe(CN)_6$. Синий аморфный осадок подтвердит присутствие железа.

Пиrolюзит (MnO_2). — Растворите минерал в царской водке. Растворите остаток в капле 1:7 HNO_3 и положите несколько кусочков висмутовокислого натрия. Раствор около кусочков делается розовым или пурпурным, что указывает на марганец.

Пирротин (FeS_1+). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Остаток окрашивается в желтый или оранжевый цвет. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек $K_4Fe(CN)_6$. Синий аморфный осадок будет указывать железо.

Плагионит ($5PbS \cdot 4Sb_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указывать на сурьму. Прибавьте к первоначальному раствору каплю воды и выпарьте ее над огнем для удаления следов HCl. Остудите и прибавьте к остатку еще каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Блестящие желтые гексагональные пластинки будут указывать на свинец.

Плессит (Ni, Fe)AsS). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю. Медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте, на этот раз досуха. Остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы будут указывать на мышьяк. Перенесите фильтрат и смешайте его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Испытательный раствор краснеет, что указывает на железо, а осаждение маленьких коричневых сферолитов указывает на никель. Если желательно, подтвердите испытание на никель, дав капле, содержащей никелевые сферолиты, испариться досуха и затем прибавьте каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок подтвердит присутствие никеля.

Полибазит ($8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Белый творожистый аморфный осадок будет указывать на серебро, а за ним, при исследовании полибазита, обычно образуется медный осадок. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка состав желтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указывать на сурьму.

Полидимит (Ni_3S_4). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте досуха. К остатку от испарения прибавьте каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок будет указывать на никель.

Прустит ($3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указывать на серебро. Часть мышьяка была удалена из первоначального состава в капле 1% HNO_3 , но в первоначальном составе обычно остается достаточно мышьяка, чтобы дать удовлетворительное испытание на мышьяк. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем на этот раз досуха. Чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, остудите и прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кристаллы подтвердят мышьяк.

Псиломелан (Mn_2MnO_6). — Растворите минерал царской водкой. Растворите остаток в капле 1:7 HNO_3 и прибавьте несколько кусочков висмутовокислого натрия. Состав около растворяющихся кусочков делается розовым или пурпуровым, что указывает на марганец.

Раммельсбергит (NiAs_2). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте. На этот раз досуха над микропламенем. Остудите, и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы подтвердят мышьяк. Перенесите фильтрат и выпарьте досуха. Остудите и прибавьте к остатку каплю диметилглиоксимового раствора. Розовый осадок будет никелем.

Ратит ($3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$). — Разложите минералы 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетки азотнокислого свинца. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля состава почти высохнет, прибавьте каплю молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем. Остудите, и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые кубические кристаллы подтвердят мышьяк. Прибавьте к составу три последовательных капли воды. Перенесите каждую каплю на другое место на пластинке и прибавьте кусочек КJ. Первая капля благодаря следам As может не дать на свинец удовлетворительного испытания, но вторая или третья капли дадут желтые гексагональные пластинки, возможно несколько искривленные, указывающие на свинец.

Реальгар (AsS). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте над микропламенем, на этот раз досуха. Остудите, и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Маленькие желтые и кубические кристаллы подтвердят мышьяк.

Рецбанит ($2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в остатке решетки азотнокислого свинца. Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек КJ. Около растворяющегося кусочка раствор пожелтеет. Прибавьте кусочек CsCl . Желтая окраска около кусочка исчезнет и образуются указывающие на висмут красные гексагональные пластинки. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями 1:5 HCl и удалите обе капли. Этим способом будет удалена большая часть следов висмута. Прибавьте затем к первоначальному остатку три последовательных капли воды. Перенесите каждую каплю на новое место на пластинке и прибавьте кусочек КJ. Первая капля благодаря присутствию следов висмута и HCl может не дать на свинец удовлетворительного испытания. Вторая и третья капли должны дать желтые гексагональные пластинки, указывающие на свинец.

Риккардит. (Cu_2Te_2). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные агрегаты и призмы будут указанием на медь. Выщелочите первоначальный остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl . Кубические кристаллы медово-желтого цвета будут указывать на теллур.

Семсейт ($9\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите

те, нет ли в остатке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите состав каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Осадок около растворяющегося кусочка желтеет. Прибавьте кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки установят сурьму. Прибавьте к первоначальному осадку каплю воды и выпарьте ее над пламенем, чтобы удалить следы HCl. Остудите и к полученному остатку снова прибавьте каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Блестящие желтые гексагональные пластинки установят свинец.

Серебро (Ag).— Растворите 1:1 HNO₃. Прибавьте к остатку каплю 1% HNO₃. Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указывать на серебро.

Сильванит (Ag, Au)Te₂.— Разложите минерал 1:1 HNO₃. Достаточно одно или два наложения кислоты. Остаток будет иметь вид белого творожистого порошка. Выщелочите остаток 1:5 HCl. Белый творожистый остаток сразу растворится. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Кубические кристаллы медово-желтого цвета будут указывать на теллур. Золото останется в первоначальном остатке в виде маленьких металлических зерен и комков. Обычно для определения золота достаточно видеть остаток в косом отраженном свете 16-мм объективом. Если вид остатка недостаточно характерен, прибавьте к нему каплю царской водки и выпарьте досуха. Останется хлорное золото оранжевого цвета. Растворите его в воде, перенесите каплю, смешайте ее с каплей пиридин-НВг реактива. Сильно плеохроичные (от бесцветных до темнокрасных) призмы подтвердят наличие золота. Серебро останется в первоначальном остатке в виде творожистого белого хлористого серебра. Чтобы удалить следы золота и теллура, выщелочите его двумя или тремя последовательными каплями 1:5 HCl, а затем каплей воды, чтобы удалить HCl. Прибавьте затем к первоначальному остатку каплю концентрированного NH₄OH. Наблюдайте с 8-мм объективом, через несколько секунд в растворе аммиака будут плавать бесцветные кубические кристаллы.

Скуттерудит (Co, Ni)As₂.— Растворите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте. Когда капля высохнет, остудите, и чтобы снова растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO₃. Маленькие желтые кубические кристаллы будут подтверждать мышьяк. Перенесите фильтр и смешайте его с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Коричневые сферолиты будут указывать на никель, а синие призмы на кобальт.

Станнин (Cu₂S, FeS, SnS₂).— Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные агрегаты и изолированные призмы будут указанием на медь. Испытуемый раствор розовеет, что указывает на железо. Выщелочив остаток двумя последовательными каплями 1:7 HNO₃ и каплей воды, удалите из него последние следы меди, а затем удалите все три капли. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек хлористого рубидия. Бесцветные октаэдры с сильным преломлением будут указанием на олово.

Стефанит (5Ag₂S, Sb₂S₃).— Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток 1% HNO₃. Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указанием на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте CsCl. Оранжевые гексагональные таблички и звездочки будут указанием на сурьму.

Стибнит (Sb₂S₃).— Испытание КОН очень характерно. Присутствие сурьмы может быть подтверждено микрохимически следующим образом: разложите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте к раствору кусочек CsCl. Оранжевые звездочки и гексагональные пластинки (с преобладанием звездочек) будут указанием на сурьму.

Стромейерит (Ag, Cu)₂S.— Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1% HNO₃. Перенесите каплю и прибавьте кусочек

двухромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указанием на селен. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные агрегаты и призмы будут указанием на медь.

Сульванит (Cu₂VS₄). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Минерал плохо поддается химическому воздействию и нужны 10-кратные по меньшей мере наложения кислоты. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы будут указанием на медь. Удовлетворительным испытанием на ванадий мы не располагаем.

Сурьма (Sb). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Остаток будет белым и порошкообразным. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указанием на сурьму.

Сфалерит (ZnS). — Разложите минерал царской водкой. Выщелочите состав каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Белые перистые кристаллы будут указанием на цинк.

Теллурит (PbS. SnS). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю, прибавьте кусочек хлористого рубидия. Бесцветные, обладающие сильным преломлением октаэдри будут указанием на олово. Прибавьте к первоначальному остатку каплю воды и выпарьте над микропламенем, чтобы улетучить следы HCl. Снова остудите и прибавьте к остатку каплю воды, перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Теллур (Te). — Растворите в 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек CsCl. Кубические кристаллы медово-желтого цвета будут указанием на теллур.

Теннантит (5Cu₂S. 2(Cu, Fe, Zn)S. 2As₂S₃). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и медленно выпарьте над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте. Когда капля высохнет, остудите, и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:1 HNO₃. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк. Перенесите фильтрат и смешайте с ним каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы будут указанием на медь.

Тетрадимит (Bi₂(Te, S)₂). — Растворите минерал в 1:1 HNO₃. Растворите остаток в капле 1:5 HCl. Прибавьте кусочек CsCl. Бесцветные ромбовидные и лезвиеобразные пластинки будут указанием на висмут. Дополнительно образуются также кристаллы медово-желтого цвета, указывающие на теллур.

Тетраэдрит (5Cu₂S. 2(Cu, Fe, Zn)S. 2Sb₂S₃). — Разложите минерал 1:1 HNO₃. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO₃. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы будут указанием на медь. Выщелочите остаток, чтобы удалить медь, двумя последовательными каплями 1:7 HNO₃ и удалите обе капли. Выщелочите затем остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. По мере растворения KJ раствор около кусочка желтеет. Прибавьте кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указанием на сурьму.

Тиманит (HgSe). — Разложите минерал царской водкой. Посмотрите в косом оранжевом свете, нет ли в остатке решетки хлорной ртути и красной окраски металлического селена. Выщелочите состав 1% HNO₃. Перенесите каплю и прибавьте небольшой кусочек азотвокислого кобальта. По растворении прибавьте кусочек KCNS. Индиго-синие ветвящиеся образования и призмы будут указанием на ртуть. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора хлористого олова. Кирпично-красный аморфный осадок будет указанием на селен.

Троилит (FeS). — Растворите минерал в 1:1 HCl. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl. Перенесите каплю и прибавьте K₂Fe(CN)₆. Синий аморфный осадок будет указанием на железо.

Ульманит (NiSbS). — Растворите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и выпарьте досуха. К остатку от выпаривания прибавьте каплю диметилгликоксимового раствора. Розовый осадок будет указанием на никель. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl . Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указанием на сурьму.

Умангит (Cu_2Se_2). Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите в косом отраженном свете, нет ли в осадке красноватого оттенка, указывающего на селен. Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые моховидные агрегаты и изолированные призмы будут указанием на медь. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора хлористого олова. Кирпично-красный аморфный осадок будет указанием на селен.

Фаматинит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1:1 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля будет почти суха, прибавьте тотчас каплю раствора молибденовокислого аммония. Если в минерале есть мышьяк, на периферии капли будут видны маленькие желтые кубические кристаллы. Большинство образцов фаматинита содержит некоторые количества мышьяка, и по степени обилия осадка мышьяково-молибденовокислого аммония можно отчасти заключать о его пропорции в составе. Перенесите фильтр и испытайте его на медь двойной роданистой солью калия и ртути. Выщелочите первоначальный осадок двумя каплями 1% HNO_3 и каплей воды, чтобы удалить остатки следов меди. Выщелочите затем первоначальный осадок каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Если в капле есть медь, она будет осажена в виде светложелтого аморфного порошка. Раствор около растворяющегося кусочка KJ окрашивается в желтый цвет. Прибавьте кусочек CsCl . Желтый цвет раствора исчезнет, и появляются оранжевые гексагональные пластинки и звездочки, указывающие на сурьму. Посмотрите в косом отраженном свете, нет ли по краю капли осадка аморфной оранжевой двойной иодистой соли мышьяка и цезия.

Франкеит ($5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 2\text{SnS}_2$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте к раствору кусочек CsCl . Желтый цвет раствора исчезает и образуются оранжевые гексагональные пластинки и бесцветные октаэдры, указывающие на сурьму и олово. Выщелочите первоначальный остаток каплей воды, и чтобы удалить следы HCl , выпарьте его над микропламенем. Остудите, выщелочите первоначальный остаток каплей воды, перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Франклинит ($\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn}$) $\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$. — Растворите минерал последовательными наложениями царской водки. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей раствора двойной роданистой соли калия и ртути. Раствор краснеет, и осаждаются черные призмы неопределенных очертаний. Состав этих призм неизвестен, но в них могут присутствовать и цинк и марганец. Исследуемый раствор принимает темнокрасный цвет, что указывает на железо. Растворите дополнительно посредством царской водки новый материал, выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и испытайте на марганец при помощи кусочка висмутовокислого натрия. При испытании на марганец нужно значительное количество порошка франклинита. Франклинит с трудом подвергается действию кислот, но настойчивыми усилиями можно растворить достаточно марганца для удовлетворительного испытания.

Фрейбергит $5(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$. — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Белый творожистый осадок будет указанием на серебро, а зеленовато-желтые моховидные пучки и призмы на медь. Выщелочите первоначальный остаток двумя последовательными каплями 1:7 HNO_3 и каплей воды, чтобы удалить следы меди. Выщелочите затем первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор

желтеет. Если в капле есть медь, она осаждается в виде аморфного светло-желтого или серого порошка. Прибавьте кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указанием на сурьму.

Фрейеслебенит ($3Ag_2S \cdot 4PbS \cdot 3Sb_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы, обычно имеющие игольчатые формы, будут серебром, а желтый аморфный осадок свинцом. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около кусочка раствор пожелтеет. Введите затем с другой стороны капли кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки будут указанием на сурьму. Если нужно, присутствие свинца можно подтвердить, прибавив к первоначальному остатку каплю воды, перенеся каплю и прибавив кусочек KJ. Блестящие желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Халькозин (Cu_2S). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Достаточно одного наложения кислоты. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и иглоподобные призмы будут указанием на медь.

Халькопирит ($CuFeS_2$). — Разложите минерал несколькими наложениями 1:1 HNO_3 . Остаток оранжевый или желтый. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 , перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и призмы будут указанием на медь. Капля покраснеет, что указывает на железо.

Халькостит ($Cu_2S \cdot Sb_2S_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите состав каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и призмы будут указанием на медь. Чтобы удалить медь, выщелочите остаток двумя последовательными каплями 1:7 HNO_3 . Удалите обе капли. Выщелочите затем состав каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ. Около растворяющегося кусочка KJ раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl. Оранжевые гексагональные пластинки и звездочки будут указанием на сурьму.

Халькофанит ($Mn_2ZnO_4 \cdot 2MnO_2 \cdot 2H_2O$). — Растворите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте ее с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Осадок из фиолетовых или пурпурных призм будет цинком. Обычно можно наблюдать известное количество крестиков, но значительное большинство кристаллов имеет стреловидные формы и представляет короткие призмы с изломанными концами. Растворите царской водкой новый материал. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 , перенесите каплю и введите несколько кусочков твердого висмутовокислого натрия. Около кусочков раствор делается пурпурным, что указывает на марганец.

Хлоантит ($NiAs_2$). — Растворите минерал царской водкой. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее почти досуха. Прибавьте затем каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте, двигая пластинку над микропламенем. После высушивания остудите, и чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония, прибавьте каплю 1:7 HNO_3 . Посмотрите с 8-мм объективом. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк. Перенесите фильтрат на другое место на пластинке и смешайте его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Маленькие коричневые сферолиты будут указанием на никель. Если желательно, испытание это можно подтвердить, высушив каплю и прибавив диметилглиоксимовый раствор непосредственно к сферолитам. Если никель, образуется розовый осадок. Предпочтение роданистому испытанию мы отдаем потому, что железо и кобальт содержатся в хлоантите обычно изоморфно, и роданистым раствором оба немедленно осаждаются.

Хромит ($FeO \cdot Cr_2O_3$). — Порошок плохо поддается действию кислот, но можно растворить его в достаточном для испытания количестве, всыпав порошок в царскую водку и выпарив досуха. Обычно достаточно 10 последовательных капель. Выщелочите остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $K_4Fe(CN)_6$. Синий аморфный осадок будет железом. Удовлетворительного испытания на хром нет.

Цилиндрит ($6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot SnS_2$) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте к раствору кусочек $CsCl$. Желтый цвет раствора исчезает, и образуются оранжевые гексагональные пластинки и бесцветные октаэдры, указывающие на сурьму и олово. Выщелочите первоначальный остаток каплей воды и выпарьте над микропламенем, чтобы заставить улечься остаток HCl . Остудите, выщелочите остаток каплей воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Желтые гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Цинкенит ($PbS \cdot Sb_2S_3$) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Посмотрите, нет ли в осадке решетчатой структуры, указывающей на свинец. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек хлористого цезия. Оранжевые гексагоны и звездочки будут указанием на сурьму. Прибавьте к первоначальному осадку каплю воды и выпарьте ее над пламенем, чтобы удалить следы HCl . Остудите и снова прибавьте к осадку каплю воды. Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Желтые блестящие гексагональные пластинки будут указанием на свинец.

Шапбахит ($Ag_2S \cdot PbS \cdot Bi_2S_3$) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Желтый аморфный осадок будет указанием на свинец, а красные кристаллы на серебро. Выщелочите остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и прибавьте на одном из краев капли кусочек KJ . Около кусочка раствор желтеет. Прибавьте кусочек $CsCl$ с другой стороны капли. Красные гексагональные пластинки будут указанием на висмут. Если нужно, присутствие свинца можно подтвердить следующим образом: выщелочите первоначальный остаток тремя последовательными каплями 1:5 HCl , удаляя каждую. Так устранившись большая часть следов висмута. Выщелочите остаток последовательными каплями воды, испытывая каждую кусочком KJ . Первая капля вследствие присутствия висмута может дать неопределенный результат, но так как в воде висмут гидролизует, вторая или третья капля дадут хорошие гексагональные пластинки.

Шмальтит-хлорантин (Co, Ni) As_2) — Растворите минерал царской водкой. Растворите остаток в капле 1:7 HNO_3 и медленно выпарьте каплю. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю реактива молибденовокислого аммония и медленно выпарьте досуха, остудите, прибавьте к составу каплю 1:7 HNO_3 и наблюдайте с 8-мм объективом. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк. Перенесите фильтр и смешайте его с каплей двойной роданистой соли калия и ртути. Если раствор покраснеет, в нем есть железо. Коричневые сферолиты будут указанием на никель, а синие сферолиты на кобальт.

Штернбертит ($AgFeS_3$) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указанием на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек $K_2Fe(CN)_6$. Аморфный синий осадок будет указывать на железо. Большая часть железа уносится вместе с серебром в первой капле, но в остатке его обычно останется достаточно, для того чтобы дать хорошие результаты при испытании.

Эвкайрит ($Cu_2Se \cdot Ag_2Se$) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и призмы будут указанием на медь, а аморфный молочно-белый порошок на серебро. Выщелочите первоначальный остаток каплей 1:5 HCl . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю раствора хлористого олова. Кирпично-красный аморфный осадок будет селеном. Часть металлического селена вероятно останется в первоначальном остатке в виде красного порошка; это лучше всего наблюдать в косом отраженном свете с 16-мм объективом.

Электрум (сплав Au и Ag) — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и прибавьте кусочек двуххромовокислого аммония. Красные кристаллы будут указанием на серебро. Рассмотрите остаток в косом отраженном свете. Для определения элемента обычно достаточно золотистого цвета частиц остатка. Если же внешний вид осадка недостаточно характерен, растворите остаток в царской водке. Перенесите каплю и смешайте с ней каплю пиридин- HBr

раствора. Сильно плесхохроичные красные призмы будут доказательством наличия золота.

Эмлектит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток каплей 1% HNO_3 . Перенесите каплю и смешайте с ней каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и призмы будут указанием на медь. Выщелочите первоначальный остаток двумя дополнительными каплями 1% HNO_3 и каплей воды, чтобы удалить как можно больше следов меди. Удалите все три капли. Выщелочите остаток каплей 1:1 HCl . Перенесите каплю и прибавьте кусочек KJ . Если в капле была захвачена медь, она оседет в виде светложелтого или серого аморфного порошка. Около растворяющегося кусочка раствор желтеет. Прибавьте затем кусочек CsCl . Красные гексагоны будут указанием на висмут.

Энарцит ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot 4\text{CuS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$). — Разложите минерал 1:1 HNO_3 . Выщелочите остаток 1:7 HNO_3 . Перенесите каплю и медленно выпарьте ее над микропламенем. Когда капля почти высохнет, прибавьте каплю раствора молибденовокислого аммония и снова медленно выпарьте. Когда капля высохнет, охладите и прибавьте каплю 1:7 HCl , чтобы растворить избыток молибденовокислого аммония. Маленькие желтые кубические кристаллы будут указанием на мышьяк. Перенесите фильтрат и смешайте с ним каплю двойной роданистой соли калия и ртути. Зеленовато-желтые мохообразные пучки и призмы будут указанием на медь.

Указатель предметов

Абразивные вещества, калибровка	19	Монтировочный прибор	13
Бакелит	20	Мышьяк, микроскопическое испытание	152
Биннентальские минералы	105	Никель, микрохимическое испытание	132
Бушевская лампа (Busch)	45	Нитрозо-β-нафтол	135
Висмут, микрохимическое испытание	158	Олово, микрохимическое испытание	160
Внутреннее отражение в минералах, таблица	37	Определительные таблицы	60
Железо, микрохимическое испытание	137	Оспариваемые и сомнительные минералы	106
Золото, микрохимическое испытание	150	Печь для нагревания	15
Игла долотообразная	115	Пила алмазная	16
Иллюминатор вертикальный	9	Пластелин	13
Кадмий, микрохимическое испытание	130	Пластинка Wratten M. панхроматическая	28
Камера, аш и Ломба — модель Ле Шагеля	26	Пластины стеклянные	118
Камера импровизированная	23	Поляризованный свет	42
Капиллярные трубочки	120	Порошки минералов, таблица цветов	38
Кобальт, микрохимическое испытание	133	Приготовление тонких полировальных порошков	18
Коллолит	21	Пропитывание шлифа	20
Крокос черный магнитный	18	Проявление фотографических пластинок	31
Купферрон	139	Пузырьки стеклянные, закупоривающиеся капельницами	127
Магnezия	17	Райтовский (Wright) бикварцевый клин	48
Марганец, микрохимическое испытание	165	Реактивы микрохимические	126
Медь, микрохимическое испытание	130	Реактивы травления	52
Металлографический микроскоп	9	Роданистая двойная соль калия и ртути, приготовление	126
Микрогорелка спиртовая	119	Ртуть, микрохимическое испытание	140
Микрохимические методы	114	Световые фильтры	27
Минераграфия	9		
Минералогия	9		
Монтировка шлифов, медная	13		

Свинец, микрохимическое испытание	141	Указатель минералов алфавитный	62
Селен, микрохимическое испытание	163	Указатель минералов по элементам	107
Сера, микрохимич. испытание	166	Формула экспозиции при фотোগрафировании	30
Серебро, микрохимическое испытание	145	Фотографии полированных шлифов	22
Систематическая схема микрохимического анализа	170	Халькография	9
Специальные испытания для минералов	175	Цвет	33
Сравнительный микроскоп	35	Цинк, микрохимическое испытание	127
Сургуч	15	Чувствительность микрохимических испытаний	124
Сурьма, микроскопическое испытание	156	Шлифовальные вещества	19
Схема определительных таблиц	66	Шлифовальный процесс в Геологическом департамент-е С. Ш.	16
Твердость	39	Шлифовальный процесс в Миннесотском университете	22
Теллур, микрохимич. испытание	162	Шлифовальный процесс в Харвардском университете	21
Трубочки капиллярные	120		
Тальмайджа (Talmage) прибор для испытания на твердость	40		

Примечания

- 1 Murdoch J. Microscopical determination of the opaque minerals, New-York 1916.
- 2 Davy W. M. and Farnham C. M. Microscopic examination of the ore minerals, New York 1920.
- 3 Schneiderhöhn H. Mikroskopische Bestimmung und Untersuchung von Erzen, Berlin 1922.
- 4 Van der Veen R. W. Mineragraphy and ore deposition, The Hague, 1925.
- 5 Whitehead W. L. Notes on the technique of mineragraphy. „Econ. Geology“, т. 12, стр. 697, 1917.
- 6 Webster's New International Dictionary. Это несоответствие терминологии впервые было отмечено Е. Е. Найрбанкс в неопубликованной работе.
- 7 Van der Veen R. W., op. cit., стр. 3.
- 8 Davy W. M. and Farnham C. M., op. cit., стр. 5.
- 9 Short M. N. Preparation of polished sections of ores. „Econ. Geology“, т. 21, стр. 658, 1926.
- 10 Davy W. M. and Farnham C. M., op. cit., стр. 2.
- 11 Vanderwilt J. W. A simple diamond saw. „Econ. Geology“, т. 25, стр. 22, 1930.
- 12 Ross C. S. A method of preparing thin sections of friable rocks., „Am. Jour. Sci.“, 5th ser., т. 7, стр. 483, 1924; Methods of preparation of sedimentary materials for study. „Econ. Geology“, т. 21, стр. 454—468 1926.
- 13 Short M. N. The preparation of polished sections of ores. „Econ. Geology“, т. 21, стр. 653, 1926.
- 14 Vanderwilt J. W. Improvements in the polishing of ores. „Econ. Geology“, т. 23, стр. 292, 1928.
- 15 Schwartz G. M. Discussion on polishing methods. „Econ. Geology“, т. 22, стр. 193, 1927.
- 16 Davy W. M. and Farnham C. M., op. cit., стр. 12.
- 17 Murdoch J., op. cit., стр. 28.
- 18 Talmage S. B. Diagnostic value of color in polished sections. „Econ. Geology“, т. 20, стр. 171, 1925.
- 19 Talmage S. B., op. cit., стр. 173.
- 20 Idem, стр. 174.
- 21 Murdoch J. Microscopical determination of the opaque minerals, стр. 28 New York, 1916.
- 22 Schneiderhöhn H. Mikroskopische Bestimmung und Untersuchung von Erzen, стр. 91, Berlin, 1922.
- 23 Прекрасный разбор твердости минералов см. Talmage S. B. Quantita-

tive standards for hardness of the ore minerals. „Econ. Geology“, т. 20, стр. 531—553, 1925.

¹³ Murdoch J., op. cit., стр. 29.

²⁴ Van der Veen R. W., op. cit., стр. 28.

²⁵ Talmage S. B. Quantitative standards for hardness of the ore minerals, „Econ. Geology“, т. 20, стр. 535—543, 1925.

²⁶ Vanderwilt J. W. The nature of polished surfaces (doctor's thesis, Harvard University), стр. 70, 1927.

²⁷ Koenigsberger J. Ueber einen Apparat zur Erkennung und Messung optischer Anisotropie undurchsichtiger Substanzen und dessen Verwendung: „Centralbl. f. Mineralogie“, стр. 565—573, 597—603, 1908. Английский перевод Winchell N. H. and A. N., Elements of optical mineralogy, стр. 465—475, 1909.

²⁸ Wright F. E. Polarized light in the study of ores and metals. „Am. Philos. Soc. Proc.“, т. 58, стр. 401—447, 1919.

²⁹ Schneiderhöhn H. Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten besonders in auffallenden Licht, стр. 65—71, Berlin 1922.

³⁰ Sampson Edward. Note on the determination of anisotropism in metallic minerals. „Econ. Geology“, т. 18, стр. 775—777, 1923.

³¹ Van der Veen J. W. Mineragraphy and ore deposition, стр. 32—36, The Hague, 1925.

³² Osborne F. F. Technique in the investigation of ores. „Econ. Geology“, т. 23, стр. 442—450, 1928.

³³ Fairbanks E. E. The laboratory investigation of ores, стр. 24—27, New York 1928.

³⁴ Sampson Edward. The determination of anisotropism in metallic minerals. „Econ. Geology“, т. 24, стр. 412—423, 1929.

³⁵ Нижеследующее описание трех способов установления анизотропности взято почти буквально из статьи Sampson („Econ. Geology“, т. 24, стр. 415—418, 1929).

³⁶ Davy W. M. and Farnham C. M., op. cit., стр. 8.

³⁷ Kerr P. F. and Cabeen C. K. Electrical conductivity of the ore minerals. „Econ. Geology“, т. 20, стр. 729—737, 1925.

³⁸ Harvey R. D. Electrical conductivity and polished sections. „Econ. Geology“, т. 23, стр. 778, 1928.

³⁹ Thiel G. A. The manganese minerals; their identification and paragenesis. „Econ. Geology“, т. 19, стр. 107, 1924.

⁴⁰ Smitheringale W. V. Etching tests and X-ray examinations of some manganese minerals. „Econ. Geology“, т. 24, стр. 481, 1929.

⁴¹ Керр Г. в частном сообщении автору высказал мысль, что для многих образцов термин „спайности травления“ неясен, и что там, где кливаж идет по двойниковым плоскостям, предпочтительнее пользоваться термином „отдельности травления“.

⁴² Wherry E. T. The nomenclature and classification of sulfide minerals: Washington Acad. Sci. Jour., vol. 10, стр. 489—496, 1920. Wherry E. T. and Foshag W. P. A new Classification of the sulfo salt minerals; Idem, т. 11, стр. 2—8, 1921.

⁴³ Broderick T. M. in Butler B. S., and others, The copper deposits of Michigan. „U. S. Geol. Survey Prof. Paper“ 144, стр. 56, 1929.

⁴⁴ См. Short M. N. and Shannon E. V. Violarite and other rare nickel sulphides. „Am. Mineralogist“, т. 15, стр. 2—7, 1930.

⁴⁵ См. также Ramdohr P. Klockmannite, ein neues naturalisches Kupferselenid. „Centralbl. f. Mineralogie“, Abt. A., No 7, стр. 225—237.

⁴⁶ См. Shannon E. V. The identity of carrollite with linnaeite. „Am. Jour. Sci.“, 5th ser., т. 11, стр. 489—493, 1926.

⁴⁷ См. Shannon E. V. and Short M. N. A reexamination of the lead sulphosalt keeleyite from Bolivia. „Am. Mineralogist“, т. 12, стр. 405—408, 1927; discussion by E. T. Wherry, idem, т. 13, стр. 29—30, 1928.

⁴⁸ Thomson E. A mineralogical study of the pyrite group. „Toronto Univ. Studis, Geol. Ser.“, No. 12, стр. 36, 1921.

⁴⁹ См. Short M. N. and Shannon E. V. Violarite and other rare nickel sulphides. „Am. Mineralogist“, т. 15, стр. 12—14, 1930.

⁵⁰ Формула, сопровождающая название каждого минерала, обычно принята в литературе.

⁵¹ Frebold G. Ueber einige Selenerze und ihre Paragenesen im Harz. „Centralbl. f. Mineralogie“, Abt. A., стр. 16—32, 1927.

⁵² См. Posnjak E. and Merwin H. E. The system ferric oxide-sulphur trioxide-water. Am. Chem. Soc. Jour., т. 44, стр. 1971, 1922.

⁵³ Boricky E. Elemente einer neuen chemische-mikroskopischen Mineral- und Gesteins-Analyse: Naturwiss. Landesdurchf. Böhmen Archiv, Band 3, Prague, 1877. Английский перевод Winchell S. H., Minnesota Geol. Survey Ann. Rept., т. 19, стр. 1—80, 1922.

⁵⁴ Behrens H. Mikrochemische Methoden, Amsterdam, 1882.

⁵⁵ Behrens H. A manual of microchemical analysis, London, 1894.

⁵⁶ Behrens H. Mikrochemische Analyse. Revid. v. P. D. C. Kley, Leopold Voss, Leipzig, 1921.

⁵⁷ Chamot E. M. Elementary chemical microscopy, New York, 1921.

⁵⁸ Lindgren Waldemar, Microchemical methods. „Econ. Geology“, т. 19, стр. 762, 1924.

⁵⁹ McKinstry H. E. Microchemical methods in the identification of opaque minerals. „Econ. Geology“, т. 22, стр. 830, 1927.

⁶⁰ Putnam P. C. Roberts E. J. and Selchow D. H. Contributions to determine mineralogy. „Am. Jour. Sci.“, 5th ser., т. 15, стр. 89—102, 253—261, 423—430, 455—460, 1928.

⁶¹ Этот метод перенесения материала с полированной го шлифа на стеклянную пластинку был применен Д-р К. Н. Landes в его бытность студентом в лаборатории экономической геологии в Харвардском университете.

⁶² Behrens H. V. Op. cit., стр. 155, 1921.

⁶³ Chamot E. M., op. cit., стр. 286.

⁶⁴ Chamot E. M., op. cit., стр. 150.

⁶⁵ Chamot E. M., op. cit., стр. 153.

⁶⁶ Idem, p. 293, рис. 153.

⁶⁷ Chamot E. M., op. cit., стр. 298.

⁶⁸ Chamot E. M., op. cit., стр. 299.

⁶⁹ Chamot E. M., op. cit., стр. 302.

⁷⁰ Есть русский перевод: Г. Беренс и П. Д. Клей. Микрохимический анализ, часть 1. Перевод под ред. А. Н. Реформатского. 1928 г. Прим. ред.

⁷¹ Эта схема принадлежит Putham, Roberts и Selchoro (см. цит. статьи).

⁷² Мы выражаем в нашей работе ради удобства растворы в процентах растворенной соли. Это не совсем точно, потому что 1 см³ раствора весит более 1 г. Концентрации, как они нами даются, суть в действительности граммы соли на 100 см³ раствора.

⁷³ Этот раствор состоит из 1 см³ 10% уксуснокислого цинка, прибавленного к 1 см³ 0.01% уксуснокислой меди. Приведенные выше процентные данные суть проценты каждой из солей, выраженные в терминах всего раствора.

⁷⁴ Chamot E. M., op. cit., p. 355.

⁷⁵ McKinstry H. E., Microchemical methods in the identification of opaque minerals. „Econ. Geology“, т. 22, стр. 830, 1927.

⁷⁶ Mellor J. W., A treatise on chemical analysis, стр. 394, London, 1913.

⁷⁷ Clennell J. E. The estimation of cobalt by the nitroso-β-naphthol: Mining Mag. (London), т. 36, стр. 272, 1927.

⁷⁸ Behrens H. and Kley P. D., op. cit., стр. 77.

⁷⁹ Chamot E. M., op. cit., стр. 413.

⁸⁰ Treadwell F. P. and Hall W. T. Analytical chemistry, p. 838, New York, 1916.

⁸¹ Купферрон можно получить от фирмы Eastmann Kodak Co по 6 центов за 1 г.

⁸² В настоящей работе мы обозначаем это соединение как „нормальный иод-стый свинец“, чтобы отличить его от основного иодистого свинца и двойных иодистых солей свинца с калием, висмутом и другими элементами.

⁸³ Chamot E. M., op. cit., стр. 370.

⁸⁴ Idem, стр. 372.

⁸⁵ Chamot E. M., op. cit., стр. 374.

⁸⁶ Chamot E. M., op. cit., рис. 162, стр. 396.

⁸⁷ Behrens H. and Kley P. D. C., op. cit., стр. 136, рис. 93.

⁸⁸ В этом случае автор расходится с Шамо.

⁸⁹ Chamot E. M., op. cit., рис. 154, стр. 294.

⁹⁰ В основу этой схемы положена схема бывших учеников автора, д-ров Н. J. Fraser и Н. A. Powers.

2 р 78
Цена 3 руб. 25 коп.

Индекс ГР-65-5-2(4)

2197

А Н Н О Т А Ц И Я

В книге известного американского ученого М. Н. Шорта использован богатый опыт рудной лаборатории Геологического комитета САСШ. Книга дает ценные практические советы по микроскопической методике изучения руд, позволяющие применять различные методы даже в примитивной обстановке, что особенно важно для наших рудных лабораторий полевых партий и для работы отдельных геологов.

В отличие от других руководств в книге М. Н. Шорта подробно изложено применение микрохимии и поляризованного света. Книга может быть широко и пользована геологами-разведчиками и минералогами, работающими в области изучения руд.

217