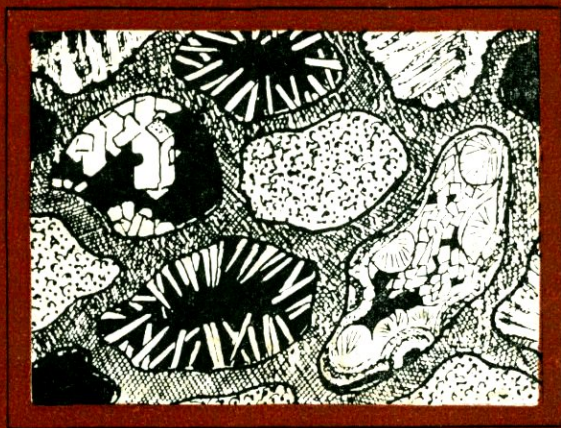


С. А. ЮШКО

МЕТОДЫ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ
ОКИСЛЕННЫХ РУД



549

МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ РУД

Издание третье, переработанное и дополненное



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва, 1973

514

Юшко С. А. Методы минералогического исследования окисленных руд. Изд. 3-е, переработ. и доп. М., «Недра», 1973. 60 с.

Описана полевая лаборатория, с помощью которой предполагается проведение реакций микрохимического анализа для диагностики минералов окисленных руд. Рассмотрены методы микроскопического изучения окисленных руд в полированных шлифах в отраженном свете и приведены таблицы диагностических свойств главнейших минералов окисленных руд различных металлов. Дана методика текстурно-структурного анализа окисленных руд, особо отмечено значение этого метода для выяснения условий формирования окисленных зон месторождений полезных ископаемых.

Книга рассчитана на геологов и минералогов поисковых и разведочных партий, а также может быть рекомендована в качестве руководства по определению минералов для преподавателей и студентов геологических специальностей вузов.

Таблиц 3, иллюстраций 24, список литературы — 14 названий.

ВВЕДЕНИЕ

Главными задачами геолога при проведении поисковых и разведочных работ являются обнаружение полезного ископаемого, выявление закономерностей его распределения и площадей распространения.

Яркие, хорошо запоминающиеся цвета многих гипергенных минералов в рудах цветных и редких металлов облегчают в известной степени геологопоисковые работы. Хорошо различаются по окраске свинцовые минералы (в желтые тона окрашены глет и масскот, в кирпично-красный — сурик, в кроваво-красный — кроконт, в зеленый — пироморфит), медные (зеленый — малахит, синий — азурит, темно-серый — тенорит), кобальтовые (телесно-розовый — эритрин) и др. Многие минералы обладают настолько характерным цветом, что едва ли возможны ошибки при их диагностике в поле. В таких случаях микрохимические реакции необходимы только для малоопытного минералога.

В то же время, вследствие сложного состава первичных руд, окисленные руды представлены обычно агрегатами, состоящими из нескольких минералов. Одним из постоянных спутников сульфидного оруденения является пирит, который в зоне окисления обычно превращается в гидроокислы железа, окрашенные в различные оттенки коричневого цвета. Гидроокислы железа образуются также при изменении (окислении) других железосодержащих сульфидов (халькопирит, борнит и др.). Очень часто гипергенные минералы меди, свинца, цинка, никеля, кобальта и других элементов маскируются гидроокислами железа, а иногда и гидроокислами марганца, вследствие чего при поисковых работах следует осматривать и проверять с помощью микрохимических реакций участки пород, сложенные гидроокислами железа и марганца и окрашенные в бурые и коричневые цвета. Особое внимание на них должно быть обращено в тех случаях, когда эти образования приурочены к тектоническим трещинам, зонам расщепления, а также к карстовым полостям в карбонатных породах.

Посредством микрохимических реакций в поле может быть проверено содержание тех или иных металлов в значительно большем количестве штурфов, по сравнению с тем, какое обычно доставляется в лабораторию. Кроме того, непосредственно в обнажениях или на

старых отвалах руда должна быть исследована с помощью лупы и химических реакций. Подобное исследование, проведенное на большом материале, имеет огромное значение для оценки перспективности данной точки рудопроявления. Все сказанное дает основание рекомендовать разработанные автором химические реакции не только при поисковых работах, но также для работы ревизионных партий.

Разработанный автором фазовый анализ (с помощью метода отпечатков) дает возможность установить минеральную форму некоторых элементов, например, свинца (англезит, церуссит, вольфенит, ванадинит и др.), цинка (смитсонит, каламин, госларит и др.), молибдена (повелит, вольфенит, молибденит) и др. Кроме того, могут быть установлены различные разновидности ярозита, псиломелана и других минералов путем определения в них элементов, присутствие которых и является поводом к выделению этих разновидностей (например, плюмбоязозит, цезаролит и др.).

С помощью специальных пленочных реакций можно определить некоторые элементы в минералах: олово — в касситерите, вольфрам — в шеелите, железо — в анкерите и т. д., либо отличить сходные между собой минералы, как кальцит, доломит, магnezит, анкерит и др.

Применение химических реакций желательно и при геологической документации оруденения в горных выработках. Оно наиболее рационально при вкрапленном характере оруденения или в тех случаях, когда визуальным путем границы оруденения установить не удается.

Большое значение имеют химические реакции и при проведении разведочных буровых работ, где они должны служить для документации опробования кернов скважин. В данном случае рекомендуется пользоваться не только реакциями капельного и пленочного анализов, но и методом отпечатков. Как уже указывалось, последний позволяет установить не только присутствие того или иного химического элемента и его минеральную форму, но и площадь распространения минерала на поверхности керна, что позволит составить ориентировочное представление о его количественном содержании в руде. Химические реакции по методу отпечатка могут применяться при сплошном опробовании керна, что изменит порядок выполнения химических анализов, так как в первую очередь для химического анализа могут отбираться только такие пробы керна, в которых с помощью реакций (капельных, пленочных или по методу отпечатков) был обнаружен соответствующий элемент. Применение химических реакций позволит должным образом направить разведку.

Первичные, особенно сульфидные, руды претерпевают в поверхностных условиях изменения, связанные с действием агентов физического и химического выветривания. Часто они настолько сильно изменяются, что при проведении поисковых работ определение их первоначального характера представляет большие затруднения.

Влияние поверхностных агентов особенно резко сказывается на изменении текстуры и структуры, а также на характере минерального состава. При этом образуются три типа почти всегда совместно встречающихся текстур: выщелачивания, раздробления и перетложения. Наибольший интерес представляют текстуры выщелачивания — ящичные, ячеистые, губчатые и др.

Некоторые исследователи (С. Смирнов, 1951; В. Смирнов, 1948) предполагают, что эти текстуры могут быть широко использованы в качестве руководящих при проведении поисковых работ на существенно сульфидные руды в глубоких горизонтах. По реликтам текстур иногда удается восстановить присутствовавшие в первичной руде минералы (сфалерит, анкерит, галенит и др.). Однако, если гипергенные (окисленные) руды очень сильно изменены и существенное значение приобретают текстуры раздробления и перетложения с характерными скрытокристаллическими и колломорфными минералами, то значение текстур выщелачивания как поискового критерия становится настолько условным, что их невозможно использовать при поисках.

Диагностика минералов на основе их физических признаков для гипергенных руд имеет второстепенное значение, так как может быть использована лишь для кристаллических разновидностей минералов. Скрытокристаллические и колломорфные минералы, наиболее широко распространенные в гипергенных рудах, обычно с трудом различимы даже под микроскопом; для их исследования должны быть разработаны специальные методы.

Настоящее руководство посвящено методике изучения минералов гипергенных (окисленных) руд с применением химических реакций. Учитывая большое значение текстурно-структурного анализа при изучении окисленных руд, как одного из методов, с помощью которого могут быть определены условия формирования зон окисления и палеогидрохимическая история развития последних, в книге приведено описание основных приемов методики проведения текстурно-структурного анализа окисленных руд.

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ПОЛЕВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ОПРОБОВАНИИ РУД

При проведении поисковых и разведочных работ рекомендуется применять разработанную автором полевую лабораторию ЛОР (рис. 1). Лаборатория снабжена реактивами по списку, рекомендованному в учебнике по минераграфии С. А. Юшко (1971), инвентарем и реактивами для паяльной трубки. С помощью этой лабо-

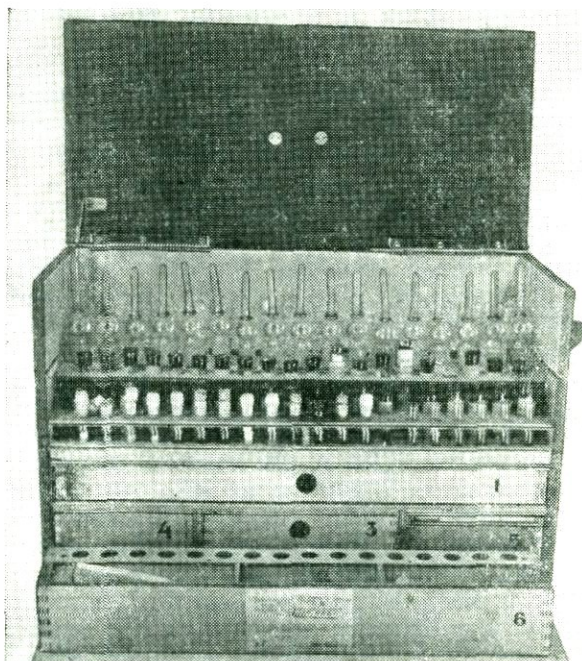


Рис. 1. Полевая лаборатория (ЛОР):

1 — ящик для инструментов при проведении реакций с паяльной трубкой; 2, 3, 4, 5 — ящики с инструментами для проведения реакций по методу отпечатков и маршрутная лаборатория; 6 — подставка для подбора реактивов (набор № 1 или № 2) при проведении реакций (ящик 2 расположен под ящиком 3 и из-за подставки 6 не виден)

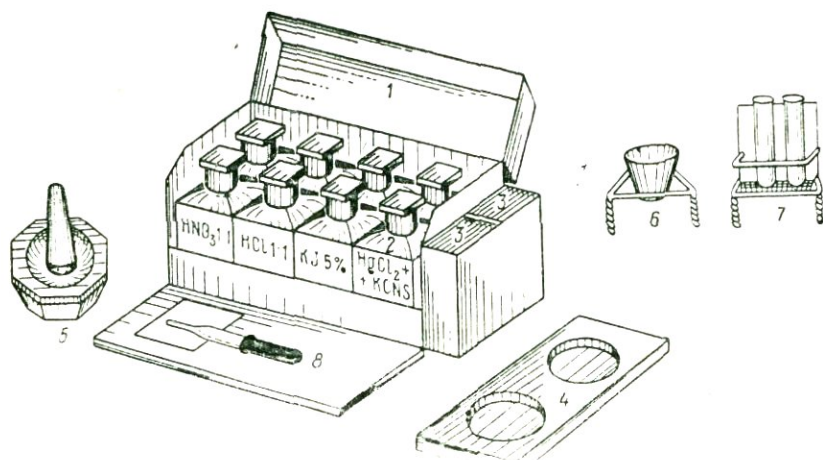


Рис. 2. Малая полевая лаборатория:

1 — лабораторный ящик; 2 — склянки для реактивов; 3 — фильтровальная бумага; 4 — фарфоровая пластинка с гнездами для порошков; 5 — ступочка; 6 — фарфоровый тигель; 7 — микропробирки для проведения реакций с растворами; 8 — пипетка

ратории в полевых условиях можно провести полный микрохимический анализ агрегативных гипогенных и гипергенных руд и анализ шлиховых проб. Пользуясь той же лабораторией, в стационарных условиях удастся произвести и определение некоторых минералов с помощью паяльной трубки. Однако при всей компактности упаковки вес лаборатории превышает 10 кг, что исключает возможность ее использования при микрохимическом опробовании руд во время маршрута. Для этих целей более удобна предлагаемая автором малая полевая лаборатория (рис. 2). К ней подобраны два различных набора реактивов, используемых в зависимости от содержания в рудах тех или иных элементов.

В набор № 1 входят следующие реактивы: соляная кислота (1:20), азотная кислота (1:1), иодистый калий (5%-ный водный раствор), азотнокислая или сернокислая медь (1%-ный водный раствор), ртутнородановая соль (8 г сулемы+10 г KCNS в 100 мл воды), желтая кровяная соль (5%-ный водный раствор), насыщенный уксуснокислый раствор бензидина. Пользуясь этим набором, можно определять в рудах элементы Pb, Zn, Mo, V, Cu, Mn, Fe и U.

Набор № 2 состоит из следующих реактивов: соляная кислота (1:1), азотная кислота (1:1), азотнокислый цинк (1%-ный водный раствор), красная кровяная соль (5%-ный водный раствор), насыщенный раствор SnCl_2 в соляной кислоте, диметилглиоксим (1%-ный спиртовой раствор), аммиак (10%-ный водный раствор) и перекись водорода (10%-ный водный раствор). Этот набор пригоден для определения в рудах Co, Ni, As, Sb, Sn, Mn, V, Mo.

Перед выходом в поле следует проверить реактивы, так как с течением времени они разлагаются. Например KI, разлагаясь, окрашивается иногда в бурный цвет и становится непригодным для реакций на Pb, то же следует сказать и о растворах желтой и красной кровяной соли. При аккуратном использовании и хранении реактивы долгое время не требуют замены.

Пользуясь рекомендованными наборами реактивов, исследователь с небольшой затратой времени с помощью реакций капельного анализа может произвести определение в рудах Pb, Zn, Mo, V, U, Fe, Co, Ni, As, Cu и других элементов. С помощью прилагаемых к полевой лаборатории (ЛОР) паяльной трубки и платиновой проволочки могут быть определены некоторые отдельные химические элементы методами перлового и пламенного анализов.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Реакции капельного анализа на отдельные элементы

Получение испытуемых растворов. Для проведения реакций капельного анализа необходимо прежде всего получить испытуемый раствор, в котором содержание определяемых элементов должно быть не ниже того минимума, который может быть открыт тем или иным реагентом. Предназначенный для исследования образец тщательно осматривают и, в зависимости от текстуры и структуры, обрабатывают его различными способами.

При плотной массивной текстуре образца на него наносят две-три капли азотной или соляной кислоты различной концентрации, в зависимости от растворимости испытуемых минералов. Спустя 1—2 мин после прекращения вскипания (если имеют дело с карбонатными минералами или минералами, включенными в карбонатную породу) прореагировавшую каплю кислоты, иногда вместе с образовавшимся в ней осадком, переносят на фильтровальную бумагу, размещая в виде капель на достаточном расстоянии одну от другой. После того как раствор впитается в бумагу, последнюю переворачивают обратной стороной так, чтобы на верхней стороне фильтровальной бумаги был сосредоточен чистый (отфильтрованный) раствор. Растворитель диффундирует в порах бумаги быстрее, чем растворимое вещество, в связи с этим концентрация раствора повышается в центральной части пятна. Это явление имеет большое значение при работе с трудно растворимыми минералами.

При землистой или пористой структуре образца растворение нельзя осуществить непосредственным нанесением азотной кислоты на образец; вследствие большой пористости последнего кислота быстро впитывается, и перенести раствор на фильтровальную бумагу не удастся. Можно рекомендовать следующий способ получения раствора: от образца отламывают или откалывают небольшой кусочек, помещают на часовое или предметное стекло, а еще лучше на двухгнездную или одногнездную фарфоровую пластинку

и измельчают легким надавливанием пестика или стеклянной палочки. Полученный таким образом порошок покрывают двумя-тремя каплями азотной или соляной кислоты. Через 1—2 мин, по прекращении вскипания, каплю переносят с помощью пипетки на полоску фильтровальной бумаги, как описано выше.



Рис. 3. Определение химического элемента по цветному пятну



Рис. 4. Определение химического элемента по цветному кольцу

При крупнокристаллической структуре образца отдельные минералы, легко различимые невооруженным глазом, помещают на предметное стекло или фарфоровую пластинку и растворяют каждый в отдельности. Раствор каждого минерала переносят на полоску фильтровальной бумаги и приступают к определению элементов.

Определение отдельных элементов. Если в исследуемом районе распространены руды, в состав которых входят Pb, Zn, Mo, V, Cu, U, Mn, Fe, пользуются набором реактивов № 1 и поступают следующим образом. Прежде всего открывают свинец. Для этого на середину влажного пятна на фильтровальной бумаге вносят каплю 5%-ного раствора иодистого калия. Раствор иодистого калия должен быть бесцветным, в противном случае желтая реакция на свинец будет маскироваться бурой окраской иода. С помощью иодистого калия свинец открывается почти во всех содержащих его минералах, так как все они, истертые в тонкий порошок, растворяются в разбавленной азотной кислоте. В следующем пятне на фильтровальной бумаге определяют цинк с помощью растворов азотной кислоты или сернической меди и ртутнородановой соли, которые последовательно накладывают на влажное пятно испытуемого раствора. В присутствии цинка (рис. 3) образуется сине-фиолетовое пятно (комплексная ртутнородановая соль меди и цинка) или кольцо при очень малых содержаниях цинка (рис. 4). В отсутствии цинка на фильтровальной бумаге образуется желто-зеленое пятно комплексной ртутнородановой соли меди. Если в испытуемом растворе присутствует железо, пятно на фильтровальной бумаге после обработки растворами меди и ртутнородановой соли окрашивается в бурый цвет вследствие образования роданистого железа. Большие количества железа в растворе полностью маскируют ре-

акцию на цинк. Чтобы обнаружить цинк, роданистое железо следует отмыть водой. Для этого фильтровальную бумагу помещают на 2—3 мин в стакан с водой.

Железо, молибден, медь и уран открываются с помощью 5%-ного раствора желтой кровяной соли. Если в испытуемом растворе присутствует окисное железо, то пятно на фильтровальной бумаге под действием желтой кровяной соли окрасится в синий цвет вследствие образования берлинской лазури. В присутствии молибдена пятно окрасится в зеленовато-коричневый цвет, в присутствии меди — в розово-коричневый, а в присутствии урана — в шоколадно-коричневый. Оттенки коричневого цвета различить трудно, поэтому для определения металла окрашенное пятно обрабатывают 5%-ным раствором едкого калия, покрывая им всю поверхность пятна. Если в испытуемом растворе присутствует только молибден, то коричневая окраска исчезнет; если присутствует медь, коричневая окраска переходит в голубую вследствие образования гидрата меди; если в растворе присутствует только уран, то через некоторое время коричневая окраска сменяется желтой вследствие образования гидрата уранила.

Ванадий определяется с помощью уксуснокислого бензидина или 10%-ного раствора перекиси водорода. На влажное пятно испытуемого раствора на фильтровальной бумаге наносят каплю уксуснокислого бензидина или перекиси водорода; в присутствии ванадия в первом случае образуется синее пятно бензидиновой сини, а во втором, вследствие образования ванадиевой кислоты, — красно-оранжевое.

Марганец можно открывать с помощью уксуснокислого бензидина. Фильтровальная бумага пропитывается раствором уксуснокислого бензидина и прижимается к тому месту образца, в котором присутствует марганцевый минерал. По истечении 1 мин в присутствии марганца фильтровальная бумага окрашивается в синий цвет. В присутствии марганца и ванадия каждый из этих элементов открывают с помощью других реактивов, имеющихся в наборе лаборатории (ЛОР).

Если работы ведутся в районе распространения руд, в состав которых входят Co, Ni, As, Sb, Mn и V, открываемые с помощью реактивов набора № 2, то поступают следующим образом.

Кобальт, марганец и железо могут быть открыты с помощью красной кровяной соли. Если в испытуемом растворе присутствует закисное железо, то при наложении капли красной кровяной соли пятно окрашивается в синий цвет вследствие образования турбуллевой сини. В присутствии кобальта пятно становится красно-бурым, в присутствии марганца — бурым. Цинк и никель сообщают пятну при наложении красной кровяной соли светлый желтовато-зеленый цвет. Слабые окраски желтого цвета перекрываются более интенсивным бурым и не мешают при определении кобальта и двухвалентного марганца.

Оттенки бурого цвета трудно различимы, и для того чтобы отличить определяемые элементы, пятно следует обработать хлористым оловом. Небольшую каплю реактива накладывают на середину окрашенного пятна. В присутствии кобальта цвет пятна не изменяется, а в присутствии марганца желто-бурое пятно становится значительно темнее. Чтобы обнаружить присутствующие совместно кобальт и марганец, необходимо применить другие реактивы.

Кобальт можно открыть с помощью 1%-ного раствора азотно-кислого цинка и ртутнородановой соли, последовательно накладываемых на влажное пятно испытуемого раствора. В присутствии кобальта пятно окрашивается в голубые тона вследствие образования комплексной ртутнородановой соли кобальта и цинка. Окраска становится более интенсивной через 1—2 мин. В присутствии железа голубой тон маскируется красно-бурой окраской роданистого железа. Последнюю легко удаётся отмыть, погружая фильтровальную бумагу в сосуд с водой на 2—3 мин. Отмывка восстанавливает голубой цвет ртутнородановой соли кобальта и цинка. В присутствии значительного избытка железа может образоваться комплексная ртутнородановая соль железа и цинка розовато-фиолетового цвета, маскирующая комплексную соль кобальта.

Реакция на *марганец* в пиролюзите, псиломелане и ваде с помощью уксуснокислого бензидаина выполняется непосредственно на образце, как это было указано выше.

Никель открывается с помощью спиртового раствора диметилглюксима и аммиака, накладываемых последовательно на пятно исследуемого раствора. В присутствии никеля пятно приобретает малиновый цвет. По истечении 1—2 мин цвет пятна становится более интенсивным. В присутствии закисного железа хотя и появляется покраснение пятна, но на воздухе через 1—2 мин оно становится бурым вследствие образования гидрата окиси железа. При совместно присутствующих железе и никеле, спустя 2 мин центральная часть пятна приобретает бурый цвет, а по периферии оно остается малиновым. Посредством этой реакции никель может быть открыт почти во всех содержащих никель минералах.

Мышьяк открывают с помощью молибденовокислого аммония и хлористого олова. В присутствии мышьяка в испытуемом растворе образуется устойчивое пятно молибденовой сини. Если мышьяк отсутствует, синее пятно на воздухе быстро буреет.

Минерал растворяется в HNO_3 (1 : 1) в течение 1 мин, капля переносится на предметное стекло и добавляется сухая соль $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, в случае присутствия мышьяка образуется лимонно-желтый осадок. Аналогичную реакцию дает фосфор.

Отдельные химические элементы могут быть определены с помощью перлового и пламенного анализов (табл. 1 и 2). Эти анализы детально описаны в основных руководствах по минералогии (Смолянинов, Синегуб, 1950), поэтому здесь приведены

Реакции перлового анализа

Химический элемент	Перл с бурой		Перл с фосфорной солью		Примечание
	окислительное пламя	восстановительное пламя	окислительное пламя	восстановительное пламя	
Марганец	Красновато-фиолетовый	Бесцветный	Фиолетовый	Бесцветный	Реакция с бурой специфична для всех марганцевых минералов
Медь	Голубой, синевато-зеленый	Непрозрачный, красно-бурый	Голубой, синий	Непрозрачный, красно-бурый	Реакция с бурой специфична для всех минералов меди в отсутствии железа (железо мешает)
Железо	Светло-желтый	Бутылочно-зеленый, зеленовато-желтый	Бесцветный	Бесцветный, желтый, зеленый	Мешает медь
Хром	Желтовато-зеленый	Изумрудно-зеленый	Зеленый	Зеленый	Реакция с бурой специфична для всех минералов хрома
Никель	Красновато-бурый	Непрозрачный серый	От желтого до красновато-желтого		Реакция с бурой специфична для всех минералов никеля
Кобальт	Синий	Синий	Синий	Синий	Реакция с бурой специфична для всех минералов кобальта

Вольфрам	Бесцветный	Желтый	Бесцветный	Голубой, в присутствии железа красный	Реакция недостаточно специфична
Молибден			Бесцветный, бледно-желтовато-зеленый	Зеленый	Реакция с фосфорной солью специфична для молибденита, повелита, ферримolibдата
Ванадий			Желтый, зеленый (лучше с добавлением селитры)	Зеленый, желтый	Реакция с фосфорной солью недостаточно специфична
Олово	Прозрачный, рубиново-красный				Реакция с перлом не специфична

Примечание. опыты с окраской перла проводят путем сплавления минерала в ушке платиновой проволоки. При сплавлении нужно брать минимальное количество испытуемого минерала, в противном случае образуется густая окраска перла. Окраска перла получается смешанной, если присутствуют два вызывающих окраску вещества.

Реакция пламенного анализа *

Химический элемент	Цвет пламени	Примечание
Натрий Калий	Желтый Фиолетовый	Наблюдать через синее стекло (мешает натрий)
Кальций Стронций Литий Барий Бор	Розово-красный Красный Темно-красный Бледно-зеленый Зеленый	
Фосфор Медь	Зеленовато-голубой Зеленый	Не всегда отчетлив CuCl ₂ лазурный

* Для получения более ясного окрашивания пламени необходимо минерал после прокалывания осторожно смочить соляной кислотой и вновь прокалить.

лишь таблицы характера перлов и пламени для наиболее распространенных химических элементов.

Реакции, ведущие к образованию цветных пленок на поверхности минералов

Окрашенные пленки образуются на поверхности минералов при обработке их соответствующими реагентами. Образование пленок широко используется в металлургии. Для уменьшения коррозии сплавов на воздухе поверхность их покрывают тончайшим слоем органических или минеральных веществ. Получение пленок на поверхности минералов (пленочные реакции) впервые было предложено В. А. Новиковым для диагностики и количественного подсчета минералов в шлихах и мелкоизмельченных рудных концентратах (Новиков, 1939, 1951). Им же были рекомендованы различные реагенты для пленочных реакций, посредством которых удается различать часто очень сходные между собою минералы.

Автор настоящей книги широко применяет пленочные реакции для диагностики карбонатов Mn, Ca, Mg, Zn, Pb, Fe в образцах (кернах, пришлифовках и шлифах) руд и вмещающих их пород. Обычно для диагностики некоторых карбонатов (кальцит, доломит и анкерит) в поле применяют разбавленную соляную кислоту, причем, как правило, не придают никакого значения степени ее разведения. Автор рекомендует для диагностики упомянутых минералов в поле применять кислоту всегда одной и той же концентрации. Наиболее удобна концентрация (1 : 20).



Рис. 5. Пришлифовка, покрашенная азотнокислой медью и обработанная аммиаком; $2/3$ натуральной величины.

1 — кальцит; 2 — доломит и анкерит, не прокрасившиеся азотнокислой медью

При нанесении кислоты на поверхность кальцита (известняка) происходит бурное вскипание. В присутствии доломита вскипание не наблюдается. Однако, если с помощью ножа получить на образце небольшое количество порошка, то последний медленно вскипает под действием соляной кислоты. Другие карбонаты (анкерит, сидерит) не вскипают даже в порошке. Если наблюдается тесное взаимное прораствание различных карбонатов с кальцитом, то с помощью соляной кислоты разделить их не удастся, и тогда необходимо применение пленочных реакций.

Кальцит рекомендуется определять с помощью пленочной реакции, обрабатывая его молярным раствором азотнокислой меди в течение 3—4 ч. Появляющаяся на поверхности кальцита голубая окраска усиливается при действии на кальцит аммиака (рис. 5). Однако длительное воздействие последнего полностью уничтожает окраску. Прокрашивание с целью диагностики кальцита лучше проводить на шлифованных поверхностях образцов или полированных шлифов. На таких образцах удается установить площадное распределение и относительное содержание кальцита в карбонатных породах. Эта реакция широко может быть применена при исследовании карбонатных осадочных горных пород, а также при изучении гидротермальных изменений рудовмещающих пород (доломитизация, кальцитизация).

Если доломит или какая-либо другая порода пронизана очень тонкими прожилками кальцита, то с помощью азотнокислой меди трудно установить структурные взаимоотношения минералов. В этом случае необходимо произвести окрашивание прозрачного шлифа. Для таких исследований шлиф оставляют без покровного стекла. На поверхность шлифа накладывают каплю лиловых чернил, подкисленных соляной кислотой. Подкисление проводят путем титрования чернил соляной кислотой (1 : 20) до появления в них

зеленого оттенка. Реакция основана на различной растворимости карбонатов в слабой соляной кислоте. Интенсивное растворение кальцита сопровождается нейтрализацией чернил и восстановлением их первоначальной лиловой окраски на поверхности кальцитовых выделений. С помощью этой реакции можно установить взаимоотношения кальцита с другими минералами, выяснить его площадное распределение и приблизительное содержание в шлифе (рис. 6). Окрашивание кальцита чернилами можно с успехом проводить и на полированных шлифах. Необходимо следить за тем, чтобы капля подкисленных чернил не оставалась на поверхности шлифа более одной минуты. По истече-

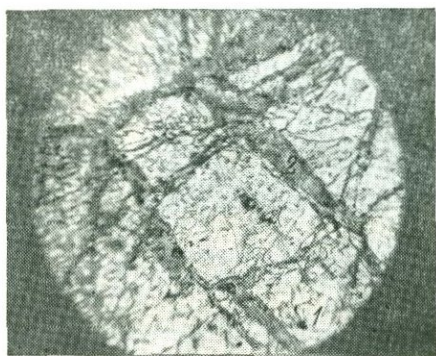


Рис. 6. Прозрачный шлиф, прокрашенный лиловыми чернилами подкисленной соляной кислотой, $\times 48$.

1 — доломит; 2 — кальцит

нания капля подкисленных чернил не оставалась на поверхности шлифа более одной минуты. По истече-

Химич. состав	% содер.	Кальцит №1	% содер.	Доломит №1	% содер.	Анкерит №1
Al_2O_3	-	а - б	1,06		1,59	
FeO	-		-		41,15	
CaO	54,46		37,0		0,86	
MgO	0,30		15,67		13,19	
MnO	-		-		0,28	
TiO_2	-	б	-		-	
Химич. состав	% содер.	Кальцит №2	% содер.	Доломит №2	% содер.	Анкерит №2
Al_2O_3	1,25		2,46		0,83	
FeO	2,45		1,32		43,31	
CaO	48,80		24,25		0,23	
MgO	1,66		16,05		11,69	
MnO	0,21		0,35		1,59	
TiO_2	-		-		-	

Рис. 7. Зеркальные диаграммы карбонатов.

а — вертикальный масштаб 10 мм (расстояние между химическими индексами); б — горизонтальный масштаб 10 мм, который соответствует 10% данных химического анализа. Проценты, соответствующие данным химического анализа, делятся пополам и откладываются по обе стороны от средней линии в

нии этого срока прокрашенную поверхность тщательно просушивают листочками фильтровальной бумаги. При длительном воздействии подкисленных чернил на поверхность доломита последний может несколько окраситься. Лиловая пленка с поверхности кальцита легко удаляется спиртом.

Анкерит в руде можно установить путем окрашивания образца, шлифовки, а также полированного или прозрачного шлифа, подкисленных соляной кислотой, 5%-ным раствором красной кровяной соли. Под влиянием этого реагента анкерит окрашивается в синий цвет вследствие образования на его поверхности синей пленки турнбулевой сини.

Для диагностики *кальцита и анкерита* Л. Е. Штеренбергом в 1965 г. был предложен комбинированный реактив, состоящий из 11 частей соляной кислоты (0,15 N), 9 частей ализарина-рог (0,1%) и 2 частей красной кровяной соли $K_3Fe(CN)_6$ (1%). Комбинированный реактив готовится непосредственно перед работой, так как реактив недостаточно стоек, с помощью этого реактива такие карбонатные минералы как кальцит, железистый кальцит, мangan-кальцит и анкерит становятся хорошо отличимыми.

С помощью комбинированного реактива можно также получать реакции методом прямого отпечатка на фильтровальной или фотобумаге. Последние характеризуют площади распространения различных разновидностей кальцита и анкерита.

При наличии данных химических или полуколичественных спектральных анализов для различных разновидностей карбонатов кальция, магния, железа и марганца, точная диагностика каждой из них может быть быстро определена графическим методом (рис. 7).

В табл. 3 приведены наиболее распространенные реакции пленочного анализа.

Реакции по методу отпечатков

Применение реакций. Химические реакции по методу отпечатков широко применяются при изучении рудных минералов в отраженном свете. Методика их выполнения описана в руководствах по минераграфии (Юшко, Боришанская, 1955; Юшко, 1971).

Реакции по методу отпечатков применяют для установления химических элементов, входящих в состав рудообразующих минералов, в целях диагностики последних и для выяснения площадей их распространения на поверхности полированного шлифа или шлифовки. Эти реакции с успехом могут быть применены при сплошном опробовании кернов, так как с помощью отпечатков можно получать развертки керна (рис. 8, 9), на которых проявляются площади распространения минералов, содержащих определенные химические элементы.

Приготовление фотобумаги и техника получения отпечатков. Реакция по методу отпечатков проводят на фотобумаге, которую

Пленочные реакции (окрашивания)

Минерал	Реактив	Техника получения пленки	Цвет пленки	Примечание
Англезит	Иодистый калий (5%-ный раствор)	На полированную поверхность минерала или прозрачного шлифа накладывают каплю реактива и через 1 мин его снимают фильтровальной бумагой	Желтый в проходящем свете, серо-голубой в отраженном	Церуссит этой реакции не дает
Церуссит	Иодистый калий, подкисленный серной кислотой	То же	Желтый	Англезит этой реакции не дает
	Хромовый ангидрид (1%-ный раствор)	То же	Ярко-желтый	
Смитсонит, вилемит, каламин, гидродзинкит	Азотнокислая медь (1%-ный раствор) и азотная кислота (1 : 20) в равных объемах + ртутнородановая соль	На поверхность прозрачного шлифа накладывают последовательно каплю первого и второго реактива	Сине-фиолетовый	
Касситерит	Соляная кислота (конц.) + цинк в порошке	На полированную поверхность шлифа накладывают каплю соляной кислоты (концентрированной), в которую вносят цинк. Через 1—3 мин смывают водой и шлиф просушивают	Серый	Пленку лучше наблюдать в косом свете. Участки минерала, покрытые ею, теряют внутренние рефлексы, становясь непрозрачными

Шеелит	Соляная кислота (конц.) + олово металлическое	На полированную поверхность шлифа накладывают каплю кислоты и кусочек олова. Через 1—2 мин шлиф просушивают фильтровальной бумагой	Синий	Вместо металлического олова можно применять хлористое олово, но тогда для ускорения реакции необходимо подогреть шлифа
Псиломелан Пирролюзит	Уксуснокислый бензидин	На поверхность минерала накладывают реактив и спустя 1 мин снимают его фильтровальной бумагой	Синий	
Кальцит	Лиловые чернила, подкисленные соляной кислотой (1 : 20)	На поверхность прозрачного или полированного шлифа накладывают каплю реактива и спустя 1 мин просушивают шлиф фильтровальной бумагой	Лиловый	
	Азотнокислая медь (молярный раствор) + аммиак (10%-ный раствор)	Полированную поверхность шлифа или пришлифовки погружают в азотнокислую медь и выдерживают в ней 3—4 ч. Затем для усиления окраски, погружают в аммиак не более чем на 30 сек и промывают водой	Голубой или зеленовато-голубой	Длительное действие реактива (аммиака) обесцвечивает пленку
Арагонит	Азотнокислый кобальт (20%-ный раствор)	Полированную поверхность образца погружают в горячий раствор реактива на 20 мин, промывают водой и просушивают	Розово-лиловый	Реакция позволяет отличать арагонит от кальцита

Минерал	Реактив	Техника получения пленки	Цвет пленки	Примечание
Магнезит	Дифенилкарбозид (спиртовый раствор) и едкий калий (20%-ный раствор) в равных объемах	Полированную поверхность образца погружают в горячий реактив на 5 мин (хорошо промывают горячей водой)	Красно-фиолетовый	Доломит этой реакции не дает
Анкерит	Красная кровяная соль (5%-ный раствор) и соляная кислота (1 : 1) в равных объемах	Полированную поверхность минерала погружают в смесь реактивов на 1 мин, хорошо промывают водой	Синий	
Сидерит	Красная кровяная соль (5%-ный раствор) и соляная кислота (1 : 20) в равных объемах	То же	Синий	
Кальцит, анкерит, доломит	Комбинированный реактив: 11 частей соляной кислоты (0,15 N), 9 частей ализарин-рот (0,1%) и 2 части красной кровяной соли (1%-ный раствор)	На хорошо полированный шлиф или открытый (без покровного стекла) прозрачный шлиф наносят несколько капель комбинированного реактива и выдерживают в течение 1—2 мин. После этого шлиф промывают под струей воды и высушивают (промокать фильтровальной бумагой нельзя)	Кальцит окрашивается в розово-красный цвет; магнезо-кальцит — в слабо розоватый цвет; железистый кальцит — в бледно-фиолетовый цвет; анкерит — в синий. Доломит, сидерит и родохрозит этим реактивом не окрашиваются даже в течение 6—8 мин	Комбинированный реактив готовить непосредственно перед работой

предварительно обрабатывают гипосульфитом для удаления солей серебра с ее поверхности. Раствор гипосульфита готовят следующим образом: 100 г сухой соли растворяют в 500 мл воды. Фотобумагу погружают в раствор на 20—40 мин, после чего тщательно



Рис. 8. Получение отпечатка с керна:

1 — керн; 2 — фотобумага

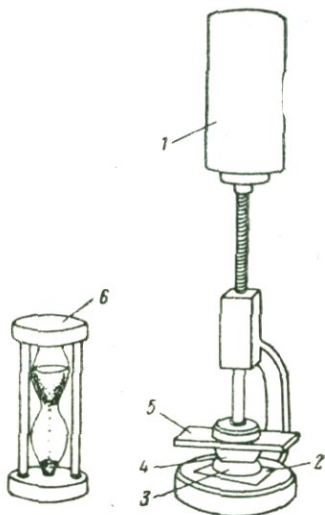


Рис. 9. Получение отпечатка с полированного шлифа:

1 — пресс с грузом; 2 — фотобумага; 3 — полированный шлиф; 4 — пластилин; 5 — предметное стекло; 6 — песочные часы

промывают водой и просушивают. Хорошо также использовать обрезки желатинированной бумаги, которые легко можно получить на фабрике фотопродуктов.

Для получения реакций по методу отпечатка желатинированный слой фотобумаги пропитывают растворителем, который применяют для растворения минерала, и приводят ее в контакт с гладкой поверхностью минерала или руды (в кернах, пришлифовке или в полированном и прозрачном шлифах), плотно прижимают и выдерживают в течение времени, необходимого для растворения изучаемых минералов. Чтобы обеспечить наиболее полный контакт фотобумаги с поверхностью изучаемого образца, можно использовать обычный ручной пресс со смонтированным на нем грузом. После того как отпечаток получен, его проявляют соответствующим реактивом, образующим с элементом, входящим в состав анализируемого минерала, цветную реакцию. Этот реактив обычно называют проявителем.

Условия получения четких и устойчивых отпечатков. Для получения четких, не расплывающихся на фотобумаге, отпечатков необходимо строго придерживаться следующих правил.

1. Фотобумага перед получением отпечатка должна быть влажной (но не мокрой). Избыток реактива, применяемого в качестве растворителя, следует аккуратно удалить, помещая фотобумагу после обработки растворителем между двумя листочками фильтровальной бумаги.

2. При обработке фотобумаги последовательно несколькими реактивами перед нанесением нового реактива избыток предыдущего должен быть тщательно снят фильтровальной бумагой.

3. Перед получением отпечатка поверхность шлифа должна быть хорошо отполирована.

4. Время экспозиции, т. е. время, необходимое для растворения испытуемого минерала, должно быть установлено предварительно по качеству и стойкости отпечатка. Качество отпечатка устанавливается по его цвету, который должен соответствовать цвету соли, полученной при взаимодействии исследуемого химического элемента с соответствующим реактивом. Стойкость отпечатка зависит от того, в каком месте желатины фиксируется растворенный химический элемент. Если растворитель и время экспозиции выбрано удачно, то раствор фиксируется только в порах желатины, отпечаток после проявления получается стойкий и не смывается водой. Если применяют слишком сильный растворитель и длительную экспозицию, раствор выходит за пределы пор желатины на ее поверхность. После проявления цветная пленка образуется на поверхности желатины и легко сползает при промывке отпечатка водой.

5. Наконец, для получения стойкого отпечатка реактив, применяемый в качестве проявителя, должен давать с испытуемым химическим элементом нерастворимые в воде соли. В противном случае, при промывании отпечатка водой цвет осадка становится очень бледным и может полностью исчезнуть. Иногда один и тот же реактив может дать цветные реакции с несколькими химическими элементами, входящими в состав анализируемых минералов. Если один из этих элементов образует с реактивом растворимую в воде соль, ее можно отмыть водой, и на отпечатке проявятся элементы, образующие нерастворимую соль.

Для получения реакций химических элементов, входящих в состав рудообразующих минералов, можно применять фотобумагу, предварительно обработанную соответствующими реактивами, что позволяет стандартный набор реактивов сократить до минимума. Если фотобумагу предварительно обработать раствором желтой кровяной соли и просушить, то для того чтобы получить отпечаток, достаточно пропитать ее растворителем, просушить фильтровальной бумагой и привести в контакт с полированной поверхностью зерна, пришлифовки или шлифа. По истечении времени, предварительно устанавливаемого экспериментальным путем, удается по-

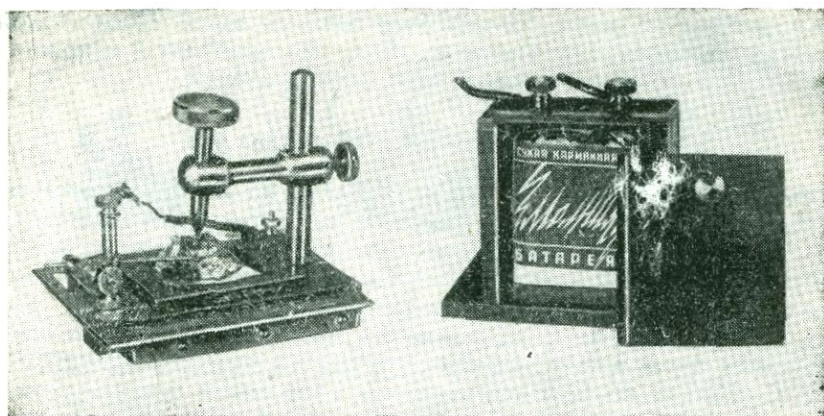


Рис. 10. Пресс для получения отпечатков с применением электрического тока

лучить прямые отпечатки на закисное железо, медь, уран, молибден. Если бумагу обработать раствором ртутнородановой соли и азотнокислым раствором цинка, то для получения отпечатка достаточно пропитать ее азотной кислотой (1 : 1) и привести в соприкосновение с поверхностью зерна, шлифовки или полированного шлифа; по истечении 2—3 мин можно получить отпечаток на кобальт и т. д.

В руководствах по минераграфии для получения отпечатков с минералов рекомендуются обычно очень слабые растворители, что позволяет сохранять полированную поверхность шлифа и получать наиболее стойкие отпечатки. Для некоторых трудно растворимых минералов, проводящих электричество, растворимость минерала повышают, применяя электрический ток. Для получения отпечатков с использованием электрического тока автором был сконструирован специальный пресс (рис. 10). Однако большая часть минералов окисленных руд обладает слабой электропроводностью или совсем не проводит электричество. В этом случае применение электрического тока не эффективно. Поэтому автор рекомендует для получения отпечатков употреблять сильные растворители.

Некоторые минералы очень плохо растворимы не только в слабых, но и в сильных кислотах. Отпечатки для таких минералов получают после предварительной обработки полированной поверхности шлифа. Так, например, чтобы получить четкий, стойкий отпечаток халькопирита или сфалерита, полированную поверхность шлифов, содержащих эти минералы, обрабатывают парами царской водки до появления густого коричневатого налета. Полированную поверхность шлифа, содержащего молибденит, обрабатывают щелочным раствором перманганата до появления иризирующей

пленки, после чего шлиф должен быть промыт водой. После такой обработки полированную поверхность шлифа приводят в соприкосновение с фотобумагой, пропитанной растворителем.

Фазовый минералогический анализ руд

Основные принципы фазового анализа по методу отпечатка.

С помощью фазового анализа можно устанавливать в руде минеральные формы химических элементов. Это осуществляется путем подбора таких растворителей, которые растворяют только один минерал из группы минералов, содержащих данный элемент. Избирательное растворение минералов в руде можно осуществить различными путями: 1) растворением одного или нескольких минералов, близких по растворимости, не затрагивая остальных минеральных форм; 2) растворением всех слагающих руду минералов, за исключением одного или группы минералов.

Наиболее трудным этапом при проведении фазового анализа является подбор растворителя, однозначно действующего на один и тот же минерал. Разновидности одного и того же минерала из разных месторождений часто обладают различной растворимостью в одном и том же растворителе, а иногда и совсем не растворяются. Как известно, способность минералов растворяться зависит от состава изоморфной примеси, крупности кристаллического зерна и степени кристалличности последнего. Если при проведении обычного фазового анализа характером кристаллического зерна до некоторой степени можно пренебречь, так как анализируемая проба может быть очень тонко растерта, то при проведении фазового анализа методом отпечатка кристаллическое зерно с точки зрения его размеров, степени кристалличности и даже ориентировки может иметь большое влияние на растворимость минерала. На последнюю оказывают влияние также ассоциирующие с ним минералы, особенно если какой-нибудь из них более энергично растворяется, чем исследуемый.

Если удается подобрать такой реагент, который растворяет только один минерал, то после проявления окрашенные участки на фотобумаге отвечают площади, занимаемой только этим минералом. Чтобы в полированном шлифе определить с помощью отпечатка все минеральные формы химического элемента, необходимо заранее экспериментальным путем подобрать растворители для каждого минерала.

Во избежание порчи полированной поверхности шлифа обработку его следует начинать с наиболее слабых растворителей (рис. 11). На отпечатке, полученном с помощью самого слабого растворителя, после проявления обнаружатся участки, отвечающие площади распространения в полированном шлифе только одного минерала. Все же остальные отпечатки, полученные с помощью более сильных растворителей, могут соответствовать одновременно нескольким минералам. Интенсивность окраски на



Рис. 11. Схема проведения фазового минералогического анализа:

а — отпечаток, полученный с минерала, растворимого в воде (черное); *б* — отпечаток, полученный с минерала, растворимого в слабой разбавленной кислоте (косая штриховка), вместе с минералом, растворимым в воде (черное); *в* — отпечаток, полученный с минерала, растворимого в концентрированной кислоте (сетка) вместе с минералами, растворимыми в слабой разбавленной кислоте (косая штриховка) и в воде (черное)

отпечатке для каждого из них различна: более интенсивная относится к минералу более растворимому. Для таких минералов часто получаются нестойкие отпечатки, которые после промывания водой сползают и на их месте остаются белые участки, оконтуренные тонкой цветной каймой. Например, если в руде присутствуют халькопирит, халькозин, борнит, малахит, азурит, куприт и халькантит и необходимо установить площадь распространения каждого из этих минералов, то поступают следующим образом.

Чтобы определить присутствие *халькантита* и разрешить вопрос о площади его распространения в шлифе, фотобумагу пропитывают водой и приводят в соприкосновение с поверхностью полированного участка руды. По истечении 2 мин фотобумагу проявляют желтой кровяной солью или спиртовым раствором рубеоновой кислоты. В присутствии халькантита на фотобумаге в первом случае проявятся розово-коричневые, во втором случае — серо-зеленые участки, которые становятся более темными при обработке их аммиаком.

Для установления площадей распространения *халькозина*, *борнита* и *куприта* фотобумагу пропитывают 10%-ным аммиаком и приводят в соприкосновение с полированной поверхностью руды. После экспозиции 2 мин и проявления отпечатка желтой кровяной солью или спиртовым раствором рубеоновой кислоты на нем в первом случае проявятся розово-коричневые, а во втором серо-зеленые участки, соответствующие площади распространения в полированном шлифе этих минералов. Одновременно на фотобумаге проявятся и более темно окрашенные места, соответствующие площади распространения халькантита.

Для того чтобы выделить площади распространения борнита надо фотобумагу пропитать слабым раствором серной кислоты (1:20) и приложить к той же полированной поверхности руды. По истечении 2 мин фотобумагу обрабатывают 5%-ным раствором красной кровяной соли. На ней проявятся характерные для закис-

ного железа участки сине-фиолетового цвета, отвечающие площадям распространения в шлифе борнита.

Для определения *малахита* и *азурита* фотобумагу обрабатывают слабым раствором серной кислоты (1 : 40) и приводят в контакт с полированной поверхностью руды. Через 2 мин отпечаток проявляют раствором желтой кровяной соли или спиртовым раствором рубеоновой кислоты. На фотобумаге в первом случае проявятся участки розово-коричневого, а во втором серо-зеленого цвета. Последний может появиться только после обработки отпечатка 10%-ным раствором аммиака, так как реакция с рубеоновой кислотой протекает в аммиачной среде. На фотобумаге одновременно проявятся участки, отвечающие площадям распространения не только малахита и азурита, но и халькозина, борнита и куприта. Для определения площадей распространения, относящихся к малахиту и азуриту, следует сравнить полученный отпечаток с отпечатком халькозина, борнита и куприта, полученным с применением в качестве растворителя аммиака (см. табл. 4).

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА, НИКЕЛЯ, СВИНЦА И ЦИНКА ИЗ ОКИСЛЕННОЙ ЗОНЫ

В основных руководствах по микроскопическому исследованию руд в отраженном свете диагностике минералов окисленной зоны почти не уделяется внимания. Поэтому в настоящем разделе приводится описание методов, которые могут быть положены в основу диагностики некоторых минералов железа, свинца и цинка, кобальта и никеля, а также приводятся таблицы, с помощью которых эти минералы могут быть определены в полированных шлифах в отраженном свете.

Минералы окисленной зоны в большинстве случаев прозрачны. Этим, по-видимому, и объясняется недостаточное внимание к ним в методических руководствах по минераграфии. Однако в связи с тем, что многие из этих минералов находятся в ассоциации с гипогенными минералами, изучение их в полированных шлифах является необходимым для определения общего количества минералов и установления последовательности их выделения по отношению к гипогенным минералам и закономерности распространения каждого из них в рудном агрегате. Кроме того, легко растворимые в воде минералы (мелантерит, халькантит, госларит) в прозрачных шлифах, как правило, отсутствуют (растворяются в процессе изготовления шлифа). В то же время в полированных шлифах они обычно полностью не выщелачиваются и частично сохраняются, что способствует их выявлению в руде.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ОКИСЛОВ И ГИДРООКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА

В основу диагностики минералов группы окислов и гидроокислов железа в отраженном свете в полированных шлифах положено количественное определение их отражательной способности. Как известно, количественное измерение отражательной способ-

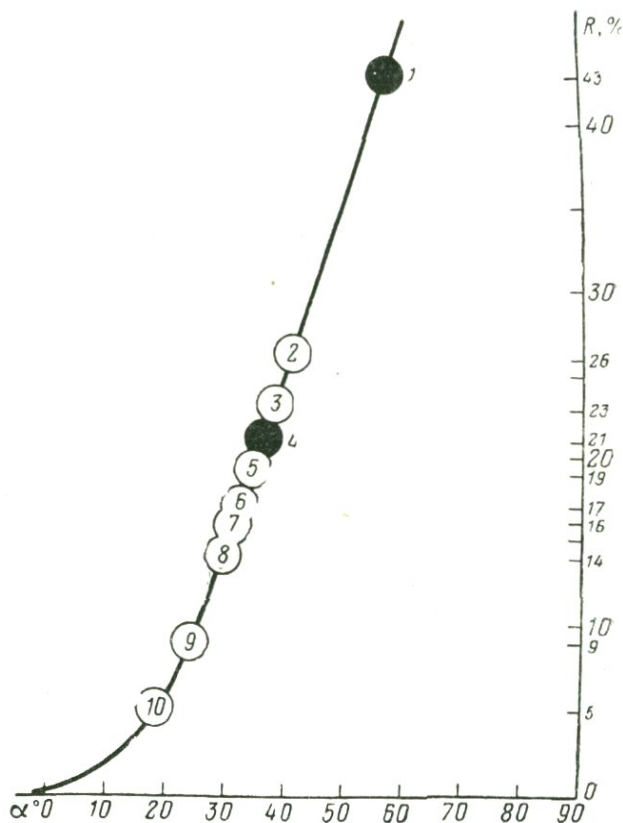


Рис. 12. Кривая определения отражательной способности минералов группы окислов и гидроокислов железа:

R — отражательная способность; α — угол поворота николей; 1 — галенит; 2 — гематит; 3 — гидрогематит; 4 — магнетит; 5 — гетит; 6 — гидрогетит; 7 — франклинит; 8 — хромит; 9 — сидерит; 10 — железистые хлориты. Черное — эталонные минералы. 2, 3 — минералы с красными и розовыми внутренними рефlekсами; 5, 6, 7, 8 — минералы с коричневыми и желтыми внутренними рефlekсами

ности может быть осуществлено с помощью микрофотометрического и фотоэлектрического методов (рис. 12).

На построенной автором кривой минералы группы окислов и гидроокислов железа расположены следующим образом. Наиболь-

шей отражательной способностью из группы окислов и гидроокислов железа обладает гематит, отражательная способность его равна 26%. Несколько меньшую отражательную способность обнаруживает гидрогематит, причем его отражательная способность теснейшим образом связана с содержанием в нем воды и изменяется от 24 до 22%. Для магнетита характерна отражательная способность 21%, для гетита 20%. Минералы группы гидрогетита характеризуются отражательной способностью от 19 до 17%. Наименьшей отражательной способностью обладают минералы с большим содержанием воды. Количественные выражения отражательной способности этих хорошо различимых на глаз минералов отличаются настолько незначительно, что малоопытному исследователю не всегда удастся точно ее измерить. Поэтому автор рекомендует использовать также цвета их внутренних рефлексов, на основании которых очень хорошо все окислы и гидроокислы железа могут быть разбиты на три основные группы.

Первая группа (гематит — гидрогематит) характеризуется малиново-красными внутренними рефlekсами. Вторая группа прозрачных минералов (магнетит) характеризуется полным отсутствием внутренних рефлексов. Третья группа (гетит и гидрогетит) характеризуется коричневыми и желтыми оттенками внутренних рефлексов.

Пользуясь этими свойствами в сочетании с отражательной способностью, нет необходимости производить точные количественные измерения для всех минералов этих трех групп, а достаточно измерить отражательную способность лишь одного минерала. Все же остальные минералы могут быть установлены по отражательной способности путем сравнения с данным минералом. Так, например, если в полированном шлифе имеется магнетит, то обе группы гидроокислов железа могут быть выделены путем сравнения их отражательной способности с отражательной способностью магнетита и определения цвета их внутренних рефлексов. При диагностике минералов группы окислов и гидроокислов железа химические реакции приобретают второстепенное значение (см. табл. 4).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛЕННЫХ МИНЕРАЛОВ МЕДИ

Диагностика вторичных минералов меди в рудах зоны окисления не встречает особых затруднений, так как для одних (малахит, азурит, аурихальцит, хризоколла, брошантит, халькантит, пизанит, куприт) характерным является окраска, а в отраженном свете цвет внутренних рефлексов; для других особенности химического состава (карбонаты, сульфаты, силикаты и т. д.). Непрозрачные минералы (ковеллин, халькозин, борнит, тенорит и др.) достаточно точно могут быть диагностированы с помощью основных методов, применяемых при изучении полированных шлифов в отраженном свете. Поэтому фазовый анализ по методу отпечатков применяется лишь при выяснении площадного распространения

ния в полированных шлифах различных разновидностей вторичных минералов меди (см. табл. 4).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ СВИНЦА И ЦИНКА

Диагностика минералов свинца и цинка из окисленной зоны производится на основании их отражательной способности. Однако вследствие очень низких количественных показателей отражательной способности этих минералов измерение последней сопряжено с большими затруднениями. Поэтому рекомендуется измерять отражательную способность лишь тех минералов этой группы, которые в дальнейшем используются в качестве эталонов, а именно — галенита, сфалерита и церуссита.

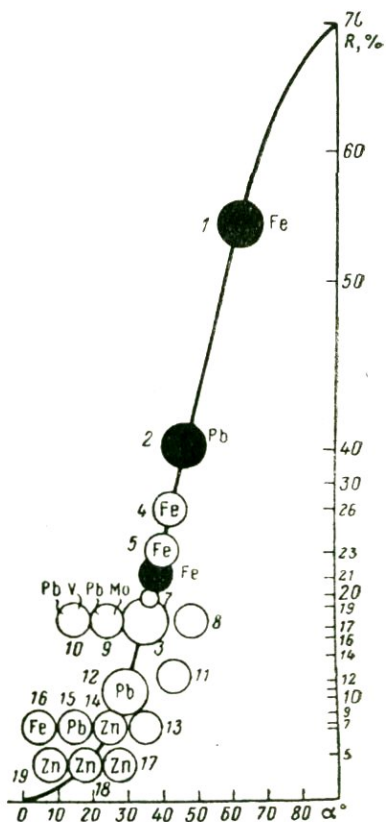
Для определения отражательной способности минералов свинца и цинка была составлена кривая (рис. 13) с использованием формулы Френеля

$$R_g = \frac{(ng - 1)^2}{(ng + 1)^2}$$

Рис. 13. Кривая определения отражательной способности минералов свинца и цинка:

R — отражательная способность; α — угол поворота николя; 1 — пирит; 2 — галенит; 3 — сфалерит; 4 — гематит; 5 — гидрогематит; 6 — магнетит; 7 — гетит; 8 — гидрогетит; 9 — вульфенит; 10 — ванадинит; 11 — вольцит; 12 — церуссит; 13 — сидерит; 14 — смитсонит; 15 — англезит; 16 — ярозит; 17 — каламин; 18 — гидрочинкит; 19 — аурихальцит.

Крупные кружки — эталонные минералы; черное — непрозрачные минералы; символами показаны основные химические элементы минералов



На этой кривой минералы железа, свинца и цинка располагаются группами, в пределах которых их можно определять лишь с помощью микрохимических реакций. Для того чтобы определять различные минералы свинца и цинка, нет необходимости производить количественное измерение их отражательной способности, достаточно сравнить ее с отражательной способностью эталонных минералов. В пределах групп минералы отличаются по химическому составу (вульфенит, ванадинит, сфалерит и т. д.) или по растворимости (см. табл. 4).

Применение микрохимических реакций фазового анализа позволяет определить все указанные на диаграмме минералы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ

Микроскопическое изучение кобальт-никелевых минералов зоны окисления сопряжено с большими трудностями. Эти минералы, как легко растворимые, в прозрачные шлифы обычно не попадают. В полированных шлифах они в большинстве случаев хотя и сохраняются, но диагностика их обычными методами минераграфии

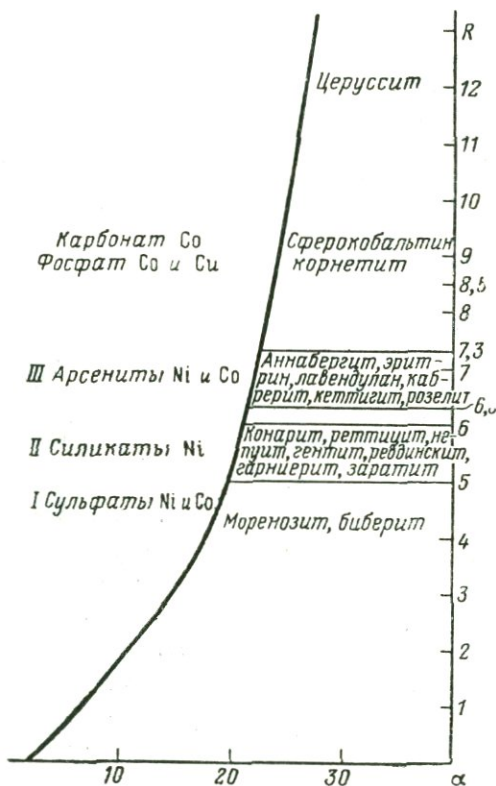


Рис. 14. Кривая определения отражательной способности минералов кобальта и никеля: R — отражательная способность. α — угол поворота никеля

из-за слишком низкой отражательной способности затруднена. Затруднена она и тем, что минералы этой группы, как прозрачные, не вошли в список минералов, помещенный в основных руководствах по минераграфии.

Минералы окисленной зоны кобальтовых и никелевых руд в отраженном свете бесцветны и характеризуются различными оттенками серого цвета, поэтому выбор монохроматического света не играет такой роли, как для минералов ясно окрашенных в отраженном свете.

Отражательная способность анизотропных минералов не одинакова для различных кристаллографических направлений, она увеличивается в тех кристаллографических направлениях, которые соответствуют большим показателям преломления.

Отражательная способность минералов, рассчитанная теоретически, вполне соответствует экспериментальным данным. Так, сульфаты кобальта и никеля (моренозит и биберит) имеют отражательную способность $R=4\%$, измерение дало $R=4,1\%$. Для аннабергита и эритрина вычисление дало $R=6,4\%$, измерение дало также $R=6,4\%$.

Рассматривая положение минералов на графике (рис. 14), можно заметить, что все они по величине отражательной способности подразделяются на четыре группы.

I. Сульфаты кобальта и никеля (моренозит, биберит), $R=4\%$.

II. Силикаты никеля (конарит, реттицит, гарниерит, гентит, непуит, ревдинскит), расположенные в пределах изменения отражательной способности R от 5 до 6%.

III. Арсенаты кобальта и никеля (аннабергит, эритрин, кабре-рит, кеттигит, розелит, лавендуланн), R от 6,3 до 7,3%.

IV. Окислы (бунзенит), $R=13,5\%$.

Карбонат никеля (заратит) попадает в группу силикатов никеля, фосфат меди и кобальта (корнетит) и карбонат кобальта (сферокобальтин) занимают промежуточное положение между третьей и четвертой группами, имея R соответственно 8,5 и 9%.

Внутри отдельных групп минералы могут быть легко определены по физическим свойствам и при помощи микрохимических реакций на отдельные элементы, входящие в состав минералов (см. табл. 4).

ТАБЛИЦА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ОКИСЛЕННЫХ РУДАХ

Основные диагностические свойства минералов, необходимые для проведения микрохимического опробования окисленных руд и определения окисленных минералов в отраженном свете сведены в табл. 4. В нее включены также некоторые первичные минералы, реликты которых часто встречаются в окисленных рудах. Наличие в окисленных рудах таких минералов способствует выбору диагностической группы окисленных минералов соответствующего металла (минералы железа, марганца, свинца, цинка, меди, никеля, кобальта, урана, молибдена).

Диагностические свойства минералов, образующихся при

Минерал	Макроскопия	Микроскопия в отраженном свете		Микро
	цвет; твердость	цвет; отражательная способность; двуотражение	внутренние рефлексы	растворитель; время экспозиции
1	2	3	4	5
				Минералы
Мелантерит	Зеленовато-желтый; 2	Темно-серый $Rg = 3,9$; $Rp = 3,6$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные слегка зеленоватые	H_2O ; 2 мин
Пизанит	Сине-зеленый; 2—3	Темно-серый $R = 7$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные с зеленоватым оттенком	H_2O ; 1—2 мин
Ярозит	Зеленовато-желтый; 2,5—3,5	Серый $Rg = 8,5$; $Rp = 6,9$	Бесцветные слегка желтоватые	HNO_3 (1:40); 1—2 мин
Вивинант	Голубой, черносиний; 2—3	Серый $R = 7$ Двуотражение отсутствует	Голубые или бесцветные	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 3—5 мин
Гетит	Коричневый; 4,5—5,5	Светло-серый $Rg = 17$; $Rp = 15$ Двуотражение отсутствует	Коричневые	HCl (1:1) или HNO_3 (1:1); 2—3 мин
Гидрогетит	Светло-коричневый до желтого; 4	Серый $R = 12—17$ Двуотражение отсутствует	Светло-коричневые до желтых	HCl (1:1) или HNO_3 (1:1); 2—3
Гидрогематит	Красно-коричневый; 5	Светло-серый $R = 18—24$ Двуотражение отсутствует	Красно-оранжевые до розовых	HCl (1:1) или HNO_3 (1:1); 2—3 мин
Сидерит	Желтовато-белый; 3,5—4	Серый $Rg = 9$; $Rp = 5$ Двуотражение выражено отчетливо	Бесцветные	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 1—2 мин
Анкерит	Белый; 3,5—4	Серый $Rg = 9$; $Rp = 5$ Двуотражение ясно выражено	Бесцветные	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 1—2 мин
Марказит	Светло-желтый с металлическим блеском; 6—6,5	Желтовато-белый $R = 52—54$ Двуотражение неясно выражено	Нет	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2—3 мин
Пирит	Светло-желтый с металлическим блеском; 6—6,5	Желтовато-белый $R = 54$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:1); 2 мин
Магнетит	Черно-синий; 5—5,6	Светло-серый $R = 21—20$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2—3 мин

изменении первичных руд в зоне гипергенеза

химия		окрашивание	Дополнительные диагностические признаки	Парагенезис и условия образования
проявитель	6			
железа				
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на SO_2 с $BaCl_2$	Сульфаты меди, ярозит, гидроокислы железа. Разви- вается в зоне окисления в условиях сухого климата
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на SO_2 с $BaCl_2$	То же
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на SO_2 с $BaCl_2$	Образуется на поверхности окисленных сульфидных руд. Ассоциирует с гидроокислами железа
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на P с $(NH_4)_2MoO_4 + HNO_3$ (конц.)	Образуется в зоне окисле- ния при обилии апатита в боковых породах или в рудах
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное		Образуется в процессе окисления сульфидов и же- лезосодержащих карбонатов в кислой и нейтральной среде
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное		То же
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Кирпично-красное	Синее Кирпично-красное		Образуется при окислении сульфидов в кислой и нейт- ральной среде. Ассоциирует с гидрогетитом
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Пленочная реакция с $K_3Fe(CN)_6$ (5%-ный раствор) + HCl (1:20) или реакция Штерем- берга	
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на S с $BaCl_2 + HNO_3$ (1:1)	Образуется в процессе ще- лочного окисления пирротина, реже пирита и арсениопи- рита или как гидротермаль- ный при замещении пирротина
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Реакция на S с $BaCl_2 + HNO_3$ (1:1)	Как гипергенный образует- ся в восстановительных ус- ловиях при наличии H_2S в грунтовых водах
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный KCNS 20%-ный	Синее Синее Кирпично-красное	Синее Синее Кирпично-красное	Применение магнит- ной порошковой графи для определения маг- нитности	Образуется в процессе ре- гионального метаморфизма гетит-гидрогетитовых и ге- тит-гидрогематитовых руд

1	2	3	4	5
Маггемит	Синеvато-серо-черный; 5	Серый с голубоватым оттенком $R = 21,6 - 18,4$ Изотропный	Буроватые, иногда отсутствуют	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2-3 мин
Гематит	Стально-серый; 5-5,5	Светло-серый $R = 26$ Двуотражение слабо выражено	Красные, определяют с иммерсией в поляризованном свете	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2-3 мин
Торангит	Оливково-зеленый до зеленоvато-черного; 2-2,5	Темно-серый $R = 6 - 7$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные, слегка зеленоватые	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2-3 мин.
Шамуазит	Зеленоvато-коричневый до черного; 3	Темно-серый $R = 6 - 7$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные, слегка зеленоватые	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2-3 мин
Минералы				
Пирролузит	Железо-черный; 1-6	Серо-белый с буроватым оттенком $R = 30-41,5$ Двуотражение у кристаллических разностей выражено отчетливо	Нет	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин
Полианит	Железо-черный; 6-6,5	Серо-белый с голубоватым оттенком $R = 30$ Двуотражение выражено слабо	Нет	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин
Псиломелан	Черно-коричневый; 4-6	Серо-белый с буроватым оттенком $R = 23-24$ Двуотражение выражено слабо	Коричневые и светло-коричневые	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин
Асболан	Коричнеvато-черный, землистый; 2	Светло-серый У плотных разностей R до 18	Нет	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин HNO_3 (1:1) или HCl (1:1)
Вад	Темно-коричневый, землистый; 1-2	Серый $R = 20$ Двуотражение отсутствует	Нет, иногда темно-коричневые	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин
Вернадит	Коричневый; 2-3	Темно-серый R около 9 Изотропный	Коричневые и светло-коричневые различной густоты	Уксуснокислый бензидин; 1-2 мин
Браунит	Железо-черный; 6-6,5	Серо-белый с буроватым оттенком $R = 19,8-17,8$ Двуотражение отсутствует	Коричневые и буровато-коричневые	HCl (1:1) или HNO_3 (1:1)
Гаусманит	Железо-черный; 5,5	Серо-белый $R = 20-16$ Двуотражение отсутствует	Красные или красно-коричневые	HCl (1:1) или HNO_3 (1:1); 2-3 мин

7	8	9
Синее Синее Кирпично-красное	Магнитность определяется с помощью магнитной порошковой графии	Образуется при окислении магнетита
Синее Синее Кирпично-красное		При окислении магнетита с образованием мартита
Синее Синее Кирпично-красное		Образуется в процессе регионального метаморфизма за счет минералов, содержащих железо. Ассоциирует с магнетитом и гранатом. Замещается гетитом
Синее Синее Кирпично-красное		То же
Синее		Образуется в процессе щелочного окисления марганецсодержащих первичных минералов
Синее		То же
Синее	Разновидности псиломелана различаются содержанием Ba, K, Co, Ni, Cu, Pb, Zn и др.	
Синее Буро-коричневое	Реакция на Co с Zn (NO ₃) ₂ и K ₂ Hg (CNS) ₄	Образуется в процессе окисления кобальтовых руд, содержащих карбонаты марганца
Синее		Образуется в процессе щелочного окисления марганецсодержащих минералов. Ассоциирует с пирролизитом, полионитом и псиломеланом
Синее		
Оранжевое (после обработки КОН коричневатобурое)		Образуется в процессе регионального и контактового метаморфизма. Ассоциирует с гаусманитом и манганитом
Оранжевое (после обработки КОН коричневатобурое)		Образуется в процессе регионального и контактового метаморфизма. Ассоциирует с браунитом, магнетитом и франклинитом и др.

1	2	3	4	5
Манганит	Коричнево-черный; 4—4,4	Серо-белый $R = 14 - 20$ или $R = 19 - 31,4$ Двуотражение выражено отчетливо	Красные или красно-коричневые	HCl (1:1) или HNO ₃ (1:1); 3—5 мин
Родохрозит	Розовый; 3,5—4,5	Темно-серый $R = 4 - 7$ Двуотражение выражено слабо	Розовые или бесцветные	HNO ₃ (1:1) или HCl (1:1); 1—2 мин
Родонит	Розово-коричневый или розово-красный; 5,5	Темно-серый	Розовые или красно-бурые	HNO ₃ (конц.) или HCl (конц.); 1—2 мин
Алабандин	Железо-черный или темно-коричневый; 4	Светло-серый $R = 20 - 24$ Изотропный	Зеленые и коричневые	
Минералы				
Самородный свинец	Серо-черный; 1,5	Серо-белый $R = 62$	Нет	H ₂ O, слегка подкисленная, HNO ₃ ; 1—2 мин
Плюмбоарозит	Желтовато-зеленоватый, чешуйчатый; 2,5—3,5	Серый $Rg = 9,2$; $Rp = 7,9$ Двуотражение выражено слабо	Медово-желтые, бесцветные	HNO ₃ (1:40); 1—2 мин
Англезит	Белый, водяно-прозрачный; 2,5—3	Серый $R = 9,5$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные	NaHCOOH 20%-ный или NaCl 20%-ный; 1—2 мин.
Церуссит	Белый, водяно-прозрачный; 3—3,5	Серый $Rg = 12$; $Rp = 8,2$ Двуотражение ясно выражено	Бесцветные	HNO ₃ (1:20); 1—2 мин
Фосгенит	Желтый с зеленоватым оттенком; 2,5—3	Серый $Rg = 13,2$; $Rp = 12,9$ Двуотражение выражено слабо	Бесцветные или слабо-зеленоватые	HNO ₃ (1:1)
Пироморфит	Зеленовато-желтый; 3,5—4	Серый $Rg = 11,9$; $Rp = 11,7$ Двуотражение отсутствует	Слабо-зеленоватые	HNO ₃ (1:1)
Бедантит	От зеленовато-желтого до коричневого; 4	Серый $R = 10,5$	Бесцветные, слегка желтоватые	HNO ₃ (1:1); 1—2 мин

6	7	8	9
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Оранжевое (после обработки KOH коричневато-бурое)		Образуется при низких температурах из гидротермальных растворов
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Оранжевое (после обработки KOH коричневое)		Характерен для золото-серебряных руд. Ассоциирует с алабандином и родонитом
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Оранжевое (после обработки KOH коричневое)	Реакция на SiO_2 с HNO_3 и HCl (конц.)	Ассоциирует с гаусманитом, браунитом, манганитом, франклинитом, виллемитом
$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Оранжевое (после обработки KOH коричневое)	Реакция на S с HNO_3 (1:1)	Экструзивный генезис. Ассоциирует с самородным золотом, блеклыми рудами, самородной серой, родохрозитом, родонитом и пиритом
ица			
KJ 5%-ный	Желтое	Легко сплющивается при ударе	Обнаруживается в тяжелых фракциях в районах распространения свинцовых месторождений
KJ 5%-ный K_2CrO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на SO_3 с $BaCl_2$ Реакция на Fe с $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ным	Ассоциирует с малахитом, азуритом, халькантимом и мелантеритом. Образуется при окислении свинецсодержащих сульфидов в нейтральной или слабокислой среде, обычно в условиях сухого климата
KJ 5%-ный K_2CrO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на SO_3 с $BaCl_2$. При покрытии полированной поверхности минерала раствором KJ 5%-ным образуется желтая пленка, в отраженном свете имеющая голубой цвет	Образуется при окислении сульфидов галенита, замещается церусситом
KJ 5%-ный K_2CrO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	При покрытии полированной поверхности минерала раствором CrO_3 образуется оранжевая пленка	Образуется при окислении свинецсодержащих сульфидов в нейтральной и слабокислой среде при обилии карбонатов во вмещающих породах
KJ 5%-ный K_2CrO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	В ультрафиолетовом свете люминесцирует желтым цветом. Реакция на Cl с $AgNO_3$ 5%-ным	Образуется при окислении первичных свинецсодержащих минералов при наличии хлора или хлорсодержащих минералов во вмещающих породах
KJ 5%-ный K_2CrO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на P с $(NH_4)_2MoO_4$	Образуется за счет первичных свинецсодержащих минералов при наличии фосфора в грунтовых водах
KJ 5%-ный K_2ClO_4 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на As с $(NH_4)_2MoO_4$ + HNO_3 (конц.); на S с $BaCl_2$	Образуется за счет мышьяк-содержащих свинцовых минералов в слабокислой среде

1	2	3	4	5
Миметезит	Зеленоватый, оранжевый, коричневатый; 3,5	Серый $Rg = 13,2$; $Rp = 12,9$	Бесцветные, слегка желтоватые	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Крокоит	Оранжевый; 2,5—3	Светло-серый $Rg = 20,5$; $Rp = 15,7$ Двуотражение ясно выражено	Оранжевые	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Вульфенит	Желтый, зеленовато-желтый, красно-оранжевый; 3	Светло-серый $R = 17 - 18$ Двуотражение выражено неясно	Желтые, зеленовато-желтые, оранжево-красные	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Платтерит	Серо-буровато-черный или желтокоричневый; 5—5,5	Серый $R = 17$	Нет или в порошке с иммерсией коричневые	HNO_3 (1:1) 2—3 мин
Галенит	Стально-черный; 1,5—2	Белый $R = 41 - 43$ Изотропный	Не прозрачен	Обработка полированной поверхности HNO_3 (конц.)
Ванадинит	Зеленый, коричневый, красный; 3	Серый $R = 16 - 17$ Двуотражение выражено слабо	Бесцветные или желтоватые	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Минералы				
Госларит и цинкозит	Белый с голубоватым оттенком; 2	Темно-серый $R = 3 - 4$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные, водяно-прозрачные	H_2O ; 1—2 мин
Гидроцинкит	Белый, слегка желтоватый; 2—2,5	Серый $R = 7 - 6$ Двуотражение выражено ясно	Бесцветные	HNO_3 (1:40); 1—2 мин
Каламин	Белый; 4,5—5	Темно-серый Двуотражение отсутствует	Бесцветные	HNO_3 (1:20); 1—2 мин
Аурихальцит	Голубой или шелковисто-белый, светло-коричневый; 2	Темно-серый $R = 7 - 6$ Двуотражение слабо выражено	Бесцветные, слегка голубоватые	HNO_3 (1:20) или HCl (1:20); 2 мин
Монгеймит	Желтовато-белый; 4	Серый $R = 8 - 5$ Двуотражение выражено отчетливо	Бесцветные или медово-желтые	HNO_3 (1:20) или HCl (1:20); 2 мин

6	7	8	9
KJ 5%-ный K ₂ CrO ₄ 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на As с (NH ₄) ₂ Mo ₄ + HNO ₃ (конц.)	Образуется при окислении мышьяк- и свинецсодержащих минералов в слабокислой среде
KJ 5%-ный K ₂ CrO ₄ 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое	Реакция на Cr с AgNO ₃ 5%-ным	Ассоциирует с вульфенитом, пироморфитом, церусситом и другими минералами свинца. Образуется за счет свинцовых минералов при наличии хрома в грунтовых водах
KJ 5%-ный	Зеленовато-желтое (окраска аномальная вследствие содержания молибдена)	Характерна реакция на Mo с K ₄ Fe (CN) ₆ 5%-ным	Образуется при окислении галенита в свинцово-цинковых месторождениях и молибденита в медно-молибденовых месторождениях
KJ 5%-ный + гипосульфит 20%-ный K ₂ CrO ₄ 20%-ный	Желтое Оранжево-желтое		Индикаторный минерал для щелочной окисленной среды. Образуется в хорошо прорабатанной зоне окисления свинцово-цинковых руд.
KJ 5%-ный Прямой отпечаток	Желтое	Характерны черные треугольники выкрашивания на полированной поверхности минерала, реакция на S с BaCl ₂	В окисленной зоне наблюдается в виде реликтов. Вновь образующиеся разности устойчивы для восстановительных условий и при наличии H ₂ S в растворе
KJ 5%-ный K ₂ CrO ₄ 20%-ный	Желтое (мешает выделяющийся иод) Оранжево-желтое	Характерна реакция на V с бензидином или перекисью водорода	Образуется при окислении свинецсодержащих минералов в кислой среде
цинка			
Cu(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Фиолетовое	Капельная реакция на SO ₃ с BaCl ₂	Ассоциирует с мелантеритом, халькантитом и образуется за счет первичных цинксодержащих минералов в слабокислой среде в сухом климате
Co(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg(CNS) ₄	Голубое		
Cu(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Фиолетовое	Характерно радикальное строение, выявляемое при травлении HNO ₃ (1:40) в течение 2-3 с	Образуется за счет смитсонита при наличии карбонатных пород
Co(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Голубое		
Cu(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Фиолетовое	Характерно радикально-лучистое строение, выявляемое при травлении HNO ₃ (1:40) в течение 1 мин. Реакция на SiO ₂ с HNO ₃ или HCl (гель)	Образуется за счет первичных и окисленных минералов цинка в нейтральной среде при наличии в грунтовых водах растворимого SiO ₂
Co(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Голубое		
Cu(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄	Фиолетовое	Реакция на Cu с рубеоановой кислотой + NH ₄ OH	Ассоциирует с гидроцинкитом, ярозитом, малахитом, сокоцитом и др.
Cu(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg (CNS) ₄ Co(NO ₃) ₂ 1%-ный + K ₂ Hg(CNS) ₄	Фиолетовое Голубое (окраска проявляется после отмычки Fe ₂ (CNS) ₃ (водой)	Реакция на Fe с K ₃ Fe (CN) ₆	Ассоциирует со смитсонитом, гидроцинкитом и др. Образуется при окислении сфалерита

1	2	3	4	5
Смитсонит	Белый, слегка желтоватый; 5	Серый $R = 8 - 5$ Двуотражение ясно выражено	Бесцветные	HNO_3 (1:1); 2-3 мин
Виллемит	Бесцветный слегка зеленоватый, голубоватый или желтокоричневый; 5-6	Темно-серый $Rg = 7$; $Rp = 6,6$ Двуотражение выражено слабо	Бесцветные или желтовато-коричневые	HNO_3 (1:1); 1-2 мин
Сфалерит	Медово-желтый или коричнево-желтый; 3,5-4	Серый $R = 18$ Изотропный	Желтые или красно-коричневые	HNO_3 (конц.) + + HCl (конц.) + + H_2O ; 2-3 мин
Минералы				
Халькантит и другие сульфаты меди	Голубой; 2,5	Темно-серый $R = 4$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные, слегка голубоватые	H_2O ; 1-2 мин
Брошантит	Синий; 3,5-4	Серый $R = 8 - 7$ Двуотражение ясно выражено	Синие	HNO_3 (1:40) или NH_4OH 10%-ный; 1-2 мин
Азурит	Синий; 3,5-4	Серый $R = 8 - 7$ Двуотражение ясно выражено	Синие	HNO_3 (1:20) или NH_4OH 10%- ный
Малахит	Зеленый; 3,5-4	Серый $R = 9 - 6$ Двуотражение ясно выражено	Зеленые	HNO_3 (1:20) или NH_4OH 10%- ный
Куприт	Красный; 3,5-4	Серо-белый $R = 29-27$ Изотропный	Красные	HNO_3 (1:10) или NH_4OH 10%- ный
Тенорит	Серо-черный; 3,5	Светло-серый $R = 20$	Нет	HNO_3 (1:10) или NH_4OH 10%- ный; 1-2 мин
Халькозин	Черно-синий; 2,5-3	Голубовато-белый $R = 32.2$ Двуотражение отсутствует	Нет	HNO_3 (1:40) или NH_4OH 10%- ный; 1-2 мин
Ковеллин	Синий; 1,5-2	Синий $R = 7 - 22$ Двуотражение резко выражено	Нет	HNO_3 (1:1); 1-2 мин

7	8	9
Фиолетовое Голубое (окраска проявляется после отмывки $Fe_2(CNS)_2$ водой)	Характерно зональное строение зерен, выявляемых травлением HNO_3 в течение 1 мин	Образуется при окислении руд свинцово-цинковых месторождений, заключенных в карбонатных породах
Фиолетовое Голубое (окраска проявляется после отмывки $Fe_2(CNS)_2$ водой)	В ультрафиолетовом свете ярко-зеленая люминесценция	Образуется при окислении сфалерита, франклинита и цинкита. Ассоциирует с каламином и смитсонитом
Голубое (окраска проявляется после отмывки $Fe_2(CNS)_2$ водой)	В парах царской водки выявляется полисинтетически-двойниковая структура. Реакция на S с $BaCl_2$	В окисленных рудах (образуется в восстановительных условиях при наличии H_2S). Ассоциирует с галенитом и марказитом
Розово-коричневое Серо-зеленое	Реакция на SO_3 с $BaCl_2$	Образуется при окислении медьсодержащих минералов в нейтральной среде, в районах сухого климата
Розово-коричневое Серо-зеленое	Реакция на SO_3 с $BaCl_2$	Образуется в зоне окисления медных руд в ассоциации с малахитом, атакамитом, самородной медью и др.
Розово-коричневое Серо-зеленое		Образуется в процессе окисления медьсодержащих минералов в ассоциации с азуритом, купритом, самородной медью и др.
Розово-коричневое Серо-зеленое		То же
Розово-коричневое Серо-зеленое		Образуется в процессе окисления медьсодержащих минералов в ассоциации с малахитом, азуритом и самородной медью
Розово-коричневое Серо-зеленое		Образуется в процессе окисления медьсодержащих минералов в ассоциации с купритом и халькозинном
Розово-коричневое Серо-зеленое	Реакция на S с $BaCl_2$	Образуется при окислении медьсодержащих минералов в восстановительных условиях и ассоциирует с борнитом и ковеллином
Розово-коричневое Серо-зеленое	Реакция на S с $BaCl_2$	То же

1	2	3	4	5
Хризосола	Зеленый; 2—4	Темно-серый $R = 4,5-3,4$	Бесцветные или зеленовато-белые	HNO_3 (1:1) или HNO_3 (конц.) 1—3 мин
Борнит	Розовый с пестрыми побежалостями; 3	Розовый $R = 21,9$	Нет	HNO_3 (1:20); 1—2 мин
Халькопирит	Желтый; 3,5—4	Желтый $R = 41-47$ Двуотражение отсутствует	Нет	После травления полированной поверхности минерала парами царской водки NH_4OH 10%-ный; 2 мин
Сульфосоли меди (1) и меди и свинца (2)	Стально-серый; 3—4 (1) и 2,5—3 (2)	Серо-белый $R = 30-29$	Нет или в порошке с нммерсией	HNO_3 (1:1)
Минералы				
Биберит и другие сульфаты кобальта	Розовый до розово-белого; 2—3	Темно-серый $R = 9-8$ Двуотражение отсутствует	Розовые, розовато-белые	H_2O , слегка подкисленная HNO_3 (1:20)
Эритрин	Розовато-желтый чешуйчатый; 1—2,5	Темно-серый $Rg \approx 6,7$; $Rp = 5,7$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные, розовато-желтые	HNO_3 (1:80) 1—2 мин
Лавендулан	Розовато-белый; 1—2	Темно-серый $R = 7$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные	HNO_3 (1:80); 1—2 мин
Асболан	Черный; 2	Светло-серый R до 18 Изотропный	Нет	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Сферокобальтин	Розово-белый; 4	Серый $R = 9$ Двуотражение слабо выражено	Бесцветные, слегка розоватые	HNO_3 (1:20) или HCl (1:20); 1—2 мин
Шмальтин	Оловянно-белый; 5,5—6	Белый $R = 58$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:20) или HCl (1:20); 1—2 мин
Кобальтин	Розово-желтый; 5,5	Розовый $R = 52$ Изотропный	Нет	HNO_3 (конц.); 1 мин

6	7	8	9
<p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный (для усиления реакции)</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный</p>	<p>Розово-коричневое</p> <p>Серо-зеленое</p> <p>Серо-зеленое</p> <p>Серо-зеленое</p> <p>Серо-зеленое</p>	<p>Реакция на SiO_2 с HCl (конц.) или HNO_3 (конц.)</p> <p>Реакция на S с $BaCl_2$ и на Fe с $KCNs$</p> <p>Реакции на характерные элементы (Pb, Cu, Sb, As, Ag). Все минералы диагностируются в отраженном свете</p>	<p>Образуется при окислении медьсодержащих минералов, заключенных в силикатных породах и в коре выветривания</p> <p>Образуется при окислении халькопирита в восстановительных условиях в ассоциации с халькозинном и ковеллином</p> <p>Встречается в виде реликтов в массе окисленных минералов зоны окисления и в низах зоны цементации при разложении борнита</p> <p>Встречается в виде реликтов в массе окисленных минералов зоны окисления и цементации</p>
<p>обальта</p> <p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>$Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + $K_2Hg(CNS)_4$</p> <p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>$Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + $K_2Hg(CNS)_4$</p> <p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>$Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + $K_2Hg(CNS)_4$</p> <p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>$Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + $K_2Hg(CNS)_4$</p> <p>$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный</p> <p>Рубеоновая 1%-ная кислота + NH_4OH 10%-ный</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный</p> <p>Рубеоновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный</p>	<p>Красно-бурое</p> <p>Голубое</p> <p>Розово-коричневое</p> <p>Голубое</p> <p>Розово-коричневое</p> <p>Голубое</p> <p>Красно-бурое</p> <p>Голубое</p> <p>Желто-оранжевое</p> <p>Желто-бурое</p> <p>Желто-бурое</p> <p>Желто-бурое</p>	<p>Реакция на SO_3 с $BaCl_2$</p> <p>Реакция на As с $(NH_4)_2MoO_4$</p> <p>Реакция на As с $(NH_4)_2MoO_4$</p> <p>Реакция на Mn с бензидином</p> <p>Пленочная реакция на Co с $K_3Fe(CN)_6$ + HCl (1:20)</p> <p>Реакция на As с $(NH_4)_2MoO_4$, характерно зональное строение зерен, выявляемое травлением</p> <p>Реакция на As с $(NH_4)_2MoO_4$ и на Fe с $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ным</p>	<p>Образуется при окислении кобальтсодержащих минералов в условиях сухого климата</p> <p>Образуется при окислении кобальтсодержащих минералов. Ассоциирует с биберитом, аннабергитом и др.</p> <p>То же</p> <p>Образуется при окислении кобальтовых руд, содержащих карбонаты марганца</p> <p>Первичный минерал</p> <p>То же</p> <p>» »</p>

1	2	3	4	5
				Минералы
Моренозит и другие сульфаты никеля	Зеленовато-белый; 2—2,5	Темно-серый $R = 4$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные с зеленоватым оттенком	H_2O слегка подкисленная HNO_3 (1:20); 1—2 мин
Лавендулан	Розовато-белый; 1—2	Темно-серый R около 7 Двуотражение отсутствует	Бесцветные	HNO_3 (1:80); 1—2 мин
Аннабергит	Зеленовато-серый; 2,5—3	Темно-серый $R = 6,5\sim 7,5$ Двуотражение отсутствует	Зеленые	HNO_3 (1:80); 1—2 мин
Виоларит	Сине-фиолетовый; 4—4,5	Фиолетовый $R = 38\text{—}40$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:20); 1—2 мин
Полидимит	Желтый с металлическим блеском: 4—6	Желтый $R = 40\text{—}45$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Бравонт	Желтый с металлическим блеском: 4—6	Кремовый $R = 40\text{—}45$ Изотропный	Нет	HNO_3 (1:1); 1—2 мин
Гарниерит	Голубой; 2—2,5	Темно-серый $Rg = 5,5$ $Rp = 5,2$	Голубые	HNO_3 (1:1) или HNO_3 (конц.)
				Минералы
Повелит	Серый с зеленоватым или голубоватым оттенком; 2,5—3	Серый $R = 10$ Двуотражение отсутствует	Бесцветные или зеленовато-желтые	HNO_3 (1:20); 1—2 мин
Феримолибдит	Желтый; 1—2	Серый $R = 7\text{—}12$ Двуотражение отсутствует	Зеленовато-зеленые	HNO_3 (1:1); 2—3 мин
Ильземаннит	Черный, черновато-синий	Серый Двуотражение отсутствует	Серые	HNO_3 (1:1) или HCl (1:1); 2—3 мин
Молибденит	Свинцово-серый; 1	Серо-белый $R = 30\text{—}15$ Двуотражение ясно выражено	Нет	Шлиф обрабатывается $KMnO_4 + KOH$ до коричневой пленки, затем в качестве растворителя применяется HNO_3 (1:1)

6	7	8	9
никеля			
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Фиолетово-синее	Реакция на SO_3 с BaCl_2	Образуется при окислении первичных никельсодержащих минералов в условиях сухого климата
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакции на Cu и Co с рубеановой кисло- той и на SO_3 с BaCl_2	Образуется в процессе окисления первичных мине- ралов никеля и кобальта
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакция на SO_3 с BaCl_2	Образуется при окислении кобальт-никелевых руд в ас- социации с моринозитом, ла- вендуланом, эритрином и другими окисленными мине- ралами кобальта и никеля
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакция на S с BaCl_2	Образуется при разложе- нии пентландита
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакция на S с BaCl_2	То же
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакция на S с BaCl_2	Образуется при окислении никельсодержащего пиррот- на в зоне цементации
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое	Реакция на SiO_2 с HNO_3 (конц.)	Образуется в коре вывет- ривания основных пород
Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Синие-фиолетовое		
молибдена			
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Коричневое	Желтая люмине- сценция в ультрафи- олетовом свете	Образуется в процессе окисления молибденита
KCNS 20%-ный + SnCl (насыщ. ра- створ)	Оранжево-красное	Реакция на Fe с $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Образуется при окислении молибденита. Ассоциирует с гетитом, гидрогетитом
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Коричневое	Реакция на SO_3 с BaCl_2	Образуется при окислении молибденита. Ассоциирует с гетитом, гидрогетитом и др.
KCNS 20%-ный + SnCl (насыщ. ра- створ)	Оранжево-красное		
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Коричневое	Пленочная реакция на Mo с KMnO_4 + KOH в течение 1—2 мин (цвет плен- ки темно-коричне- вый)	Первичный минерал
Ксантогенат калия (свежеприготовлен- ный)	Малиновое		

1	2	3	4	5
Минералы				
Сульфаты: Иоганнит Пиперит	Изумрудно-зеленый; 8—2,5 Оранжевый; 3	Темно-серый R около 5 Двуотражение отсутствует	Зеленые Густо-желтые	H ₂ O
Карбонаты: Шрекингерит	Зеленовато-желтый; 2,5	Темно-серый R около 4 Двуотражение отсутствует	Бледно-зеленые	HCl (1:20); 2—3 мин
Силикаты: Ненадкевит	Коричневато-красновато-бурый до желтого	Темно-серый $R = 9-10$ Двуотражение отсутствует	Коричневато-зеленые или желтые	HCl (1:10) или HNO ₃ (1:10); 1—2 мин
Уранофан	Желтый или зеленовато-желтый; 2,3	Темно-серый $R = 6-7$ Двуотражение отсутствует	Слабо зеленовато-желтые	HNO ₃ (1:20) или HCl (1:20); 1—2 мин
Коффинит	Темно-коричневый; 6	Серый $R = 9,9$	Коричневые (редко) или отсутствуют	HNO ₃ (1:1); 3—5 мин
Ванадаты: Кариотат	Зеленовато-желтый; 2—2,5	Темно-серый $R = 4-5$ Двуотражение отсутствует	Бледно-зеленовато-желтые	HNO ₃ (1:20); 2—3 мин
Фосфаты: Оттенит	Зеленовато-желтый; 2—2,5	Темно-серый $R = 4-5$ Двуотражение отсутствует	Желтые	HNO ₃ (1:1)
Торбернит	Изумрудно-зеленый; 2—2,5	Темно-серый R около 4 Двуотражение отсутствует	Бледно-зеленые	HNO ₃ (1:20); 1 мин
Окислы: Урановые черны	Густо-черные; у землистых разновидностей 2—3, у плотных до 4	Серый до темно-серого $R = 16-11$ Изотропный	Нет	HNO ₃ (1:20); 1—2 мин
Настуран	Черный и буровато-черный; 6	Светло-серый с фиолетовым оттенком $R = 15-16$ Изотропный	Нет или темно-коричневые	HNO ₃ (1:1); 2—3 мин
Уранинит	Коричневато-черный; 5—5,6	Светло-серый с коричневыми оттенком $R = 15-16,8$ Изотропный	Нет или коричневые (редко)	HNO ₃ (1:1); 2—3 мин

6	7	8	9
урана			
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое (смещает Mo и Cu)	Не люминесцирует. Реакция на медь с рубиановой кислотой и на SO_3 с $BaCl_2$	Образуется в процессе окисления ураносодержащих минералов и сульфатных рудничных вод в сухом и жарком климате
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Интенсивно люминесцирует в ультрафиолетовом свете, голубовато-зеленый	Образуется при испарении рудничных вод в старых выработках урановых месторождений, находящихся в сухом и жарком климате. Ассоциирует с иоганитом
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует. Реакция на SiO_2 с HCl и HNO_3 (студень)	Минерал гидротермального генезиса
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Грязно-желтовато-зеленая люминесценция в ультрафиолетовом свете. Реакция на SiO_2 с HCl и HNO_3 (студень)	Образуется при окислении ураносодержащих минералов различного генезиса
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует. Реакция на SiO_2 с HCl (конц.) или с HNO_3 (конц.)	Первичный минерал уранованадиевых месторождений
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Зеленовато-желтая люминесценция в ультрафиолетовом свете. Реакция на V с бензидином или H_2O_2	Образуется в верхней зоне окисления при окислении первичных ураносодержащих минералов. Ассоциирует со вторичными оксидами минералов никеля, кобальта и ванадия
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Желтовато-зеленая люминесценция в ультрафиолетовом свете. Реакция на P с $(NH_4)_2MoO_4$ + HNO_3 (конц.)	Образуется в процессе окисления ураносодержащих минералов. Ассоциирует с другими урановыми минералами зоны окисления
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует. Реакция на P с $(NH_4)_2MoO_4$ + HNO_3 (конц.) и на Cu с рубиановой кислотой	Первичный минерал. Ассоциирует с другими первичными урановыми минералами
KJ 20%-ный + гипосульфит 5%-ный + $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный (в присутствии Mo и Cu)	Шоколадно-коричневое		
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует	Образуется при окислении ураносодержащих минералов в кислой сульфатной среде. Отлагается в зоне цементации. Ассоциирует с гипсом и марказитом
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует	Первичный минерал
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует	Первичный минерал
$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует	Первичный минерал
KJ 20%-ный + гипосульфит + $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный (в присутствии Mo и Cu)	Шоколадно-коричневое	Не люминесцирует	Первичный минерал

Однако необходимо отметить, что точная диагностика прозрачных минералов окисленных руд осуществляется обычными методами петрографического анализа или иммерсионного метода в проходящем свете. А так как в прозрачных шлифах обычно присутствуют также реликты первичных непрозрачных минералов диагностика последних осуществляется с помощью комбинированного освещения прозрачного шлифа с применением иммерсионных объектов. Это проводится следующим образом: на прозрачный шлиф накладывается одна капля глицерина и в последнюю вводится выходящая линза иммерсионного объектива и наводится на фокус.

Применение одновременно осветителей для проходящего и отраженного света дает возможность прозрачные минералы определять по их оптическим свойствам при скрещенном и параллельном положении николей.

Реликты непрозрачных минералов хорошо диагностируются по их цвету в отраженном свете и особенностям структуры.

При проведении микрохимического опробования окисленных руд поступают следующим образом. Макроскопически или с лупой выявляют по особенностям окраски и твердости все минералы в штучном образце, зерне, шламе или протолочке. Затем проводят фазовый анализ образца одним из методов микрохимического анализа (капельным, пленочным, по методу отпечатков и т. д.) или изучают образец в ультрафиолетовом свете с целью выявления люминесцирующих минералов. При диагностике минералов в отраженном свете вначале изучаются физические свойства всех присутствующих в полированном шлифе минералов и лишь после этого проводят микрохимический фазовый анализ по методу отпечатков.

Девятая графа таблицы существенно необходима при проведении текстурно-структурного анализа, так как с помощью данных, помещенных в этой графе, устанавливают минералы, которые являются своего рода окаменелыми свидетелями процессов, имевших место при формировании окисленных руд.

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ОКИСЛЕННЫХ РУД

В гипергенной переработке руд месторождений участвуют и участвовали в прошлом подземные воды, как главный фактор окисления, растворения, переноса и новой компоновки рудного материала и образования определенных минеральных парагенезисов. Форма их проявления и закономерность пространственного распространения в зоне окисления обуславливает появление в руде различных типов текстур, а условия образования и механизм отложения в них минералов отражают особенности их структуры.

Поэтому текстурно-структурный анализ окисленных руд проводят с целью выявления в зоне окисления месторождений полезных ископаемых парагенетических минеральных ассоциаций, закономерностей их распределения и выявления условий образования и последовательности их отложения.

Формирование той или иной минеральной ассоциации обусловлено механизмом переноса вещества в водной среде, механизмом движения самой этой среды и механизмом отложения из этой среды.

Движение водных сред в условиях земной коры может осуществляться, по-видимому, в основном тремя способами: гравитационным, вакуумным и поровым.

Гравитационный способ осуществляется под действием собственного веса воды, охватывает поверхностный сток, движение грунтовых вод, вод разломов, пластовых и т. д. Этот способ определяется движением воды к общей дрене (дренирующему уровню). Скорость движения, а значит и скорость переноса минералообразующего вещества, определяется положением данного объема воды над дренаем и фильтрационной способностью гидродинамической системы.

Вакуумный метод осуществляется в результате увеличения или уменьшения объема гидродинамической системы под влиянием тектонических деформаций. Иными словами, в результате образования новых трещин, давление в которых по отношению к имеющимся заполненным водой трещинам бесконечно мало, либо в результате закрытия обводненных трещин и выдавливания из них воды в другие трещины. Движение возможно в любом направлении вне зависимости от сил земного тяготения.

Поровый или капиллярный способ движения воды имеет ограниченное распространение и происходит под действием капиллярных сил поднятия воды.

Помимо перечисленных способов движения водной среды имеет, вероятно, место движение в результате термодиффузии, гравитационного всплывания несмешавшихся растворов. Образование большинства имеющихся минеральных ассоциаций хорошо объясняется перечисленными тремя способами. Естественно, что в природных условиях ни один из названных способов движения не проявляется в чистом виде, однако преобладание одного из них определяет в дальнейшем тип и морфологию образующихся минеральных ассоциаций и их строение.

Например, вакуумный способ движения обычно сопровождается формированием минеральных ассоциаций жильного типа, но часто во вмещающих эти жилы породах и рудах имеется минерализация в виде вкрапленности, для формирования которой типом движения водных масс по-видимому, является капиллярный. Движение масс (за исключением вакуумного способа) не всегда сопровождается формированием новых минеральных ассоциаций. Способ переноса минералообразующего вещества в водной среде

зависит от размера переносимых частиц, и может быть осуществлен в различных видах — от истинных растворов до механических взвесей.

В окисленных рудах образование минералов, в каждой из слагающих руду парагенетических минеральных ассоциаций, обусловлено также особенностями химического состава грунтовых вод — их щелочности и кислотности и характера первичных руд и рудовмещающих пород. Существенное значение при отложении различных минералов и их ассоциаций в окисленных рудах имеют также климатические условия. Как известно, в условиях жаркого и сухого климата в окисленных рудах образуются минеральные парагенезисы, в составе которых преобладают легко растворимые минералы (Юшко, 1969); в условиях вечной мерзлоты с отрицательными температурами в зонах окисления широкое распространение приобретают процессы вымораживания, а последнее способствует повышению концентрации различных металлов и выпадению легко растворимых минералов (сульфатов, окислов и даже металлов) (Олейников, Шварцев, 1968; Кравцов, 1971). Наконец, в районах с обильным проявлением осадков сохраняются лишь устойчивые минералы. Одновременно для таких руд характерно широкое развитие различных типов текстур выщелачивания.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ ТЕКСТУР И СТРУКТУР ОКИСЛЕННЫХ РУД*

Как известно, под текстурой понимают строение руд, обусловленное особенностями формы и размера и типами сростаний парагенетических минеральных ассоциаций окисленных и первичных руд.

Типы минеральных сростаний характерных минеральных парагенезисов, размер которых больше 2 мм, относят к макротекстурам. Если размер минеральных парагенезисов меньше 2 мм, такие минеральные сростания относят к группе микротекстур. Форму минеральных ассоциаций определяют занимаемые ими пространства в руде или породе (трещины, поры и др.).

Под термином структура понимают строение парагенетических минеральных ассоциаций, слагающих окисленную руду, обусловленное формой, размером и типами сростаний минеральных зерен в каждой парагенетической минеральной ассоциации. По морфологическим особенностям кристаллического зерна выделяют идиоморфные, аллотриоморфные, осколки и обломки. При коагуляции коллоидов образуются коагуляты.

* Под характерной минеральной ассоциацией окисленных руд понимают такую, которая возникает вновь на определенной стадии формирования зоны окисления.

По условиям образования минеральных зерен выделяют — кристаллические зерна, образующиеся в процессе кристаллизации водных растворов; метазернами называют минеральные зерна, полученные в процессе метасоматизма, и, наконец, бластозерна образуются при процессах перекристаллизации минералов в парагенетической минеральной ассоциации или путем собирательной кристаллизации коллоидов. При дроблении минералов образуются различной формы класты. Все эти виды минеральных зерен обуславливают появление определенных структур.

Текстуры окисленных руд появляются в процессе дробления, выщелачивания первичных руд и отложения новых минеральных агрегатов, устойчивых в зоне окисления и цементации рудных месторождений. В зависимости от характера проявления процесса выветривания образуются текстуры различных морфологических типов. Объединяя последние по преобладающим условиям образования, можно выделить три генетические группы: 1) текстуры выщелачивания и дробления; 2) текстуры метасоматического замещения; 3) текстуры заполнения пустот. Эти текстуры свойственны минеральным агрегатам, состоящим из вторичных минералов.

Текстуры выщелачивания и дробления. Текстуры этой группы образуются под влиянием различных агентов выветривания (O_2 и CO_2 , изменения температуры). Руды растрескиваются, дробятся, а неустойчивые минералы и минеральные агрегаты растворяются с образованием более устойчивых минералов и минеральных агрегатов. Характерные текстуры для этой генетической группы — обломочная, землистая, порошокватая, сажистая, охристая, брекчиевая, брекчиевидная и каркасные (пористая, кавернозная, ячеистая, ящичная, губчатая) (рис. 15, 16, 17).

Текстуры метасоматического замещения. Текстуры метасоматического замещения подразделяются на две подгруппы: коррозионные и унаследованные.

Коррозионные текстуры. К этой подгруппе относятся такие текстуры, в которых замещающий минеральный агрегат по количеству значительно уступает замещаемому. Характерный минеральный агрегат всегда имеет метазернистую структуру.

Наиболее отчетливо выражены следующие морфологические типы коррозионных текстур: нитеобразная, петельчатая, решетчатая, сетчатая, графическая, субграфическая, дендритовая, цементная, каемчатая, корковая, зональная, реликтовая, раскрошенная и вкрапленная (рис. 18, 19, 20).

Унаследованные текстуры. Эти типы текстур возникают в процессе полного или почти полного метасоматического замещения первичных минералов и минеральных агрегатов вторичными, при сохранении (унаследовании) морфологических особенностей структуры и текстуры замещаемого ими агрегата минералов. Наиболее характерные текстуры этой подгруппы — слоистая, цементная, конкреционная, зональная, брекчиевая; к этой подгруппе относятся также псевдоморфозы вторичных минеральных агрегатов по от-

Рис. 15. Ячеистая текстура выщелачивания.

Выщелачивание халькопирита и образование на его месте ячеек гидрогематит+гетит (белое). Пустоты от выщелоченного халькопирита заполнены землистым агрегатом гидрогетита и гидрогематита (серое). Структура скрытообломочная и скрытозернистая. Зарисовка штуфного образца, $\times 2$

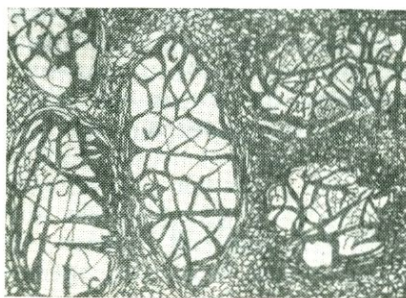
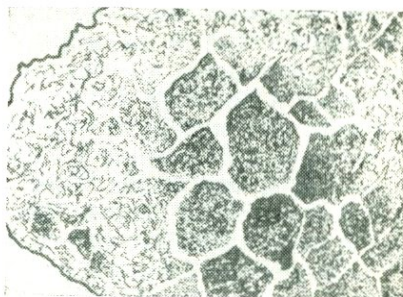


Рис. 17. Губчатая текстура выщелачивания.

Выщелачивание сфалерита и халькопирита и образование на их месте ячеек гидроокислов железа и смитсонита (черное). Структура скрытокристаллическая. Зарисовка штуфного образца, $\times 30$



Рис. 16. Ящичная текстура выщелачивания.

Ячей гидроокислов железа (серое) и смитсонита (черное) на месте выщелоченного сфалерита. Структура скрытокристаллическая. Зарисовка штуфного образца, $\times 30$

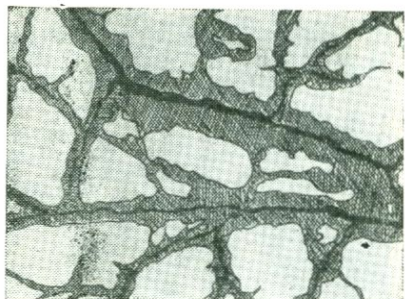


Рис. 18. Прожилково-коррозионная текстура.

Метасоматическое замещение халькопирита (белое) гидрооксидами железа (серое) и малахитом. Структуры скрытокристаллическая и зернистая (для малахита). Зарисовка штуфной полировки, $\times 2$

Рис. 19. Решетчато-коррозионная текстура.

Метасоматическое замещение галенита (белое) церусситом (серое) и гидрооксидами железа (черное). Структура скрытокристаллическая. Зарисовка с фото, $\times 60$

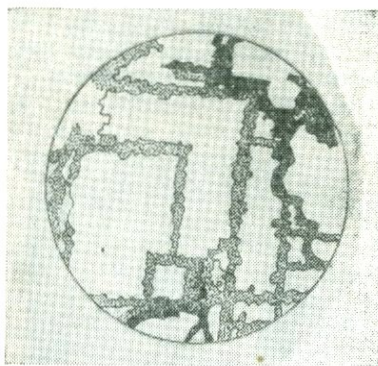


Рис. 20. Каемчато-коррозионная текстура.

Метасоматическое замещение пирита (белое) гидрооксидами железа (серое). Структура скрытокристаллическая. Зарисовка с фото, $\times 60$



Рис. 21. Дендритовая текстура заполнения пустот.

Выделение пиролюзита и псиломелана по плоскостям отдельности доломита. Структура скрытокристаллическая и колломорфная. Зарисовка штуфного образца. Нат. вел.

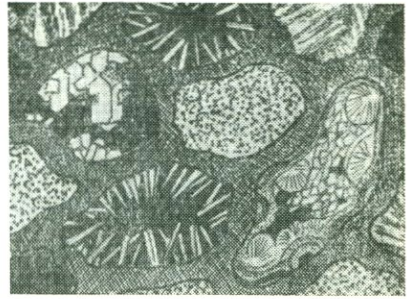


Рис. 22. Жеодовая текстура заполнения пустот.

В основной массе гетита и гидрогетита с каркасной текстурой пустоты выполнены щетками кристаллов каламина. Структура идиоморфнозернистая. Зарисовка штуфного образца

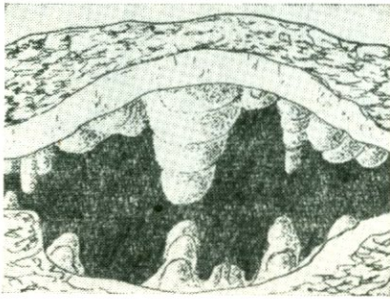


Рис. 23. Сталактитовая и сталагмитовая текстуры заполнения карстообразных пустот.

Структура колломорфная. Зарисовка штуфного образца

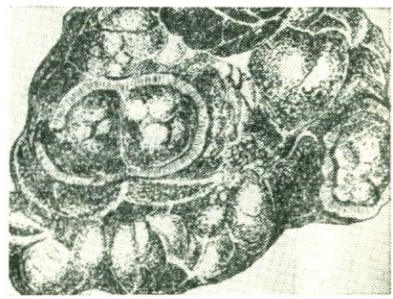


Рис. 24. Текстура колломорфная заполнения пустот.

Радially-лучистая структура собирательной кристаллизации коллоидов. Зарисовка шлифа, $\times 4$

дельным первичным минералам (гидроокислы железа по пириту, скородит по арсенопириту и др.). Характерный минеральный агрегат всегда сложен вторичными минералами; структура его мета-зернистая.

Текстуры заполнения пустот. Текстуры этой генетической группы образуются при заполнении пустот выщелачивания в массе первичных и вторичных измененных руд. Минеральные агрегаты, возникающие в этих условиях; характеризуются идиоморфной и гипидиоморфной или колломорфно-метаколлоидной структурами и всегда представлены вторичными минералами. Для данной гене-

тической группы характерны следующие морфологические типы текстур: прожилковая, дендритовая, цементная, секреторная, кокардовая, жеодовая, колломорфная, метаколлоидная, корковая, сталагмитовая, брекчиевидная (рис. 21, 22, 23, 24).

Для определения условий образования генетической группы текстуры необходимо определить генетические типы минеральных зерен в минеральном агрегате (кристаллические зерна, метазерна, бластазерна, коагуляты, класты), с помощью которых может быть выяснен механизм и условия образования и отложения слагающих окисленные руды парагенетических минеральных ассоциаций. Типы минеральных зерен, характерные для парагенетических минеральных ассоциаций, слагающих окисленные руды зоны окисления месторождений, выявляются у анизотропных минералов с помощью поляризованного света, у изотропных и скрытокристаллических и слабоанизотропных минералов с помощью структурного травления или реакций пленочного анализа. Попутно выявляется форма и размер минеральных зерен (идiomорфная, аллотриоморфная, гилидиоморфная и т. д.), с помощью которых может быть выяснена особенность отложения минералов при формировании парагенетических минеральных ассоциаций кристаллизации истинного раствора (зернистые структуры), метасоматического замещения (метазернистые структуры), коагуляции коллоидов (колломорфные структуры) и т. д.

При длительном формировании железных шляп часто существенное значение приобретают такие вторичные структуры, как метаколлоидные, дробления и структуры перекристаллизации и собирательной перекристаллизации коллоидов.

Структуры, образованные в процессе кристаллизации водных растворов. Структуры этой генетической группы характерны для минеральных парагенезисов, образующихся путем заполнения пустот, когда образование минералов происходит путем выпадения минералов из растворов в процессе кристаллизации. При этом образуются различные зернистые структуры (аллотриоморфнозернистые, идиоморфнозернистые и скрытокристаллические (см. рис. 24). Развитие всех этих типов структур обусловлено способностью кристаллизации раствора (его концентрацией), скоростью кристаллизации и линейной скоростью роста граней минералов. Наконец, существенное значение часто приобретает сила кристаллизационного роста последних (Юшко, 1971).

Метазернистые структуры. К этой генетической группе относятся структуры, характерные для минеральных парагенезисов, образование которых происходило в процессе метасоматического замещения как отдельных минералов, так и более ранних по времени образования парагенетических минеральных ассоциаций. При этом, в зависимости от силы и скорости кристаллизационного роста вновь образующихся минералов, развиваются такие морфологические типы структур, как скрытокристаллическая, аллотриоморфно-метазернистая и идиоморфнометазернистая (см. рис. 19, 20, 23).

Структуры, образованные в процессе механического осаждения взвесей минеральных зерен и коагуляции коллоидных растворов. К этой генетической группе относятся структуры минеральных парагенезисов, образование которых обусловлено при механическом осаждении тонких взвесей обломочного материала или в процессе коагуляции коллоидных растворов. Эта генетическая группа структур образуется путем заполнения пустот и характеризуется развитием различных типов обломочных, колломорфных и структур со скрытокристаллическим строением (см. рис. 23). Для парагенетических минеральных окисленных руд этот тип структур является наиболее распространенным.

Вторичные структуры окисленных руд. Что касается вторичных структур, то, как уже было отмечено, наибольшим распространением пользуются различные метаколлоидные структуры (радиальнолучистая, зональная, колломорфнометаколлоидная и др.) Структуры дробления, грануляции и перекристаллизации у минеральных ассоциаций окисленных руд не характерны. Структуры дробления свойственны минералам таких парагенезисов, которые после своего образования были раздроблены и перемяты под влиянием процессов дробления и динамометаморфизма.

Таким образом, если текстуры руд определяют формы проявления характерных парагенетических минеральных ассоциаций в рудах окисленных зон месторождений полезных ископаемых (пятно, прожилки, полоска, обломок, каемка и т. д.), то структуры минеральных парагенезисов характеризуют особенности условий образования и механизм отложения минералов в последних.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА ОКИСЛЕННЫХ РУД

Текстурно-структурный анализ окисленных руд проводят в следующей последовательности.

В забоях, вскрывающих окисленные руды, штучных образцах, полированных и прозрачных шлифах выявляют все слагающие окисленные руды парагенетические минеральные ассоциации, причем характеризуют формы и размер их проявления в руде и особенности минерального состава и структуры. Выделяют среди них так называемые характерные парагенетические минеральные ассоциации, т. е. такие, которые характеризуют развитие в руде определенной стадии или этапа минерализации. Форма проявления в руде таких минеральных ассоциаций (прожилки, оолит, корка, каемка, цемент, реликт, обломок, каркас, сетка и др.) характеризует определенный морфологический тип текстуры.

Размер выделений парагенетических минеральных ассоциаций будет характеризовать масштаб проявления процесса, обусловившего их образование в руде.

Отдельные минералы и их агрегаты могут быть образованы как эндогенными, так и экзогенными процессами минералообразования в результате проявившихся, в районе расположения рудных тел, в определенной последовательности и различных по масштабам тектонических движений и процессов выветривания.

Путем изучения текстурных особенностей руды можно установить возрастные взаимоотношения между минеральными агрегатами и выделить определенные этапы минерализации, увязав их с геологической обстановкой.

Под этапом минерализации в окисленных рудах понимают длительные периоды минералообразования, связанные с существенно различными процессами минералообразования. В окисленных рудах к таким периодам могут быть отнесены парагенетические минеральные ассоциации первичных руд и минеральные ассоциации руд, образованных при их выветривании.

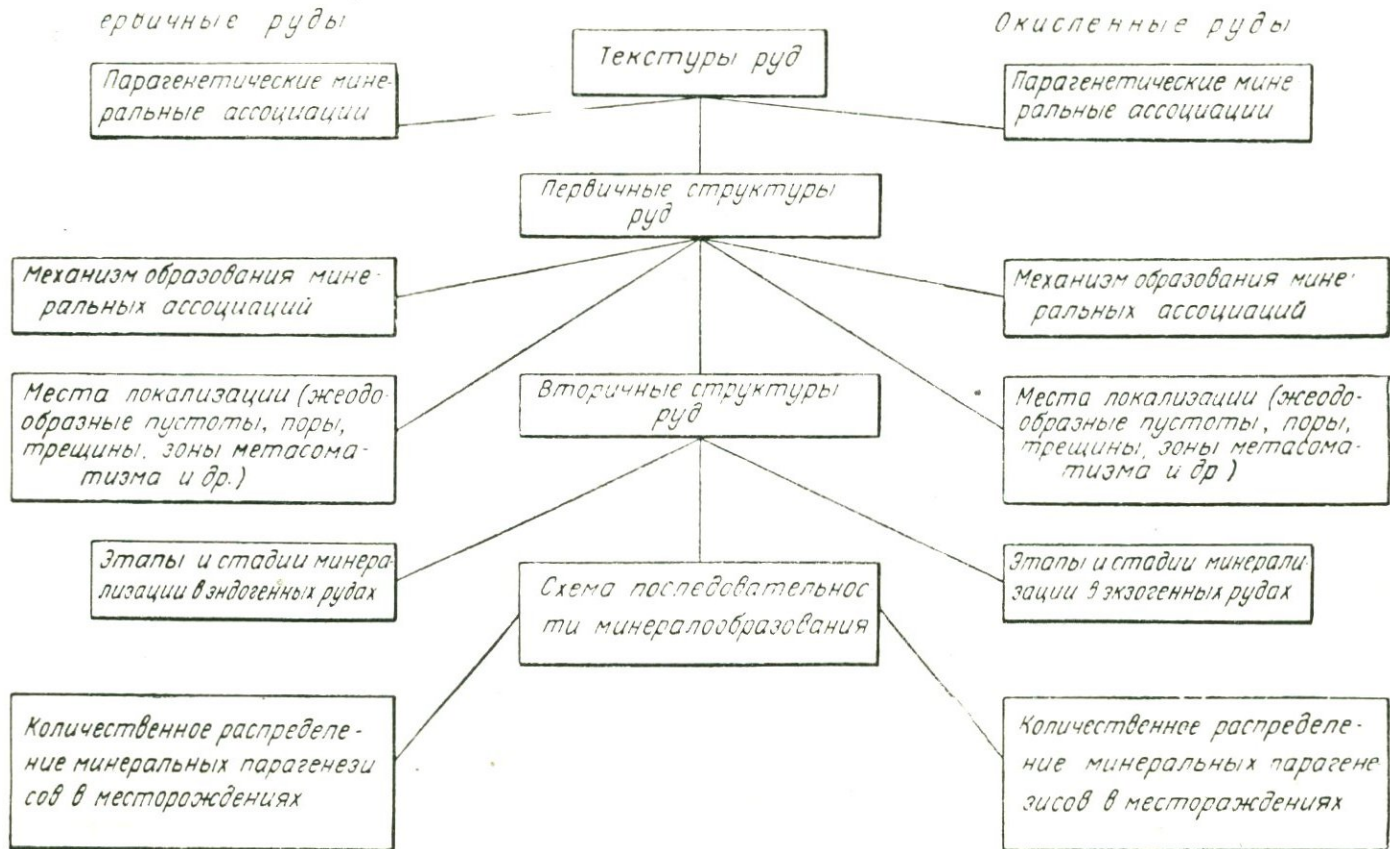
Под стадиями минералообразования понимают парагенетические минеральные ассоциации, образование которых обусловлено перерывами в процессе минералообразования определенного этапа или резкой сменой физико-химических условий минералообразования. Обычно в окисленных рудах появление парагенетических минеральных ассоциаций разных стадий минералообразования обусловлено изменением химического состава грунтовых вод, процессами эрозии и климатических условий. Как правило, перед появлением каждой новой стадии минералообразования происходит образование трещин усыхания или дробления, которые и послужили путями циркуляции и местами локализации минералов новых стадий минерализации.

Как видно из табл. 5, детальное изучение особенностей типоморфизма минералов, слагающих определенные парагенетические минеральные ассоциации окисленных руд, способствует определению особенностей химического состава грунтовых вод в период отложения этих минералов. Под типоморфизмом минералов понимают особенности их химического состава, внутренней структуры и формы их проявления в соответствующем парагенезисе.

Из числа типоморфных минералов могут быть выделены минералы-индикаторы, то есть такие минералы, для которых известны и экспериментально доказаны физико-химические и термодинамические условия образования. Путем детального изучения морфологических типов структур определяют их место и последовательность образования при формировании соответствующей минеральной ассоциации в зоне окисления месторождений.

Наконец, наличие таких вторичных структур, как дробления, смятия, раскristаллизации и собирательной кристаллизации коллоидных масс и изменение отдельных минералов (обезвоживание, сульфидизация и др.) позволит выявить степень и характер проявления различных типов процессов метаморфизма более ранних по времени образования парагенетических минеральных ассоциаций.

Последовательность проведения текстурно-структурного анализа руд



Анализ соотношений типоморфных химических элементов для определенных типов зон окисления, открывает возможность для суждения о составе природных растворов, с которыми связано образование вторичных минералов, а также дает некоторое представление о показателях геохимической обстановки и комплексе прошедших реакций. Подобные палеогидрохимические реконструкции позволяют до некоторой степени восстанавливать историю развития зон окисления месторождений (Юшко, 1969), так как минеральную ассоциацию можно рассматривать как определенную стадию гипергенного процесса (см. табл. 5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимарин И. П.** Полевая химическая лаборатория для исследования железных и марганцевых руд. — «Советская геология», 1947, № 21, с. 2—5.
- Бродский А. А.** Основы гидрохимического метода поисков сульфидных месторождений. М., «Недра», 1964. 56 с.
- Кравцов Е. Д.** Минералы зоны окисления Двяхтардахского месторождения. Зап. Всес. мин. о-ва, 1971, № 3, с. 282—290.
- Олейников Б. В., Шварцев С. А.** Современное сульфатообразование в зонах окисления пирротин-халькопиритовых гидротермальных рудообразований (северо-запад Сибирской платформы). — «Геология и геофизика», 1968, № 6, с. 15—23.
- Свешников Г. Б., Добычин Г. В.** Гальваническое растворение сульфидов и ореол рассеяния тяжелых металлов. — «Геохимия», 1956, № 4, с. 70—75.
- Смирнов В. И.** Лимониты зоны окисления полиметаллических месторождений. Тр. МГРИ, 1948, № 23, с. 256—273.
- Смирнов С. С.** Зона окисления сульфидных месторождений. М., Госгеол-издат, 1951. 291 с.
- Смолянинов Н. А., Синегуб Е. С.** Определитель гипергенных минералов. М., Госгеолиздат, 1950. 257 с.
- Теодорович Г. Н., Меламедова В. С., Писаренко И. А.** К методике диагностического окрашивания железисто-магнезиальных карбонатов. — Изв. высш. учеб. завед. «Геология и разведка», 1959, № 9, с. 37—45.
- Штеренберг Л. Е.** К диагностике карбонатных минералов методом окрашивания — «Литология и полезные ископаемые», 1965, № 2, с. 184—185.
- Щербина В. В.** К геохимии зоны окисления рудных месторождений. — «Советская геология», 1955, № 43, с. 137—147.
- Юшко С. А., Боришанская С. С.** Таблицы диагностических признаков, минералов в шлихах. М., Госгеолтехиздат, 1955. 60 с.
- Юшко С. А.** Минералогия свинцово-цинковых стратиформных месторождений Южного Казахстана. М., «Недра», 1969. 151 с.
- Юшко С. А.** Методы лабораторного исследования руд. М., «Недра», 1971. 344 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Химические реакции, применяемые при поисках и разведке полезных ископаемых	6
Полевые лаборатории, применяемые при химическом опробовании руд	6
Методика выполнения специальных химических реакций	8
Реакции капельного анализа на отдельные элементы	8
Реакции, ведущие к образованию цветных пленок на поверхности минералов	14
Реакции по методу отпечатков	17
Фазовый минералогический анализ руд	24
Микроскопические методы определения минералов железа, кобальта, никеля, свинца и цинка из окисленной зоны	26
Определение минералов группы окислов и гидроокислов железа	27
Определение окисленных минералов меди	28
Определение минералов свинца и цинка	29
Определение минералов кобальта и никеля	30
Таблица диагностических свойств минералов, образующихся в окисленных рудах	31
Текстурно-структурный анализ окисленных руд	48
Генетические и морфологические типы текстур и структур окисленных руд	50
Методика проведения структурно-текстурного анализа окисленных руд	56
Список литературы	60

СОФЬЯ АВРААМОВНА ЮШКО

Методы минералогического исследования окисленных руд

Редактор издательства Е. Я. Соколовская

Технический редактор О. Ю. Трепенюк

Корректор С. В. Зимина

Сдано в набор 5/X—72 г. Подписано в печать 29/XI—72 г. Т-19148. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага № 1 Печ. л. 4,0 Уч.-изд. л. 4,34 Тираж 2000 экз. Заказ № 1543/4223—14 Цена 43 коп.

Московская типография № 32 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

**В издательстве «Недра»
готовятся к печати новые книги**

МАРФУНИН А. С. Введение в физику минералов. 30 л. 3 р. 25 к.

В книге рассмотрены фундаментальные понятия и представления, характеризующие физическую природу минералов. Освещены теория кристаллического поля и оптические спектры поглощения минералов, систематизированные по ионам; рассматривается природа окраски минералов. Большой раздел посвящен методу молекулярных орбиталей, с разбором схем расчета, структуры и химической связи (включая полупирические зонные методы, энергию решетки, решеточные суммы, ионные радиусы), особенностям связи в силикатах и сульфидах. В зонной теории уделяется внимание разбору конкретных соединений и интерпретации на их основе спектров отражения рудных минералов и полупроводников. Детально освещаются области спектроскопии твердого тела: оптическая, рентгеновская и рентгеноэлектронная, мессбауэровская; электронный парамагнитный, ядерный магнитный, ядерный квадрупольный и двойные резонансы, а также люминесценция и термолюминесценция. По каждому разделу дается сводка готовых результатов для минералов и их синтетических аналогов.

Книга рассчитана на широкий круг минералогов, геохимиков, петрографов, а также химиков-неоргаников и может быть использована аспирантами и студентами старших курсов соответствующих специальностей.

**ОНИКИЕНКО С. К. Специальные методы исследования поро-
дообразующих минералов в прозрачных шлифах и препаратах.**
9 л. 45 к.

Работа посвящена специальным (точным) кристаллооптическим методам исследования породообразующих минералов. На современной методической основе изложены иммерсионный и федоровский методы. Они дополнены новыми, проверенными на практике методиками. В работе описана основная аппаратура, изложены теоретические основы методов, последовательность операций и техника производства замеров. Книга является продолжением работы автора «Методика исследования породообразующих минералов в прозрачных шлифах», выпущенной издательством «Недра» в 1971 г.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся петрографической обработкой материалов, а также может служить пособием для преподавателей и студентов геологических специальностей вузов.

Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. 18 л. 2 р. Авт.: **БЕРНШТЕЙН П. С., БЕЗСМЕРТНАЯ М. С., ЧВИЛЕВА Т. Н.** и др.

Работа содержит описание 160 рудных минералов (самородных элементов, сульфидов, теллуридов, селенидов, сульфосолей, окислов). Для каждого минерала приведены оптические свойства в белом отраженном свете, коэффициенты отражения в интервале спектра $\lambda=450-1100$ нм, графики спектров отражения, значения твердости по микровдавливанию, основная литература. Исследования проведены на материале эталонной коллекции образцов, диагностированных с помощью рентгенометрического, локального микроспектрального, рентгенохимического и полного химического анализов; при изучении оптических свойств применены новейшие методики и последние модели современной серийной отечественной аппаратуры.

Работа предназначена для специалистов по геологии и переработке руд (минералогов, геохимиков, обогатителей и др.), а также может быть использована в качестве лабораторного пособия-справочника по определению непрозрачных объектов.

Химический анализ горных пород и минералов. 20 л. 1 р. 15 к.

Книга является методическим руководством по химическому анализу горных пород и минералов. Описан анализ силикатных пород и минералов, карбонатов, фосфатов, фторидов и боратов с широким использованием современных химических и химико-физических методов. Включены рабочие прописи определения сопутствующих элементов. Все описанные в руководстве методы проверены в практической работе Химико-аналитической лаборатории ВСЕГЕИ.

Руководство предназначено для химиков-аналитиков, работающих в лабораториях геологического профиля.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу или заказать через отдел «книга-почтой» магазинов:

№ 17 — 199178. Ленинград, В. О. Средний проспект, 61

№ 59 — 127412. Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20

Издательство «Недра»

43 коп.

514

НЕДРА . 1973