

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

УДК 549+550.841

Л. Я. Кабанова, И.Н. Спиридонова

**ШЛИХОВОЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
ШЛИХОВЫХ МИНЕРАЛОВ**

Учебное пособие

Челябинск

Издательский центр ЮУрГУ

2021

Л. Я. Кабанова, И.Н. Спиридонова. Шлиховой анализ и методы изучения шлиховых минералов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 167 с.

Книга содержит данные по генезису россыпных месторождений и лабораторные и полевые методы изучения минералов шлихов. В первом разделе дано понятие о генетических типах россыпных месторождений, механизме образования россыпей, о факторах их образования, о миграционной способности минералов. Описаны виды и методы шлиховых поисков. Показаны способы отображения состава шлихов на диаграммах и шлиховых картах. Во втором разделе приводится общая схема минералогического анализа шлихов и рудных концентратов, описаны методы разделения шлихов на фракции. В третьем – приведены методы диагностики минералов, основанные на различии физических свойств, магнитности, плотности, диэлектрической проницаемости и др. Показаны методы определения минералов с помощью простейших химических реакций, люминесценции, паяльной трубки и других методов. В четвертом разделе приведено описание минералов шлихов. Пособие рассчитано на студентов геологических факультетов и геологов производственных организаций, имеющих дело с россыпными месторождениями и проводящих шлиховые исследования.

Рецензенты:

Е.В. Кислов

*Доцент, кандидат геолого-минералогических наук
(Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова),*

С.А. Ретина

кандидат геолого-минералогических наук

(ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН)

Одобрено

*учебно-методической комиссией геологического факультета
филиала ЮУрГУ в г. Миассе*

УДК 549 + 550.841

© Издательский центр ЮУрГУ, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Россыпные месторождения привлекают внимание геологов как важный источник минерального сырья. Основная часть литературы по россыпным месторождениям, по их происхождению, методам изучения месторождений и способам их опробования относится к прошлому веку (Костерин А.В., 1953г., Ициксон М.И., 1953г.; Билибин Ю.А., 1955г.; Ильинский Г.А., Плотникова М.И., Разумихин Н.В. и др. 1961г.; Захарова Е.И. 1974г.; Шило, 1981г., и др.). Меньше специальной литературы по составлению шлиховых карт, интерпретации результатов шлихового опробования (Жилинский Г.В. 1956г., Крутойарский И.А. 1963г., Озеров И.И., Ильинский Г.А., 1959г.). Вопросы диагностики минералов и минералогического анализа шлихов и рудных концентратов изложены в ряде монографий, в которых описаны лабораторные методы изучения россыпей (Кухаренко, А.А., 1961.; Костерин, А.В., 1972.; Захарова Е.И. 1974.; Копченова Е.В. 1979.; Родыгина, 1999.; и др.).

В настоящее время, к сожалению, большая часть указанной литературы является библиографической редкостью. В ходе полевых работ в производственных организациях по-прежнему широко используются шлиховые поиски и шлиховое опробование. Студенты – геологи в период прохождения учебной или производственной практики, нередко в составе коллектива съёмочно-поисковых отрядов, проводят шлиховое опробование в соответствии с целевым заданием. Для оказания практической помощи студентам – геологам последние 30 лет при некоторых университетах изданы учебные пособия и методические указания по диагностике и интерпретации результатов изучения минералов в шлихах (Диагностика шлиховых минералов, 1991г; Методические указания по интерпретации результатов шлихового опробования, 1986г.; Родыгина, 1999г.; Бакулина, 2014г.), в которых основной упор сделан на методах шлихового анализа и диагностики минералов. Среди этих публикаций особое место занимает монография Родыгиной В.Г., в которой рассмотрены общие теоретические представления о россыпях; приемы и порядок работы, включающие полевой и лабораторные периоды; указаны способы изображения результатов изучения шлихов. Несомненным достоинством книги является подробная характеристика минералов, встречающихся в шлихах, с указанием их химического состава, примесей, сингонии, вида симметрии, физических и оптических свойств, генезиса, диагностических признаков и типоморфизма. Характеристика наиболее распространенных минералов россыпей приводится по фракциям, начиная с магнитной. К сожалению, тираж этой книги не большой, и в библиотеках ВУЗов с геологическим факультетом, этот учебник отсутствует. А такая книга может помочь студентам-геологам, которые самостоятельно или под руководством опытного специалиста отбирают и промывают

шлиховые пробы при детальном документировании в процессе изучения россыпных месторождений. Каждая проба сопровождается соответствующей этикеткой. Эти данные заносятся в полевой дневник и журнал опробования с указанием места отбора. Пробы в дальнейшем подвергаются лабораторной обработке, в ходе которой каждый шлик разделяется на ряд фракций. Следующими этапами камеральных исследований является диагностика шлиховых минералов и количественно-минералогический анализ шлиха.

После обработки и анализа шлихов результаты шлихового опробования обобщаются и интерпретируются с целью оценки перспектив района на обнаружение коренных или россыпных концентраций полезных ископаемых, а также для решения других вопросов; стратиграфического расчленения обломочных толщ, корреляции геологических разрезов, реконструкции палеогеографической обстановки и так далее.

При использовании искусственных шлихов-протолок из горных пород, с целью интерпретации результатов опробования, может быть выявлена генетическая принадлежность проб к определенным коренным телам, их металлогеническая специализация, оценка уровня эрозионного среза и тому подобное.

Интерпретация результатов опробования возможна лишь при свертывании информации и ее обобщении в удобной для исследования форме, в виде таблиц, графиков, диаграмм, различных видов шлиховых карт.

Программой курса «Шлиховой анализ» для студентов геологического факультета ЮУрГУ предусмотрены практические и лабораторные занятия для освоения методик, применяемых для диагностики шлиховых минералов. Интерпретация результатов шлихового опробования и таблиц количественно-минералогического состава шлихов поможет студентам – геологам наглядно отразить их на графиках и диаграммах, что может приблизить обучение к решению производственных задач.

Учебное пособие составлено на базе курса лекций и лабораторных работ по предмету «Шлиховой анализ», которые читались и проводились на факультете в течение более двадцати лет.

ВВЕДЕНИЕ

Россыпные месторождения привлекают внимание геологов, так как являются важным источником минерального сырья. При поисках месторождений редких, малых и благородных металлов и алмазов с давних пор пользуются шлиховым методом и результатами минералогического изучения терригенных отложений.

Первоначально изучение производилось невооруженным глазом, при этом минералы определялись по их внешним признакам. В связи с открытием россыпных месторождений вольфрама, олова и других металлов, стали совершенствоваться и методы изучения шлихов. На помощь невооруженному глазу пришли оптические приборы и химические методы исследования.

Особенно бурно шлиховой метод стал развиваться с 1930г., когда по инициативе академика С.С. Смирнова в Советском Союзе впервые начали проводиться большие геолого-съёмочные и геологоразведочные работы со шлиховым опробованием рыхлых отложений. В это же время создается ряд шлиховых лабораторий при центральных НИИ в Москве (ВИМС, Гиредмет, Нигризолото), Ленинграде (ЦНИГРИ, АН), Свердловске, Иркутске и других городах, а также на рудниках и при геологоразведочных экспедициях.

Одной из первых русских работ обобщающих результаты достижений советских исследователей, является работа Е.А. Вороновой, опубликованная в 1931г., а затем работы М.Н. Чуевой и Е.В. Копченовой, опубликованные первая в 1937 и вторая в 1940 годах.

В 60-х годах при шлиховом анализе стали широко использоваться люминесцентный и спектральный методы, применяемые как при диагностике минералов, так и при количественной оценке полезных компонентов.

Начиная с 1940г. шлиховой анализ применяется не только при изучении минералов, взятых из россыпей, но и при исследовании тяжелых фракций, полученных из раздробленных (протолочных) проб массивных горных пород. В настоящее время геологическая съёмка коренных пород обычно сопровождается взятием протолочных проб с целью установления присутствия в них минералов, содержащих редкие металлы. Изучение тяжелых фракций, полученных из дробленых пород более сложно, чем изучение шлихов, взятых из россыпей. В связи с этим и методика шлихового анализа усложняется. Изучение тяжелых фракций в этом случае сопровождается микроскопическим исследованием цементных прозрачных шлифов, изготовленных из дробленого материала.

Шлиховой анализ находит широкое применение также и при исследовании дробленых руд и продуктов их обогащения. В этой области, наряду с методикой шлихового изучения материала, используется также методы минераграфического исследования цементных полированных аншлифов.

В настоящее время шлиховой метод исследования минералов широко применяется не только при поисках и изучении уже открытых месторождений, но и при разработке методов обогащения разнообразных руд.

С развитием и успешным внедрением новых методов исследования метод минералогического анализа шлихов, казалось, должен был потерять свою актуальность. В действительности шлиховой метод опробования и разработок широко применяется в золото - платиновой промышленности. С давних пор золото и платина добывались главным образом из россыпей. В настоящее время концентраты минералов россыпей используются как сырье для получения золота, платины, олова, тантала, ниобия, вольфрама, и других редких элементов.

Шлиховые изыскания необходимы также при проведении геолого – поисковых и разведочных работ. Этот вид опробования при незначительных затратах и примитивном оборудовании позволяет определить минеральный состав горных пород района. Многолетний опыт показал, что изучение шлихов часто является наиболее точным методом при поисках многих полезных ископаемых. Шлиховое опробование незаменимо в районах с незначительным обнажением коренных горных пород.

Анализ шлихов часто применяется также при изучении коренных плотных горных пород. Для этого породу дробят, отмывают водой и получают «искусственный» шлик. Сопоставление результатов анализа искусственных шлихов из коренных пород изучаемого района с минеральным составом россыпей позволяет судить об источнике тяжелого минерала в россыпях и о дальности его перемещения.

Важное значение имеет шлиховое опробование при разведке на нефть. Выявленные при этом постоянные ассоциации тяжелых минералов позволяет проводить детальную и точную корреляцию осадочных отложений на значительных площадях. При проведении региональной геологической съемки попутное шлиховое опробование может дать ценные указания на рудоносность района и теперь оно обычно составляет неотъемлемую часть любой геологической съемки.

Минеральный состав россыпей определяется особенностями вещественного состава и строения горных пород, в результате разрушения

которых формировались россыпи. Большое значение при этом имеют характер и интенсивность процессов разрушения первичных пород и образования обломочного материала, а также изменение последнего при перемещении, отложении и эпигенетических преобразованиях.

При изучении шлихов необходимо иметь в виду, что внешний вид минералов россыпей, в силу особенностей образования последних, часто резко отличается от вида минералов коренных месторождений. При образовании россыпей происходит естественная сортировка минералов по плотности, твердости, хрупкости и другим физическим свойствам. При перемещении водными потоками многие минералы легко окатываются и в той или иной степени теряют свойственные им кристаллические формы.

Неустойчивые в химическом отношении минералы покрываются с поверхности пленкой вторичных продуктов изменения. Последнее явление особенно часто наблюдается на сульфидах. Так, пирит в аллювиальных отложениях почти всегда покрывается сплошной пленкой лимонита, а галенит превращается в церуссит, отлагающийся обычно по тонким трещинам спайности минерала.

При изучении искусственных шлихов определение минералов часто затрудняется отсутствием форм кристаллов, нарушаемых при дроблении, и наличием сростков, иногда составляющих значительную часть шлиха.

1. ПОНЯТИЕ О РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, ШЛИХОВОМ АНАЛИЗЕ И МЕТОДАХ ШЛИХОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Россыпные месторождения

Термин «россыпь» первоначально использовался только по отношению к золотоносным гравийным речным отложениям. Само слово происходит от испанского *plazeres* – место, площадка или песчаная банка. В немецкой литературе минеральные залежи этого типа называются россыпями (*Seifen, Trummelgestaffen*), тогда как в Великобритании, Австралии и других англоязычных странах они известны под общим названием аллювиальных месторождений (*placers, alluvions*).

В 1895г. Пошепный предложил называть минеральные скопления в россыпях «гистероморфными месторождениями», исходя из того, что эти минералы являются «гистерогенными», то есть имеют вторичные или более позднее происхождение. Широкое использование термина «россыпное месторождение», при все возрастающем интересе к ним, требует более четкого его определения.

Под россыпью понимается встречающееся в природе остаточное или переотложенное скопление перспективных с точки зрения промышленной добычи обломочных минералов или драгоценных камней, связанных с песками и гравием, часто в ассоциации с глинами, алевритами, валунами и растительными остатками.

К промышленному россыпному месторождению относятся залежи, содержащие ценные минеральные концентраты, добыча которых в достаточном количестве экономически целесообразны.

Практически во всех странах мира разрабатываются те или иные россыпные месторождения, где добывают драгоценные камни или один либо более минералов, содержащие такие элементы как Pt, Au, амальгама (сплав золота с ртутью), Hg, Sn, U, Th, Cr, Fe, Nb (колумбит), Ta, Ti, W, Zr. Добыча этих минералов и драгоценных камней составляет значительную долю в общем объеме мировой горнодобывающей промышленности, особенно если при этом учитывать попутно добываемые строительные материалы – песок, гравий и другие.

Во многих странах мира имеются разные проявления россыпного золота, часть из которых добывается. Месторождения олова известны в Малайзии, Индонезии, Таиланде, Бирме, КНР, Нигерии, Заире и США (Аляска). Платина и связанные с нею элементы добываются в России, Колумбии, Эфиопии и США (Аляска, Орегон). Промышленные алмазы добываются в Намибии, ЮАР, Сьерра-Леоне, Гане, Заире, Анголе, Австралии и США. Цирконий и гранат имеют глобальное распространение. Средние и

небольшие по размерам россыпные месторождения ниобия и тантала встречаются в Гвиане, Нигерии и США (Айдахо). Титан и торий добываются в Австралии и США. Вольфрамовые россыпные месторождения известны в КНР. Небольшие количества урана сосредоточены во многих россыпных месторождениях мира. В большом числе стран открыты промышленные россыпные месторождения с такими драгоценными и полудрагоценными камнями как рубин, сапфир, турмалин, агат, циркон, алмаз, гранат и изумруд.

Список новых россыпных месторождений продолжается пополняться. Сравнительно недавно открыты новые месторождения олова в Квинсленде (Австралия). Вблизи морского побережья ЮАР и Намибии производится крупнейшая в мире добыча алмазов из обширнейших гравийных алмазоносных шельфовых месторождений. Богатое россыпное месторождение алмазов расположено в бассейне реки Карони (Венесуэла), другое в штате Мату-Гросу (Бразилия).

1.2. Генетические типы россыпных месторождений

Механизм образования россыпей

При выветривании горных пород под влиянием различных агентов происходит их дезинтеграция на отдельные составляющие компоненты. Минералы, слагающие горные породы, освобождаются в виде отдельных зерен. Если в горной породе есть зерна рудных минералов, то они также освобождаются и входят в состав того рыхлого материала, который покрывает поверхностные части коренных горных пород.

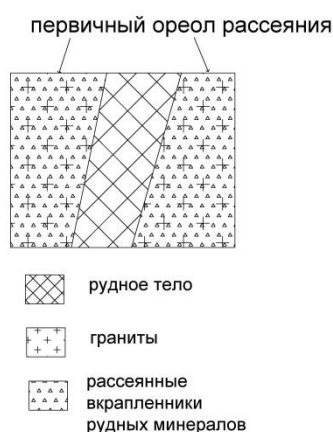


Рис. 1.2.1. Первичный ореол рассеяния

Образовавшиеся рыхлые массы под влиянием поверхностных агентов сносятся в пониженные части рельефа, где и накапливаются. Таким образом, вокруг коренных пород создаются ореолы рассеяния и концентрации.

Ореолы рассеяния подразделяются на первичные и вторичные ореолы. Первичным ореолом рассеяния называют тот ореол, который создается в самих коренных породах вблизи рудного тела (рис. 1.2.1).

Практически те части вмещающей породы, которые непосредственно прилегают к рудному телу, всегда содержат мелкую рассеянную вкрапленность рудных минералов и представляют собой первичный ореол рассеяния. При проведении шлиховых изысканий изучению первичных ореолов рассеяния уделяется второстепенное внимание.

При разрушении коренных пород рудные минералы обогащают рыхлые массы и непосредственно над рудным телом создается вторичный ореол поверхностного рассеяния (рис. 1.2.2).

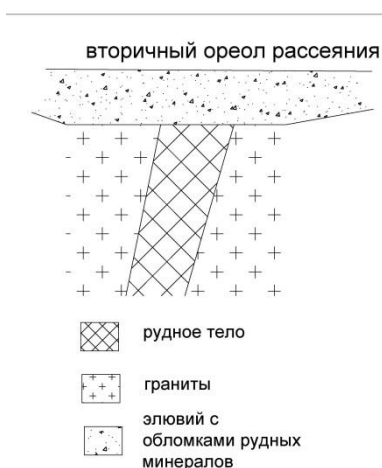


Рис. 1.2.2. Вторичный ореол рассеяния

Изучению этих вторичных ореолов рассеяния уделяется максимальное внимание при проведении шлиховых поисков. В тех случаях, когда содержание рудных минералов в рыхлых отложениях невысокое, вторичные ореолы рассеяния имеют большое значение только при поисках коренных рудных месторождений. В тех же случаях, когда в отдельных участках рыхлых отложений содержание рудных минералов достигает промышленных значений, эти участки, представляющие практический интерес, выделяют как россыпи. По генетическим признакам выделяют несколько типов россыпей:

- 1) Элювиальные;
- 2) Делювиальные;
- 3) Аллювиальные;

- 4) Делювиально-аллювиальные;
- 5) Прибрежные (морские и озерные);
- 6) Погребенные.

Эти россыпи различаются между собой по условиям образования, по положению в рельефе, а также по морфологии и промышленному значению.

Элювиальные россыпи возникают в пределах водораздельных пространств, характеризующихся выраженным рельефом в условиях жаркого влажного климата, когда выветривание горных пород идет наиболее интенсивно, а перенос обломочного материала почти не имеет места.

В геологическом отношении наиболее благоприятны для образования элювиальных россыпей рудные тела, имеющие форму сетчатых или штоковидных зон. Обычно элювий, покрывающий коренные выходы таких рудных тел, обогащается рудными минералами и непосредственно над коренным месторождением образуется элювиальная россыпь. Обычно размеры элювиальных россыпей тесно зависят от размеров самих коренных месторождений. Россыпи бывают, сложены плохо сортированным и малоокатанным материалом. Это песчано-глинистые образования со значительным количеством угловатой щебенки коренных пород. Рудные минералы распределены в теле россыпи незакономерно, часто кустообразно. Они могут быть встречены как в поверхностных частях россыпи, так и в более глубоких горизонтах, так как сортировка обломочного материала почти не имеет места.

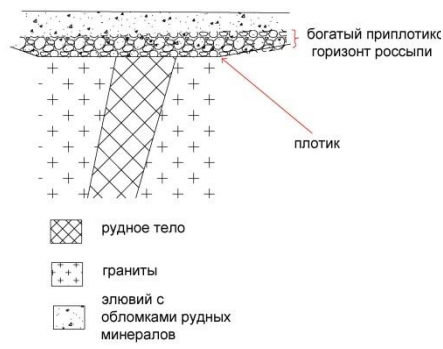


Рис. 1.2.3. Схематичный разрез элювиальной россыпи

Однако в ряде случаев наблюдается обогащение рудными минералами нижних горизонтов россыпей, лежащих непосредственно на поверхности коренных пород. В практике поверхность коренных пород носит название плотика, а богатый нижний горизонт называется приплотиковым горизонтом (рис. 1.2.3).

Промышленное значение элювиальных россыпей в общем балансе россыпных месторождений небольшое. Обычно элювиальные россыпи

отличаются небольшими размерами и скудными запасами при относительно невысоком содержании в них рудных минералов. Эти россыпи чаще всего эксплуатируются попутно с самим месторождением и самостоятельного практического значения не имеют.

Делювиальные россыпи располагаются на склонах водораздельных пространств (рис. 1.2.4), причем благоприятны для их локализации склоны, имеющие ясно выраженные в рельефе перегибы, в которых происходит концентрация тяжелых рудных минералов. Пространственно делювиальные россыпи обычно смещены по отношению к коренным месторождениям, но размеры россыпей в очень сильной степени зависят от размеров рудных тел. Россыпи сложены в некоторой степени сортированным и слабо окатанным материалом. Чаще всего это суглинистый или глинистый материал, реже песок с примесью большого количества угловатых обломков коренных пород. Рудные минералы распределены более равномерно в теле россыпи, причем наблюдается ясно выраженное обогащение рудными минералами приплотиковых горизонтов.

Схема размещения россыпных месторождений различных генетических типов и подтипов в поперечном сечении речной долины

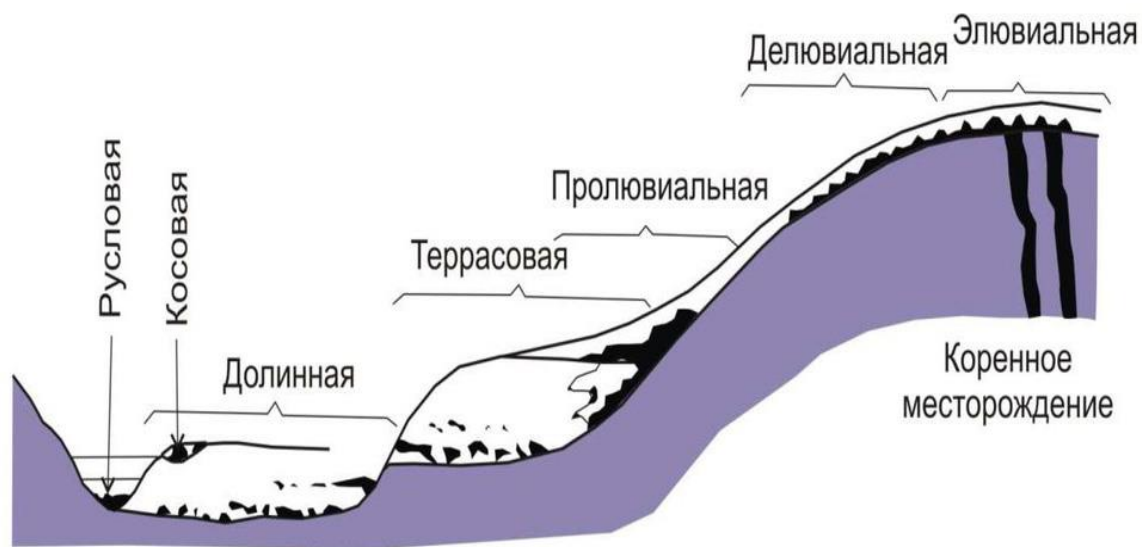


Рис. 1.2.4. Размещение россыпных месторождений различных генетических типов

Промышленное значение делювиальных россыпей несколько больше, чем россыпей аллювиального типа, но в целом эти россыпи также являются мелкими объектами и редко имеют самостоятельное практическое значение. Однако в ряде случаев эти россыпи отличаются высоким содержанием рудных минералов и эксплуатируются попутно с эксплуатацией коренных рудных месторождений.

Делювиально-аллювиальные россыпи являются промежуточным типом россыпей. Эти россыпи обычно располагаются в долинах небольших оврагов или ключей, пересекающих рудные поля, и приурочены к овражному аллювию. Делювиально-аллювиальные россыпи образуются при благоприятных геоморфологических условиях в тех случаях, когда рудные тела представлены серией мелких жил или рудных прожилков, расположенных на значительной площади. Размеры этих россыпей обычно невелики, но для них типично довольно высокое содержание рудных минералов. Россыпи этого типа имеют довольно сложный состав обломочного материала. В их составе, с одной стороны, принимают участие делювиальные образования, сползающие со склонов оврагов к их тальвегам, представленные песчано-глинистым материалом со щебенкой коренных пород. С другой стороны, в составе делювиально-аллювиальных россыпей принимают участие овражный аллювий – пески и гравий – с большим количеством галечного материала. Материал такого двойного происхождения и слагает делювиально-аллювиальные россыпи. В вертикальном разрезе нередко эти россыпи имеют послойное строение, что связано с отложением различного обломочного материала в разные времена года.

Рудные минералы приурочены в основном к приплотиковому горизонту, где содержание их нередко значительно превышает кондиционные значения. Характерно крайне непостоянное содержание рудных минералов по простиранию россыпи: россыпь обычно представляется как система богатых по содержанию линз среди бедных участков россыпи. Практическое значение россыпей этого типа большое, так как они, несмотря на небольшие размеры, имеют в ряде случаев значительные запасы руды при среднем высоком содержании полезных компонентов. Для некоторых минералов россыпи делювиально-аллювиального типа являются одним из ведущих промышленных типов месторождений. Наибольший практический интерес эти россыпи представляют в тех случаях, когда коренные рудные тела имеют низкое содержание полезного компонента и в эксплуатации нерентабельны, а россыпи имеют промышленное значение.

Аллювиальные россыпи локализуются в долинах рек и бывают приурочены к различным аллювиальным образованиям. В соответствии с этим все аллювиальные россыпи подразделяются на древнеаллювиальные, связанные с древними террасовыми отложениями, и современные, связанные с молодыми отложениями. Решающими факторами в образовании аллювиальных россыпей являются геоморфологические факторы. В зависимости от особенностей геоморфологического строения района могут возникать или не возникать аллювиальные россыпи.

Аллювиальные россыпи возникают чаще всего в долинах тех рек, в которых аккумуляция обломочного материала преобладает над эрозией.

Размеры аллювиальных россыпей не зависят от размеров коренных месторождений и обусловлены главным образом геоморфологическими факторами.

Аллювиальные россыпи имеют довольно сложное строение в вертикальном разрезе, что связано с изменением характера осадконакопления в разные времена года.

Схема распределения рудных минералов в вертикальном разрезе аллювиальных отложений



Рис. 1.2.5. Вертикальный разрез аллювиальных отложений

В наибольшем количестве тяжелые рудные минералы концентрируются в грубообломочных породах – песках и галечниках (рис. 1.2.5), а тонко сортированные породы – глины почти лишены рудных минералов. В соответствии с этим в сложно построенной россыпи различают несколько рудных горизонтов. Поэтому в практике различают два типа плотиков – ложный и истинный (см. рис.1.2.5). Ложный – обычно горизонт глин, истинный – поверхность коренных пород. Таким образом, в каждой россыпи бывает столько рудных горизонтов, сколько плотиков; все ложные и один истинный. Обычно наиболее богатый рудный горизонт располагается на истинном плотике.

Аллювиальные россыпи имеют наибольшее практическое значение в общем балансе россыпных месторождений. Главная масса крупных россыпных месторождений принадлежит к этому генетическому типу.

Прибрежные россыпи (морские и озерные) довольно редки, вследствие того, что редко создаются условия, благоприятные для формирования. Россыпи этого типа могут возникать тогда, когда коренное месторождение находится в непосредственной близости от береговой линии водоема и обломочный материал, образующийся при разрушении рудных тел, поступает в водоем (рис. 1.2.6). Размеры этих россыпей в значительной степени зависят от размеров коренного месторождения.

Схема расположения прибрежной золотоносной россыпи

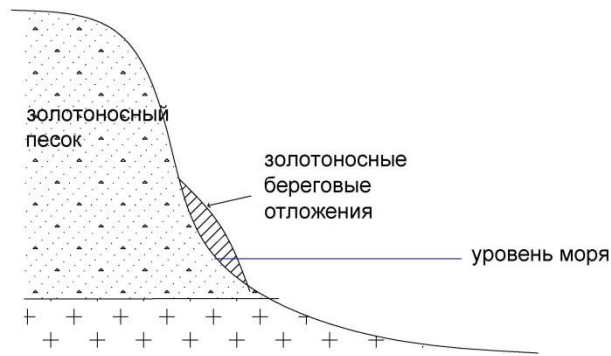


Рис. 1.2.6. Прибрежная россыпь

Россыпи бывают, сложены хорошо окатанным и относительно сортированным материалом. Это главным образом пески, гравий, галечники. Рудные минералы распределяются в россыпи крайне незакономерно, что является результатом волноприбойной деятельности, под действием которой осевший обломочный материал подвергается постоянному взмучиванию. Поэтому рудные минералы содержатся как в поверхностных частях россыпи, так и в более глубоких горизонтах (см. рис. 1.2.6).

Практическое значение прибрежных россыпей невелико, но в ряде случаев, при благоприятных геологических и геоморфологических условиях возникают крупные прибрежные россыпи, и они представляют собой ценные промышленные объекты.



Рис. 1.2.7. Погребенная россыпь

Погребенные (древние) россыпи – это россыпи, возраст которых является более древним, чем четвертичный. По возрасту они могут быть самыми разнообразными. Погребенные россыпи образуются тогда, когда после формирования россыпи в силу тех или иных геологических процессов, протекающих в земной коре, россыпь перекрывается более молодыми

образованиями и тем самым создаются благоприятные условия для ее сохранения (рис. 1. 2.7). Отложениями, погребаящими россыпь, могут быть морские, озерные и ледниковые образования или молодые излияния.

Основными направлениями поисков погребенных россыпей можно считать детальный геоморфологический и палеогеографический анализы, с помощью которых возможно установление древней гидрографической сети, выявление древних областей сноса и областей аккумуляции обломочного материала, обогащенного рудными минералами.

Практическое значение погребенных россыпей в настоящее время небольшое по сравнению с россыпями других типов, хотя в некоторых районах в последние годы поиски погребенных россыпей дали положительные результаты.

Решающие факторы образования россыпей

Решающими факторами образования россыпей являются: геологические, геоморфологические, климатические и минералогические. В зависимости от особенностей геологического строения рудного месторождения, морфологии рудных тел и закономерностей распределения в них рудных минералов возникают или не возникают россыпи.

Геоморфологические факторы играют весьма важную роль в образовании россыпей. В районах с благоприятными геоморфологическими условиями, когда процессы аккумуляции преобладают над процессами эрозии, образуются россыпи. Такими районами являются равнинные области с относительно слабо пересеченным рельефом. В районах с высокогорным, резко пересеченным рельефом россыпи не образуются. В различных климатических зонах создаются разные условия для формирования россыпей. Россыпи предпочтительно образуются в районах, где климатические условия способствуют интенсивному выветриванию коренных пород, в результате чего возникают большие массы обломочного материала.

Не менее важную роль в формировании россыпей играют факторы минералогические, то есть особенности самих минералов. При благоприятных геологических, геоморфологических и климатических условиях не всегда могут возникать россыпи по той причине, что сами рудные минералы в силу особенностей их свойств не всегда могут сохраняться и накапливаться в массе обломочного материала. В россыпях обычно накапливаются минералы химически стойкие, обладающие большой твердостью, несовершенной спайностью и большим удельным весом, то есть минералы, способные противостоять окислению и истиранию их в процессе переноса поверхностными водами.

Таким образом, только при благоприятном стечении целого ряда факторов возникают россыпные месторождения.

1.3. Факторы, благоприятствующие концентрации минералов

На самых ранних стадиях накопления минералов очень важную роль играют их физико-химические свойства (твердость, структура, химический состав и плотность). Все они способствуют относительной легкости отделения минерала от материнской породы. Почти столь же важным являются размеры, форма и округлость зерен минерала. Как правило, нетвердые, хрупкие или трещиноватые плотные минералы и крупные их фрагменты скапливаются ближе к источникам сноса, чем более устойчивые к разрушению мелкие минеральные частицы. В россыпях распространены относительно плотные минералы. Последние должны быть достаточно твердыми, чтобы выдержать истирание при переносе. Хрупкие минералы разрушаются быстрее, чем прочные. Важна и устойчивость к действию водных растворов, содержащих естественные химические реагенты, в частности слабые кислоты.

Отношения количеств минералов, различающихся определенными свойствами, используются как терригенно-минералогические коэффициенты (ТМК), особенно часто применяемые при географических реконструкциях. Такие коэффициенты могут быть суммарными, учитывающими ряд минералов, и индивидуальными. Среди них выделяются следующие:

1) Петрофондовые (или коэффициент источников сноса) ТМК – количественные отношения следующих минералов: циркон/рутил; циркон/гранат; эпидот/амфибол; циркон/кианит + ставролит; ильменит + лейкоксен/циркон; турмалин/рутил; силлиманит/турмалин и др. В таких ТМК учитываются минералы с одинаковой устойчивостью к выветриванию и гидродинамической подвижностью, но характеризующие различные комплексы пород. Изменение величины петрофондового ТМК в пространстве или времени – свидетельство изменений в комплексе пород питающей провинции или в ее очертаниях.

2) Тектоно-климатические ТМК – это соотношения количеств разных минералов из одной группы пород и с близкой подвижностью при переносе, но отличающихся различной устойчивостью к выветриванию. Примерами таких коэффициентов могут служить отношения: циркон/апатит; лейкоксен/циркон; турмалин/пироксен; рудные минералы/турмалин; циркон/магнетит; силлиманит/амфибол; кианит/сфен; турмалин/амфиболы; альмандин/эпидот; ильменит/лейкоксен; хромит/пироксены; кварц/полевой шпат; сумма устойчивых/сумма неустойчивых (палеоклиматический коэффициент).

Величина тектоно-климатического коэффициента возрастает с увеличением интенсивности или длительности процессов выветривания, т.е. при более теплом и влажном климате, спокойной тектонической обстановке, замедленной денудации.

3) Фациально-динамические (седиментационные) ТМК характеризуют изменение условий переноса или накопления обломочного материала. Они представляют собой отношения количеств различных по гидрографической подвижности минералов, происходящих за счет одних источников: циркон/турмалин; рутил/турмалин; циркон / пироксены + амфиболы; циркон / силлиманит; магнетит / пироксены; циркон + рутил / кианит + ставролит; ставролит/турмалин и т.д.

Различные виды ТМК дают возможность сравнения данных для выявления реальных тенденций в изменении количественных соотношений минералов, в том числе и с применением математических методов обработки. Незакономерное изменение фациально-динамических коэффициентов, а также выход тяжелой фракции, может быть решающим аргументом для отбора проб в участках, благоприятных для накопления тяжелых минералов.

Концентрация минералов в россыпях определяется непосредственно климатическими условиями и характером рельефа. Она также тесно связана с изменением энергетической системы транспортирующей среды и физико-географическими условиями. Формированию россыпей благоприятствует умеренный климат, где происходит чередование сухих, влажных и ледниковых климатических фаз, в сочетании со слабо изрезанным и низким рельефом, мобильностью коры и магматической активностью. Главный фактор, благоприятствующий формированию россыпей, – интенсивное выветривание и разрушение коренных пород. Гляциологический фактор не относится к числу прямых «концентрирующих» агентов, но при таянии льда происходит образование большого числа крупных обломков пород, из которых при последующей их транспортировке могут выделяться и концентрироваться тяжелые минералы.

Литологические и структурные особенности коренных пород важны с точки зрения их устойчивости по отношению к разрушению и последующему удалению обломков в процессе эрозии. На следующем этапе в процессе эрозии и переноса происходит отделение обломочных минералов от других фрагментов породы. Видовой минеральный состав шлиха и количественные соотношения минералов, таким образом, зависят от абразивной стойкости минералов, под которой понимают способность минералов сопротивляться истиранию при соприкосновении с другими обломками и породами ложа реки.

Абразивная стойкость прямо пропорциональна твердости минералов и обратно пропорциональна хрупкости и совершенству спайности. Минералы с

небольшой абразивной стойкостью легче истираются при переносе, уменьшаются в размерах и нередко уже не могут концентрироваться в шлихе. Минералы с высокой абразивной стойкостью способны претерпеть длительный перенос и присутствовать в шлихе, взятом на большом удалении от коренного источника.

Разделение и сортировка минералов происходят в основном в водной среде. Проточные воды в этом отношении более эффективны по сравнению с другими. Отдельные минеральные фрагменты перемещаются сверху вниз под действием силы тяжести и накапливаются на месте разрушения либо постепенно смещаются по латерали вниз по склону, концентрируясь в какой-либо осадочной ловушке. В целом россыпи можно рассматривать как кратковременные отложения в масштабе геологической шкалы времени.

Даже если они сохраняются в законсервированном или захороненном состоянии несколько тысяч лет, они могут начать размываться и, в конце концов, даже уничтожаться при более поздних перестройках дренажной системы. Известны случаи, когда весенние половодья разубоживали или, наоборот, пополняли минеральные россыпи. Возможно, что некоторые глубоко погребенные древние россыпи вовлекались в тектонические процессы и подвергались метаморфизму и метасоматозу.

Наиболее благоприятные условия для формирования россыпей создавались там, где довольно резкие перестройки в окружающей обстановке сменялись более умеренными изменениями, в ходе которых эрозионные процессы протекали в относительно «нормальном» энергетическом режиме.

Эти внезапные перестройки могли быть вызваны геоморфологическими «катастрофами», то есть довольно резким воздыманием или погружением какого-то сегмента коры, а также колебаниями уровня Мирового океана. Эти события могли предшествовать формированию современных россыпей. Резкие изменения относительной устойчивости пород к эрозии тоже могли привести к возрастанию скорости денудации и тем самым способствовать накоплению обломочных минералов.

Региональные и локальные перестройки дренажной системы, скорее всего, оказывают наиболее действенное влияние на формирование россыпных месторождений: например, вокруг слабо дренируемых предгорных равнин, конусов выноса и дельтовых отложений, террас и береговой линии, а также пляжей и баров.

Кроме того, благоприятные условия для накопления тяжелых минеральных фракций могут создаваться в присутствии флювиогляциальных и моренных отложений, песчаных дюн и остаточных скоплений гравия, наступающих и отступающих береговых линий, речных перехватов и «бороδοобразных» притоков, протяженных узких бассейнов, размещающихся выше узких клинообразных долин и заболоченных низин.

Образование концентраций тяжелых минералов часто связано с уменьшением скорости или прекращением течения поверхностных водных потоков или движения ветров. Уклон реки может, например, резко меняться на возвышенных и равнинных участках поверхности, а течение речного потока может приостанавливаться при наличии естественных преград. Образование меандр уменьшает общий уклон реки вследствие удлинения профиля долины; в меандрирующих реках обычно происходит отложение тяжелых минеральных фракций в заводях – ловушках (на внутренней стороне речной излучины). Препятствия на пути речного потока – валуны, разбитые трещинами блоки, твердые породы и дайки, отмели, резкие повороты русла, растения – тоже могут быть местами накопления тяжелых минералов.

Изменения в дренажной системе, связанные с русловыми паводками, высыханием и захватом водных потоков, могут способствовать отложению осадков, что обусловлено вариациями скорости стока и течения. Избыточная нагрузка потока обломочным материалом или уменьшение стока в общем случае ведет к образованию наносов.

В конечном итоге, когда обломочные минералы начинают накапливаться в ловушках, дальнейшая концентрация происходит при разделении их по плотности: более плотные частицы осаждаются вниз. Отложение ускоряется, когда накопленные обломки «взмучиваются» под действием порывов ветра или прибойных волн. Вынос легких и мелких частиц способствует тому, что увеличивается концентрация более тяжелых минералов, образующих остаточные скопления. Формированию таких россыпей остаточного типа способствует действие ветра, волн и течений.

В результате эти процессы могут привести к образованию в каждом россыпном месторождении обогащенных зон с повышенной концентрацией минералов (или «шнурковых залежей»).

Обычно такие зоны локализуются непосредственно выше коренных пород (плотик) или лежат выше ложного дна, образованного плотным илом, глиной, сцементированным конгломератом, вулканическим пеплом или лавовым потоком. В пределах данной россыпи, как по вертикали, так и по горизонтали может присутствовать более одного продуктивного горизонта, что определяется геологической историей конкретного региона.

Обобщающей характеристикой способностей шлиховых минералов к дальнему переносу и накоплению служит их миграционная способность. Это относительное максимальное расстояние, на которое минерал может быть перенесен водным потоком. Миграционная способность зависит от многих факторов: она прямо пропорциональна устойчивости к выветриванию, абразивной стойкости, гидрофильности минерала и обратно пропорциональна его плотности, диаметру частиц и коэффициенту

изометричности. Миграционная способность увеличивается с возрастанием скорости потока и уменьшением его глубины. За один цикл перемещения аллювия лишь 20% поступивших в него минералов будет перенесено на 5 км и только 2% - на 50км при диаметре частиц около 1мм.

По относительной миграционной способности некоторые характерные шлиховые минералы могут быть разделены на ряд групп (таблица 1.3.1), в каждый из которых миграционная способность увеличивается в порядке перечисления.

Таблица 1.3.1. Относительная миграционная способность минералов

очень низкая	низкая	средняя	высокая
халькопирит	оливин	апатит	рутил
сфалерит	колумбит	альмандин	топаз
арсенопирит	авгит	пироп	кианит
киноварь	диопсид	клиноцоизит	силлиманит
вольфрамит	роговая обманка	эпидот	лейкоксен
шеелит	актинолит	лимонит	анатаз
барит	ортит	ильменит	шпинель
сидерит	андрадит	гематит	турмалин
золото рудное	гроссуляр	хромит	монацит
платина	флюорит	сфен	циркон
касситерит	магнетит		корунд
пирит	золото		алмаз

Ценные минералы, заключенные в россыпных месторождениях, добываются различными способами в зависимости от принципа их извлечения и дальнейшей сортировки, начало которой положено в естественных условиях. В настоящее время удастся выделить 65-75% обломочных материалов, содержащихся в россыпях.

1.4. Ассоциации минералов в россыпях и минералы - спутники

Нередко появляются новые минералы как продукты метаморфизма. При разрушении таких вторичных месторождений зерна полезных ископаемых станут мигрировать и накапливаться вместе с приобретенными спутниками.

По типу взаимосвязи с полезными ископаемым минералы-спутники могут быть разделены на три группы:

- 1) Генетические (спутники по коренным источникам);
- 2) Россыпные (спутники по современным россыпям);
- 3) По промежуточным коллекторам (спутники по измененным россыпям).

Генетические спутники специфичны для определенных генетических типов коренных месторождений и определяются ассоциацией минералов при их формировании.

Россыпные спутники характерны для определенных типов россыпей и приобретаются благодаря сходству условий переноса и накопления минеральных зерен.

Спутники по промежуточным коллекторам зависят от всей истории геологического развития района после первичной аккумуляции.

Алмаз в кимберлитовых трубках, например, сопровождается хромсодержащим пиропом, хромдиопсидом, пикроильменитом. Выявление идентичности пиропов из кимберлитов Южной Африки и из аллювия рек Якутии, выполненные А.А. Кухаренко, позволило по «пироповой дорожке» найти первую в стране кимберлитовую трубку. К настоящему времени такой пироп из алмазоносных кимберлитов обнаружен и на европейской территории России. На Урале алмазы, многократно переотлагаясь в различных по возрасту терригенных толщах, потерями всех своих генетических спутников и накапливаются в кайнозойских россыпях совместно с цирконом, рутилом, ильменитом.

Спутники по древним россыпям могут быть по времени образования значительно более поздними минералами по сравнению с самим полезным ископаемым. Для алмаза примером таких спутников в штате Байя (Бразилия) являются турмалин, кианит, рутил – ассоциация минералов из метаморфических пород, накапливающаяся совместно с алмазами в аллювии. В триасовых конгломератах центральной Африки алмазы сопровождаются альмандином, ставролитом, кианитом, силлиманитом.

Для платины генетическими спутниками являются оливин, пироксены, хромшпинелиды; для шеелита – из скарновых месторождений – андрадит, диопсид, арсенопирит. В прибрежно-морских россыпях совместно накапливаются, происходящие из различных пород, циркон, монацит, рутил, ильменит, шпинель, корунд, турмалин и так далее.

Знакомство с геологическим строением района, подвергшегося шлиховому опробованию, обычно значительно отличает определение минерального состава шлиха. Разнообразие минералов, присутствующих в шлихах, зависит от характера горных пород, в результате разрушения которых образовалась россыпь. Хромит, оливин, пикотит связаны с ультраосновными и основными породами.

При разрушении сланцев, гнейсов и других метаморфических пород в россыпь попадают кианит, андалузит, силлиманит, ставролит, сфен, корунд, шпинель.

К продуктам разрушения гранитных интрузивов, особенно приконтактной их зоны, приурочены: касситерит, вольфрамит, танталит-колумбит, монацит, ксенотим, циркон.

Парагенезис минералов коренных горных пород, питающих россыпь, обычно определяет возможность нахождения в ней того или иного минерала.

Не исключена возможность, что очень редкие минералы не будут обнаружены при шлиховом опробовании. Поэтому определение другого, более обычного минерала, постоянно сопутствующего редкому, делает поиски последнего более успешными. Такие минералы – спутники или минералы – индикаторы, указывающие на присутствие другого более редкого минерала, можно подобрать почти для всех редко встречающихся минералов.

Минерал – спутник не должен быть слишком распространенным, иначе он не будет характеризовать минеральную ассоциацию, и не должен быть слишком редким и трудно определяемым. При выборе минерала – спутника необходимо учитывать геологические условия образования россыпи. В элювиальных и делювиальных отложениях, расположенных в непосредственной близости от коренного месторождения, ассоциация минералов будет близка к парагенезису минералов коренных пород.

Устойчивость минералов в россыпях и дальность перемещения их от коренных месторождений зависят от химических и физических свойств этих минералов. Галенит, арсенопирит и другие сульфиды легко окисляются и подвергаются химическому разрушению. Танталит-колумбит, вольфрамит и другие минералы обладают достаточно высокой химической устойчивостью, но весьма хрупки, быстро измельчаются, истираются и уносятся с глинистым материалом. Кроме того, устойчивость минералов в россыпях зависит также от климатических условий, скорости эрозионного процесса и геолого-морфологических особенностей района.

По мере удаления от питающих россыпь выходов коренных пород ассоциация минералов в ней постепенно изменяется, так как более легкие минералы отделяются от тяжелых, легко разрушаются и исчезают.

Малой миграционной способностью обладают такие минералы как киноварь, пирит, оливин, авгит, барит, флюорит, роговая обманка и некоторые другие. Умеренной – магнетит, апатит, сфен, ставролит, кианит, золото, андалузит, касситерит. Высокой – гематит, топаз, рутил, турмалин, платина, циркон, алмаз, шпинель.

Выбор минерала – спутника может быть сделан только после предварительного изучения достаточно большого количества шлихов, характеризующих минеральный состав россыпи. Так для платины и металлов платиновой группы (МПГ) обычным является хромит, пикотит и оливин. Топаз и лепидолит часто бывают спутниками касситерита.

При проведении шлихового опробования и картирования местности весьма существенное значение имеет изучение типоморфных особенностей минералов в россыпях. Формы кристаллов, их окраска, химические элементы – примеси, и другие свойства многих минералов определяются условиями их образования. В процессе разрушения коренных месторождений, переноса

Таблица 1.4.1. Минеральные ассоциации в россыпях

Минерал	Материнская порода	Сопровождающие минералы
Золото	<p>Кварцевые жилы среди самых разнообразных горных пород.</p> <p>Скарны и другие контактово-метаморфические породы.</p> <p>Конгломераты</p>	<p>Кварц (полупрозрачный, молочно-белый или серый).</p> <p>Пирит, галенит, сфалерит, др. сульфиды, платина</p> <p>шпинель, гранат, циркон, монацит, магнетит, ильменит, шеелит, флюорит, касситерит, гессит и другие теллуриды</p>
платина	<p>основные и ультраосновные породы: норит, габбро, перидотит, дунит, серпентинит</p>	<p>магнетит, ильменит, хромит, оливин, пикотит, иридий осмий, корунд, циркон, золото</p>
касситерит	<p>Граниты и связанные с ними жилы, гнейсы, пегматиты, грейзены</p>	<p>кварц, топаз, турмалин, флюорит, пирит, арсенопирит, сфалерит, молебденит, вольфрамит, шеелит, апатит, лепидолит</p>
колумбит-танталит	<p>пегматитовые жилы, граниты</p>	<p>касситерит, вольфрамит, берилл, ильменит, магнетит, рутил, гранат, турмалин, сподумен, лепидолит, самарскит и другие тантало-ниобаты. Иногда циркон и ксенотим.</p>
вольфрамит	<p>граниты, пегматитовые жилы (редко)</p> <p>скарны, кварцевые жилы</p>	<p>касситерит, шеелит, пирит, молибденит, галенит, колумбит-танталит, топаз, турмалин, апатит, флюорит, шеелит, касситерит, магнетит</p>
шеелит	<p>пегматитовые и рудные жилы в гранитах и гнейсах</p> <p>контактово-метаморфические породы (скарны)</p>	<p>турмалин, касситерит, топаз, флюорит, апатит, молибденит, вольфрамит, золото, (лимонит) гидрогетит</p> <p>халькопирит, гранаты, пироксены, амфиболы, железный блеск, розовый ортоклаз, везувиан, молибденит, касситерит</p>
монацит	<p>граниты, гнейсы, аплиты, пегматиты</p>	<p>ильменит, магнетит, рутил, гранат, турмалин, ставролит, ксенотим, кианит, силлиманит, золото, алмаз</p>
корунд, рубин, сапфир	<p>Кристаллические известняки и доломиты. Граниты, гнейсы, слюдястые сланцы, хлоритовые сланцы</p>	<p>турмалин, шпинель, аметист, топаз, берилл, магнетит, гематит, андалузит, кианит, силлиманит, диаспор, гранат, циркон, слюда, хлориты</p>

рыхлых отложений и формирования россыпей типоморфные особенности минералов часто сохраняются и могут являться указанием источника минерала в россыпях. Результаты изучения типоморфизма касситерита, циркона и других минералов в рыхлых отложениях могут оказать существенную помощь производственным геологическим организациям, проводящим поиски и разведку новых месторождений.

В таблице (таб. 1.4.1.) приведены наиболее ценные полезные ископаемые россыпей с указанием возможных материнских пород и сопровождающих минералов. При шлиховом опробовании района и изучении распространения того или иного минерала среди сопровождающих минералов выбирают один или несколько минералов – спутников, которые могут изменяться в зависимости от условий образования россыпи.

1.5. Виды и методы шлиховых поисков

Понятие о шлихе и рудном концентрате. Шлихами называют концентраты минералов большой плотности, получаемые при отмывке водой природных рыхлых отложений. Концентраты отмывки измельченных твердых пород и руд называют искусственными шлихами или рудными концентратами.

Образование рыхлого материала россыпей происходит в результате дезинтегрирования, переноса и отложения продуктов выветривания пород. При этом малоустойчивые хрупкие минералы разрушаются, а более устойчивые, обладающие высокой твердостью и не поддающиеся окислению (химически устойчивые), сохраняются и накапливаются в россыпях. В шлихах обычно отсутствуют или очень редко сохраняются такие характерные для зоны окисления минералы, как повеллит, молибдит, тунгстит, валентинит, малахит, брошантит, эритрин и др. Накоплению этих минералов в россыпях мешает их хрупкость и агрегатное состояние.

Рудные минералы с совершенной спайностью, как например, вольфрамит, сохраняются и накапливаются в россыпях лишь на сравнительно небольшом расстоянии от коренного месторождения. Сульфиды, особенно сульфиды висмута и сурьмы, довольно легко окисляются и отличаются повышенной хрупкостью, поэтому они не концентрируются в россыпях. А сульфид железа – пирит довольно обычный минерал шлихов. Реже встречаются халькопирит, арсенопирит, киноварь, галенит, молибденит.

В связи с этим, состав естественных шлихов нередко проще состава рудных концентратов искусственно измельченных пород, в которых не произошло предварительной естественной сортировки минералов по удельному весу, твердости, хрупкости и другим физическим свойствам.

Кроме того, в шлихах минералы нередко сохраняют свойственные или кристаллографические формы, тогда как в концентратах это наблюдается значительно реже: при дроблении руд и пород грани минералов обычно нарушаются. Исключения составляют пирит, апатит, гранат, рутил, турмалин, циркон и некоторые другие минералы, которые при дроблении в той или иной степени сохраняют свои кристаллографические формы.

Различна и степень освобождения минералов от сростков с другими минералами. В шлихах резко преобладают мономинеральные зерна, а в рудных концентратах сростки составляют значительную часть. Кроме того, для шлихов характерна и различная степень окатанности минералов. В дробленых рудах минералы не окатаны. Указанными различиями определяются и различия в методике исследования рудных концентратов измельченных руд. Исследования рудных концентратов иногда оказывается несколько сложнее. В зависимости от содержания тяжелых минералов шлихи и концентраты можно подразделять на черные и серые.

Черные шлихи и концентраты получаются при чистой доводке, то есть при хорошей отмывке тяжелых рудных минералов от легких.

Серые шлихи и концентраты обычно сильно засорены легкими пороодообразующими минералами, то есть они хуже отмыты или менее доведены. Шлихи и рудные концентраты, содержащие шеелит или минералы свинца, цинка, меди, молибдена, ванадия и других металлов из зоны окисления, имеют светлый цвет, даже когда по степени концентрации тяжелых минералов они соответствуют черным шлихам.

Комплексные шлиховые поиски проводятся при съемочно-поисковых работах различного масштаба для выявления всей гаммы возможных в данной питающей провинции полезных ископаемых.

Существует несколько приемов проведения поисковых работ. Наиболее примитивным методом является валунный метод поисков. Он заключается в том, что во время поискового маршрута, прокладываемого вверх по течению какой-либо реки, геологом-поисковиком производится систематический просмотр речной гальки с целью обнаружения галек с рудными минералами.

Места находок рудных галек фиксируются на карте. Прослеживая по долинам рек или притоков участки распространения рудных галек, удастся установить пространственное положение коренного рудного месторождения. Недостаток этого метода состоит прежде всего в том, что при макроскопическом просмотре галечного материала, в случае недостаточной опытности поисковика, рудные минералы в гальке могут быть пропущены. Кроме того, рудные минералы нередко бывают рассеяны в виде мелкой вкрапленности в пустых породах и макроскопически неразличимы, поэтому при просмотре гальки не всегда могут быть установлены.

Гораздо более совершенным является шлиховой метод. Отобранные пробы промываются в воде и получившийся тяжелый остаток (шлих) анализируется с помощью физических, химических, оптических и некоторых специальных методов исследования. Результаты этих исследований наносятся на карту и, таким образом, выделяются участки рыхлых отложений, обогащенные рудными минералами. Сопоставление полученных данных с особенностями геологического строения района позволяет установить возможное пространственное положение рудного месторождения.

С лета 1955г. специальным постановлением Министерства геологии был введен как обязательный во все геолого-съёмочные и поисковые работы метод изучения ореолов рассеяния. Изучение ореолов рассеяния производится путем опробования рыхлых или коренных пород с последующим полуколичественным спектральным анализом отобранных проб и нанесением полученных данных на геологические карты (металлометрическая съёмка). Анализ полученных карт позволяет наметить ореолы рассеяния и концентрации рудных тел. Этот метод наиболее широко применим в условиях «закрытых» районов, где в связи с плохой обнаженностью почти исключается выход рудных тел на дневную поверхность.

Все указанные методы проведения поисковых работ дают наиболее надежное и вполне обоснованные результаты только в тех случаях, когда они применяются в тесной связи с геологической съёмкой. Только тесная увязка поисковых данных с материалами геологической съёмки позволяет сделать правильные выводы о рудоносности отдельных районов и дать обоснованную перспективную их оценку. В зависимости от цели и задач, поставленных при проведении поисковых работ, осуществляют мелкомасштабные и крупномасштабные изыскания.

Мелкомасштабные поисковые работы (масштабы 1:1 000 000 – 1:500 000) носят обычно маршрутный характер. Поисковые маршруты прокладываются обычно вдоль долины главных рек изучаемого района или крупных их притоков, рыхлые речные отложения которых систематически опробуются. Отдельные пробы берутся на значительном расстоянии друг от друга в пределах 10-15км. Долины рек покрываются обычно равномерной сетью редких проб и только в местах, благоприятных для локализации рудных тел, сеть опробования сгущается. Такими местами, где опробование производится более детально, являются контактовые зоны, жильные поля или участки развития гидротермально измененных пород. Притоки главных рек опробуются обычно только в их устьевой части, вне пределов долины главной реки, и только наиболее крупные притоки опробуются по всей их длине.

Таким образом, мелкомасштабные поиски носят рекогносцировочный характер. На основании полученных материалов удается дать только самую общую перспективную оценку рудоносности района и наметить отдельные участки для постановки детальных поисковых работ. Никаких конкретных рекомендаций на основании мелкомасштабных работ сделать не удастся, так как все выводы делаются на основе анализа небольшого количества фактического материала, собранного по отдельным маршрутам, при учете особенностей геологического строения территории.

В отличие от мелкомасштабных работ, крупномасштабные (масштаб 1:200 000 и крупнее) поиски ведутся обычно площадным методом, то есть пробы располагаются не только по долинам рек или их притокам, но и более или менее равномерно по всей территории. Производится детальное опробование всей гидрографической сети, включая и сухую овражно-балочную сеть. Пробы располагаются на расстоянии 1-2км друг от друга, а при наиболее детальных работах расстояние между пробами сокращается до 500-300м. Кроме того, производится опробование делювиальных и элювиальных отложений. Опробование рыхлых образований контролируется взятием проб из коренных пород. Сопоставление результатов анализов этих проб дает возможность делать выводы о связи тех или иных рудных минералов, встреченных в рыхлых отложениях, с определенными коренными породами. Опробование обычно сопровождается также детальными геоморфологическими наблюдениями.

На основании крупномасштабных поисков дается вполне обоснованная и развернутая перспективная оценка района, устанавливается связь рудных минералов с определенными коренными породами, высказываются соображения о генезисе отдельных рудных тел и в ряде случаев намечаются районы под разведку.

Каждая порода, как и первичное месторождение, характеризуется своей минеральной ассоциацией. В зависимости от ряда факторов такая ассоциация в измененном виде переходит в шлиховую минеральную ассоциацию. В ней могут преобладать 2-3-4 минерала, слагая фон шлиха, остальные же присутствуют в незначительных количествах. При комплексных шлиховых поисках одной из основных задач становится выделение таких шлиховых ассоциаций минералов, которые связаны с какими-либо группами пород или минеральных месторождений.

Первоначально проводится группирование с объединением близких по тем или иным признакам шлихов в группы. Степень сходства шлихов внутри каждой группы могут быть разными в зависимости от разнообразия шлихов, от общего количества и решаемых задач. При группировании шлихов принимают во внимание те или иные их особенности:

- 1) Преобладание в шлихах 2-4 наиболее распространенных (фоновых) минералов;
- 2) Доминирование в шлихах минералов, свойственных определенной группе пород;
- 3) Сходство шлихов по количеству наиболее важных минералов;
- 4) Сходство состава шлихов и выхода тяжелой фракции;
- 5) То или иное содержание в шлихах полезных ископаемых и (или) их минералов + спутников;
- 6) Идентичность кристалломорфологических, морфологических и геохимических или других индикаторных признаков ряда минералов;
- 7) Соответствие минерального состава разных гранулометрических фракций;
- 8) Близость состава шлихов по гидравлической крупности и миграционной способности;
- 9) Сходство ряда терригенно-минералогических коэффициентов (отношений количеств минералов).

В зависимости от целей тематических исследований сопоставление шлихов и их группирование могут осуществляться по самым разнообразным признакам. При съемочно-поисковых работах группирование шлихов чаще проводят по фоновым минеральным ассоциациям с учетом встречаемости полезных ископаемых. Такой подход позволяет использовать данные обо всех шлихах, независимо от вариаций их состава. Фоновая шлиховая минеральная ассоциация объединяет шлихи с преобладанием 2-3 минералов, ранжированных по их содержанию. Родственные ассоциации могут иметь один и тот же преобладающий минерал, но различаются минералами, занимающими второе – третье место по распространенности. Схематически группирование по фоновым минералам с учетом ранга их распространения следующее (рис.1.5.1):

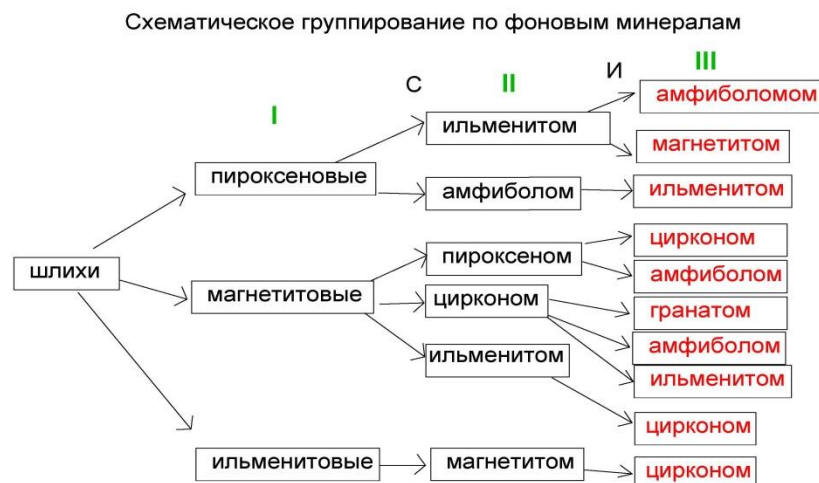


Рис.1.5.1 Схематическое группирование по фоновым минералам

Справа от схемы следовало бы указать номера шлихов, отвечающие по составу данной ассоциации; это обычно делается в рабочих схемах. Фоновые шлиховые ассоциации называются в порядке возрастания доли минерала, то есть: двух минеральные – от второго к первому, трех минеральные – от третьего к первому. Например, кварц-полевошпатовая; хлорит-кварцевая, амфибол-ильменито-пироксеновая; циркон-ильменито-пироксеновая и так далее. Некоторые ассоциации различаются не сочетанием минералов, а только рангом их распространенности (последние, например, три в приведенной схеме). В подобной ситуации не следует подходить к группированию формально, так как вариации количества отдельных минералов возможны по разным причинам, а их сходство не вызывает сомнений. Обычно такие фоновые ассоциации постепенно сменяют друг друга, а отдельные шлихи в зоне распространения родственной фоновой ассоциации могут отличаться из-за отличий при отборе проб или промывке. Такие шлихи можно включить в группу, где доминирует родственная по составу фоновая ассоциация. Иногда выделяют ассоциации по разному числу минералов, принимая во внимание их абсолютное или относительное содержание. Например, к одно минеральным фоновым ассоциациям относят такие шлихи, где количество такого минерала превышает 70-90%, а в двух минеральных – при содержании первого более 50%, а второго не менее 30-40%.

Как правило, в массиве шлихов, собранных на площади исследования, достаточно выделить от 5-6 до 11-15 ассоциаций, чтобы выявить закономерности в изменении их состава. Чрезмерная детализация при значительном количестве шлихов затрудняет обнаружение тенденций в смене фоновых шлиховых ассоциаций. Шлихи одной ассоциации, как правило, располагаются компактно, на одном участке речного русла, хотя связанные общностью происхождения, они могут быть разобщены пространственно.

Ассоциации коренного источника изменяются при выветривании, переносе и аккумуляции шлиховых минералов. Шлиховые минеральные ассоциации сменяют друг друга вниз по течению реки из-за разной миграционной способности минералов, за счет эрозии новых пород, в связи со смещением ассоциаций разных питающих провинций, из-за различий в фациально-динамических условиях накопления обломочного материала. При подведении итогов шлиховых исследований важно выявить причины изменения состава шлихов, объяснить условия формирования выделенных шлиховых ассоциаций. Все установленные особенности изменения состава шлихов должны найти отражение в тексте отчета по результатам опробования, на графиках, диаграммах, фоновых и другого типа шлиховых картах, на картах ореолов рассеяния полезных ископаемых и т.п.

Объединение шлихов в группы необходимо и потому, что за полевой сезон их накапливается достаточно много. Съемочно-поисковая партия на участке работ независимо от их масштаба собирает не менее 400-600 шлихов (табл.1.5.1).

Таблица 1.5.1. Объемы шлихового опробования

Виды и масштабы работ	Количество шлихов	Расстояние между пробами, км
Рекогносцировочные Обзорные: 1:200 000 1:100 000	3-5 на 10км ² 6-12	1-1.5 0.5-1.0
Съемочно-поисковые 1:50000 1:25000	15-25 на 10км ² 80-120	0.2-0.4 0.1-0.2
Поисковые, поисково - оценочные, тематические 1:10000 1:5000	80-200 на 1км ² 200-500	0.05-1.0 0.02-0.05
Детальные, разведочные, специализированные 1:5000 И крупнее	100-600 и более	От 0.05-0.01 И менее

Бригада из техника-геолога и промывальщика в течение рабочего дня должна отбирать и промывать 10-20 шлиховых проб весом около 30кг каждая в легкодоступных районах и до 8-12 – в труднодоступных. При опробовании долинных отложений, крупномасштабных поисках, оконтуривании ореолов рассеяния пробы нередко отбираются из закопашек, шурфов, дудок; в бригаду тогда включаются рабочие проходчики. При работе с протолочными пробами необходимо учитывать их транспортировку к месту обработки и измельчение перед промывкой. По окончании полевых работ должны быть представлены дневник шлихового опробования, карта опробования, журнал шлихов и их коллекция. В письменных документах указываются район, участок, точное место работы, его литологическая характеристика и исходный вес или объем пробы.

1.6. Способы отображения состава шлихов

Для дальнейшей наглядности при обобщении данных и с целью свертывания первичной информации при интерпретации результатов шлихового опробования применяются различные диаграммы и графики. Они могут служить рабочими материалами, но используются как итоговые данные в отчетах. Составы отдельных шлихов изображают в виде различных точечных диаграмм, несущих либо качественную, либо количественную

характеристику состава шлиха. С этой целью используют условные значки, круговые диаграммы, диаграммы-розы и диаграммы столбики.

Диаметр круговых диаграмм 4-6мм. Существует несколько вариантов условных значков (рис. 1.6.1).

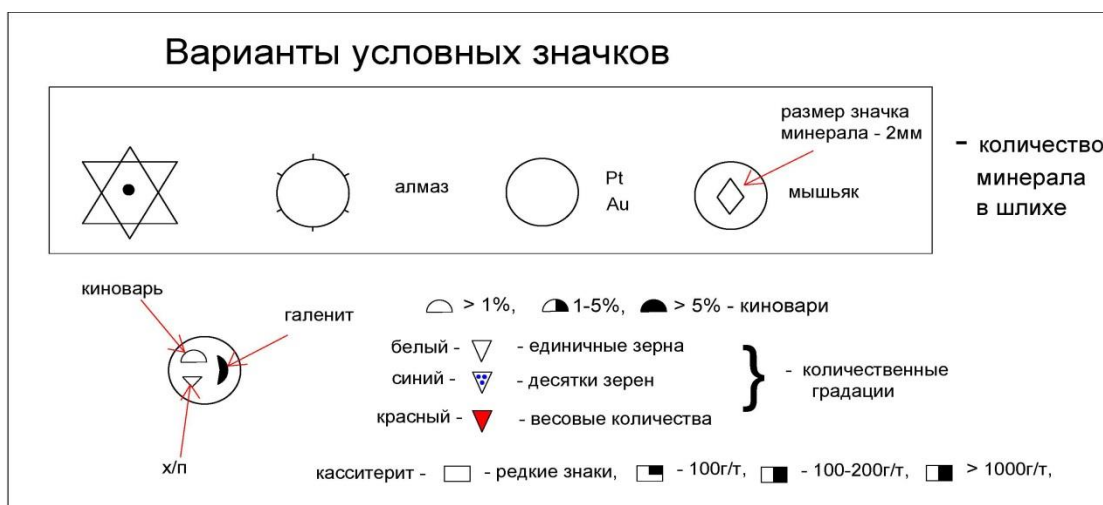


Рис.1.6.1 Варианты условных значков

Если в шлихе не обнаружены рудные минералы, то такой шлих считается «пустым». Все пустые шлихи обязательно наносятся на шлиховые карты. Градаций не должно быть много, уже 4-5 дают достаточное представление о распределении минерала. Круговые секторные диаграммы наиболее удобны для отображения состава шлихов при комплексных съемочно-поисковых работах, когда необходимо учитывать распространенность в фоновых минералах. Радиус каждой круговой диаграммы можно взять в масштабе учитывая выход тяжелой фракции, а каждый процент содержания минерала занимает сектор с углом 3.6° . Площадь сектора, занимаемого каждым минералом, показывает тогда абсолютное содержание минерала, а угол сектора относительное, что облегчает сравнение шлихов (рис. 1.6.2.).

Для крупномасштабных кружковых карт приняты следующие цветовые обозначения.

Алмаз – ярко-красный

Вольфрам – синий

Драгоценные камни (без алмаза) – темно-зеленые

Железо – розовый

Золото – желтый

Медь – ярко-зеленый

Молибден – сиреневый

Мышьяк – голубовато-серый

Никель – розовато-сиреневый

Олово – коричнево-бурый

Платина – черный

Редкие земли – светло-серый
 Ртуть – кирпично-красный
 Свинец – голубой
 Сурьма – коричневый
 Тантал – ниобий – оранжевый
 Титан – лиловый
 Хром – желтовато-зеленый
 Цинк – желтовато-бурый

Круговые секторные диаграммы

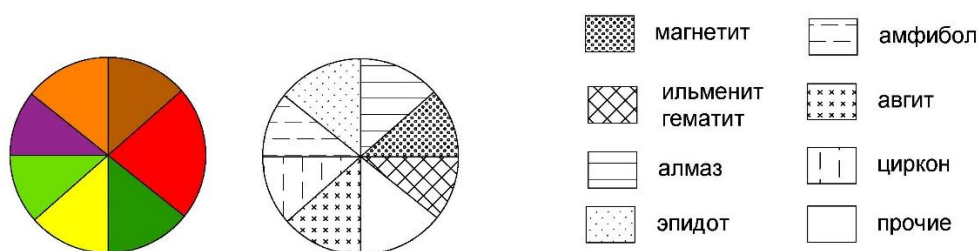


Рис.1.6.2. Круговые секторные диаграммы

И заштрихованные и цветные секторные диаграммы сравнивать сложно, а их составление достаточно трудоемко и не всегда рентабельно.

Диаграммы – розы составляются по иному принципу. На них в принятом масштабе от центра откладывается чаще всего содержание минералов в г/кг или г/т, а каждому минералу принадлежит определенный вектор (рис.1.6.3). Диаграммы – розы удобны для сравнения составов искусственных шлихов, отобранных по площади выходов магматических пород. Сравнение составов трех шлихов на рисунке 1.6.3 позволяет заметить увеличение ильменита справа налево, турмалина – слева направо, топаза – справа налево.

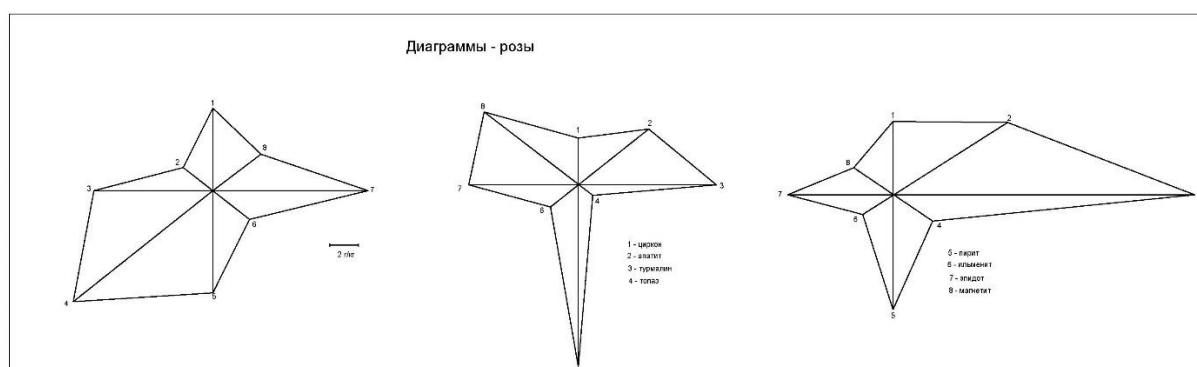


Рис.1.6.3. Диаграммы - розы

Диаграммы – столбики позволяют отображать состав шлиха в процентах (%) или г/т, г/кг;

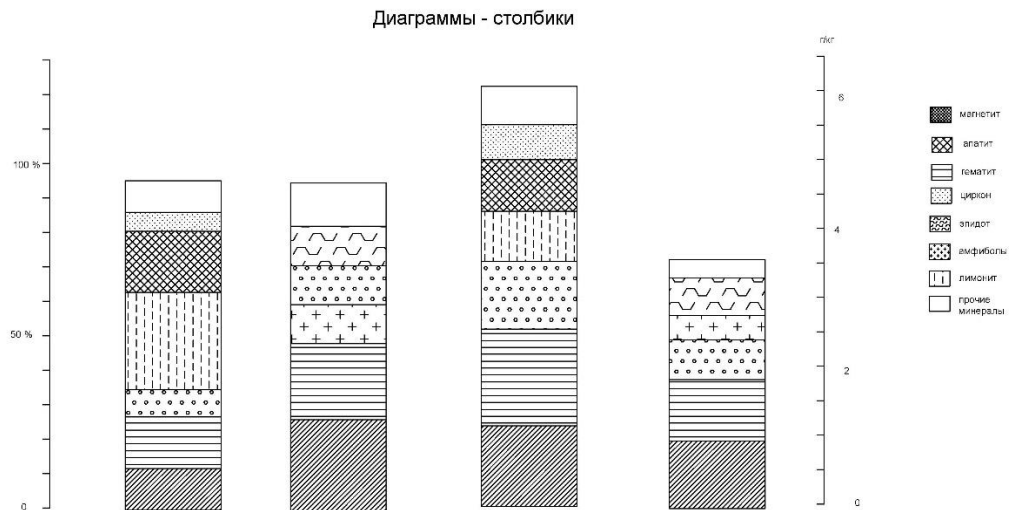


Рис. 1.6.4. Диаграммы - столбики

По способу построения они проще других диаграмм. Ширина столбика производная и небольшая, а высота в принятом масштабе соответствует 100% шлиха или выходу тяжелой фракции. В случае объемной массы процентное содержание каждого минерала необходимо пересчитать с учетом выхода тяжелой фракции, получив количество минерала в граммах на единицу веса исходной пробы.

Схема расчета: $x = \frac{(k \times v)}{100}$, где

k – количество минерала в шлихе в объемной массе %, v – выход тяжелой фракции в граммах на 1кг исходной пробы.

Как уже упоминалось ранее, возникшая из-за пренебрежения различиями в плотности минералов, погрешность невелика, а расчеты значительно упрощаются. Варианты диаграмм – столбиков приведены на рисунке 1.6.4. Эти диаграммы удобны при сравнении состава ряда шлихов по разрезу обломочных толщ, при опробовании вдоль русла реки или по поисковым линиям поперек долины, а при использовании протолочек – по профилям через тела массивных пород.

Вариационные диаграммы строят с использованием диаграммы – столбиков, размещенных в определенном масштабе по линии опробования на оси абсцисс, а данные по составу шлихов интерпретируют на интервалы между точками опробования. Так по оси ординат содержания минералов (в объемных масс % или в г/кг), то ширина получаемой для каждого минерала полосы или ленты соответствует содержанию конкретного минерала в данном сечении диаграммы, а изменение его ширины показывает варьирование его количества. Появление в некоторых шлихах иных

минералов приводит к вклиниванию новых полос (рис. 1.6.5. – эпидот и альмандин).

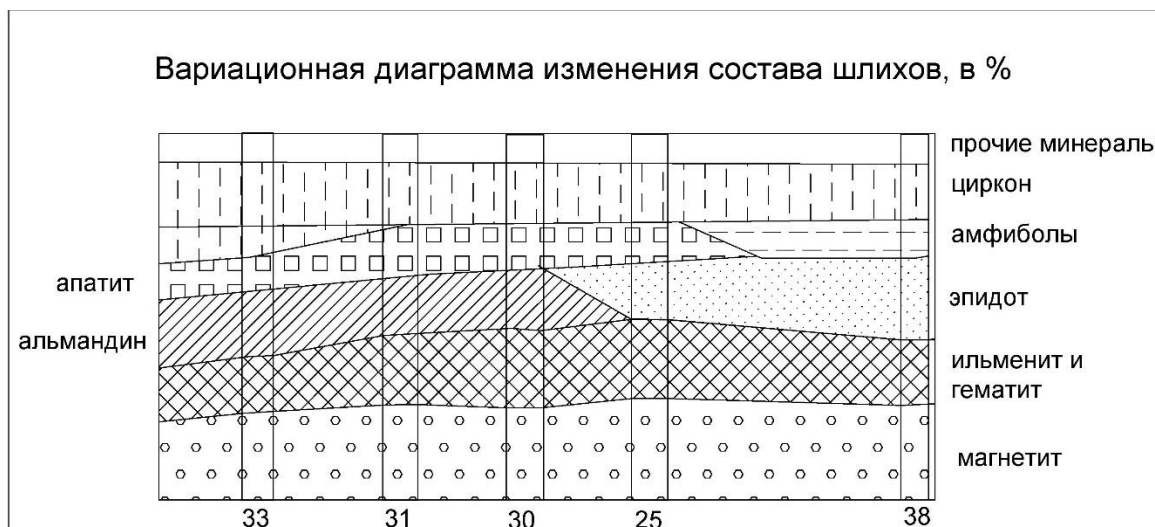


Рис.1.6.5. Вариационная диаграмма

Увеличение в шлихах 25 и 38 выхода тяжелой фракции связано с появлением эпидота и амфибола, а вследствие этого – снижение относительного количества магнетита.

На диаграмме (рис. 1.6.6) видно закономерное изменение абсолютных количеств минералов с незначительным изменением их соотношений из-за различий в миграционной способности.

Вариационные диаграммы являются первой стадией подготовки к составлению шлиховых карт, т.к. на них четко видны фоновые ассоциации шлихов, а сами полосы на диаграммах – варианты участков количественных ленточных шлиховых карт.

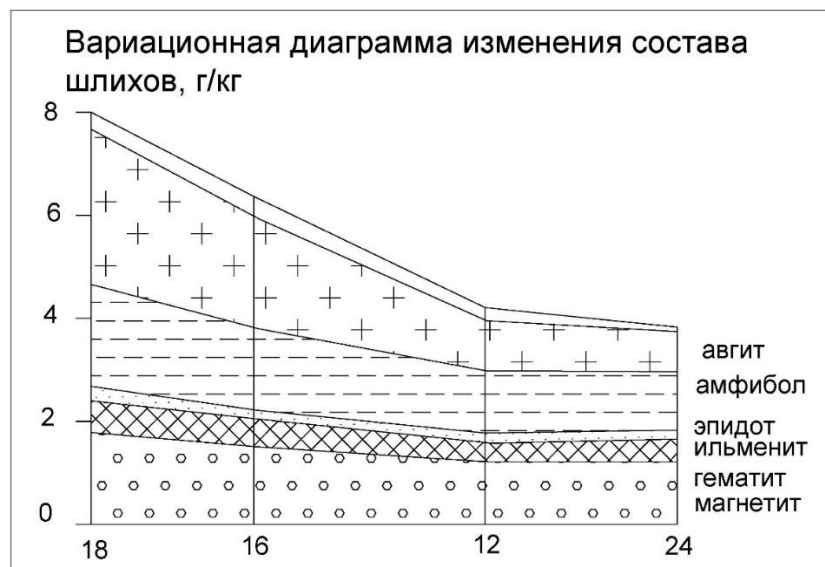


Рис.1.6.6. Вариационная диаграмма

Малораспространенные минералы на точечных и вариационных диаграммах учесть невозможно и вариации их состава иллюстрируют графиками. На них по оси абсцисс отмечаются в масштабе места опробования, а ордината соответствует количеству минерала в объемных-масс % и в г/кг. Эти точки соединяют интерполирующими прямыми (рис. 1.6.7.).



Рис.1.6.7. График содержания турмалина и сфена

Форма графика с учетом выхода тяжелой фракции может быть иной, чем по относительным содержаниям. Снижение содержания вниз по течению свидетельствует о расположении источника в верхнем течении, а монотонное возрастание количества минерала – о его постоянном поступлении с бортов долины. Наклон графика при спаде содержания определяется преимущественно миграционной способностью минерала. Появляющиеся на фоне снижения локальные максимумы содержаний могут быть связаны с точечными источниками на бортах, с привнесом притоками или иным характером отобранной пробы и условиями ее промывки. В последнем случае важен анализ распределения зерен каждого минерала по размерности – увеличение содержания минерала за счет более мелких зерен может указывать на более аккуратную промывку шлиха. Гранулометрический анализ шлиха важен не только для повышения точности оценки количества минералов и для характеристики их источников, но и для уточнения условий их аккумуляции.

Упрощенный вариант квадрант-диаграммы приведен на рисунке 1.6.8, где каждый квадрант включает значки минералов, имеющих соответствующие модальные значения размеров зерен.

Квандрант - диаграмма распределения минералов в шлихах

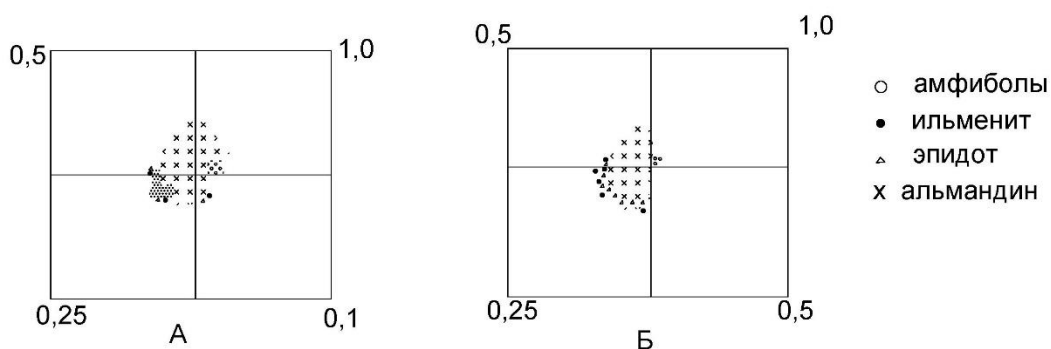


Рис.1.6.8. Квандрант-диаграмма распределения минералов по размеру зерен в шлихах. А (Лахта) и Б (Байкал)

Эти значения (в мм) указаны по вершинам диаграмм, но их расположение в каждом квадранте может быть уточнено по результатам гранулометрического анализа шлиха. Количество знаков в каждом квадранте может быть примерно пропорциональным распространенности данного минерала. Оценить размер зерен под биноклем можно посредством окуляра с линейкой при известной цене ее делений для данного объектива. В шлихе А преобладают более крупные зерна граната по сравнению со шлихом Б, а в последнем весь эпидот более однороден по размеру и его содержание выше. На квадрант-диаграммах можно показать распределение по гранулометрии 4-7 наиболее характерных минералов и визуально сравнивать различные по составу и размеру зерен шлихи.

Для сопоставления результатов минералогического анализа шлихов можно использовать как один из математических методов обработки кластерный анализ, предназначенный для классификации объектов, по мере их сходства или различия в многомерном пространстве (Ильинский, 1986).

1.7. Документация шлиховых проб

Документация шлиховых проб крайне проста и требует только тщательности и аккуратности. При документации шлиха следует придерживаться следующего правила: если в силу тех или иных причин у какой-либо пробы потерян номер, такие пробы следует уничтожить. Ни в коем случае не следует допускать восстановления потерянных номеров проб, пользуясь различными сопоставлениями и прочими субъективными данными. Подобные вещи нередко приводят к тому, что на шлиховую карту наносят новые сведения и полученные результаты трудно сопоставляются и увязываются между собой. В этих случаях приходится браковать поисковые работы в целых районах. Во избежание указанных неприятностей, связанных

с утерей номеров проб, геолог-поисковик должен быть очень требователен как к себе, так и ко всем сотрудникам, принимающим участие в поисковых работах.

Документация шлиховых проб проводится следующим образом. В момент взятия пробы на карту карандашом наносится точка, соответствующая месту опробования и проставляется номер пробы. В полевой книжке делаются краткие, но четкие записи, содержащие следующие данные:

- 1) Номер проб;
- 2) Адрес места взятия проб;
- 3) Генетический тип отложений, подвергшихся опробованию;
- 4) Характеристика литологии пород, поступивших в пробу;
- 5) Глубина взятия пробы (в м).

Подобные записи сопровождаются в случае необходимости небольшими схематическими планами и зарисовками, иллюстрирующими особенности геоморфологии того места, где было произведено шлиховое опробование. Это могут быть схематические поперечные разрезы речных долин, разрезы террас, зарисовки естественных обнажений или горных выработок. На каждой из этих зарисовок отмечается место взятия и номер пробы. Все эти сведения являются весьма ценным материалом при интерпретации результатов шлихового опробования и составления шлиховых карт. К пробе прикладывается этикетка, содержащая номер пробы, адрес места ее взятия, глубину взятия пробы и исходный объем пробы. После промывки пробы эта этикетка вкладывается в пакет с полученным шлихом.

Обычно в районах, в достаточной степени снабженных водой, промывка взятых проб производится тут же на месте их взятия, что создает большие удобства в работе. Однако в районах безводных или труднодоступных это не всегда возможно и приходится прибегать к транспортировке проб от места их взятия к месту промывки. Это довольно неудобно, т.к. требует специального транспорта, а кроме того, ведет к потере тяжелой фракции проб в процессе их перевозки, а нередко и к путанице в нумерации проб. Промывка в этих случаях производится в крупных водоемах, иногда – в специально изготовленных чанах. Для перевозки пробы укладывают в небольшие плотные брезентовые мешки объемом 0.025-0.03м³. Ни в коем случае для этих целей нельзя использовать обычные мешки ввиду того, что пробы из них высыпаются, причем в первую очередь теряются наиболее тяжелые рудные минералы. Этикетки пишутся в двух экземплярах, причем одна из них укладывается на дно мешка, а другая помещается сверху пробы; это гарантирует от утери этикеток и соответственно – номеров проб. В случае если опробованию подвергаются сильно влажные породы, этикетки

выписываются не на бумаге, а на небольших деревянных табличках, чтобы избежать возможности их размокания.

Карта опробования составляется обычно в двух экземплярах: один экземпляр рабочий – составляется в поле карандашом в момент взятия проб, другой – чистовой – составляется тушью в лагере или на базе и является копией рабочей карты. Поэтому чистовой экземпляр карты тщательно хранится в специальном деревянном или железном ящике. Потеря карты опробования может свести на нет всю большую трудоемкую работу по опробованию.

Таблица 1.7.1. Форма шлихового журнала

№п/п	№ шлиха	Адрес	Генетический тип	Литогеологический состав	Объем пробы (м ³)	Вес шлиха (г)	Вес навески шлиха (г)	Вес навески для анализа (г)	Вес тяжелой фракции (г)	Минеральный состав шлиха					Примечание
										гранат	золото	киноварь	Касситерит	Циркон	
	208	р. Быстрая у д. Михайловка	Русловой	Крупнозер	0,0-0,30	0,02	26,4	4,2	0,4	-	-	-	26 г/т	46 зерен	

В лагере или на базе составляется шлиховой журнал, куда заносятся основные сведения о пробах и результаты их анализа. Шлиховой журнал в качестве фактического материала прикладывается в дальнейшем к отчету. Существует несколько различных форм шлиховых журналов. Наиболее целесообразная форма шлихового журнала следующая (табл. 1.7.1).

Журнал состоит из двух половин: одна половина (графы 1-7) заполняются в поле по мере сбора шлихов, другая (графы с 8 по 15) после получения из лаборатории результатов минералогического анализа шлихов. В графах, указывающих минералогический состав шлиха (11-14), отмечаются обычно только рудные минералы, причем приводятся результаты их количественного анализа в числе зерен или в весовых единицах (в г/т или в г/м³). Если в каких-либо шлихах те или иные минералы отсутствуют, то соответствующие графы прочеркиваются. В графе 16 записываются минералы – спутники, которые характерны для определенных рудных минералов и встречаются в шлихах в значительных количествах.

1.8. Техника промывки шлиховых проб

Отобранные шлиховые пробы промываются в воде с целью получения тяжелого остатка с удельным весом $>2,5$. Для промывки проб применяются различные приспособления, которые носят название лотков. Наиболее удобен в работе и наиболее часто применяется лоток корейского типа (рис. 1.8.1).

Он выдалбливается из целого куска дерева и имеет две широкие наклонные стенки, сходящиеся посередине, и две маленькие, слабо наклонные.



Рис.1.8.1. Лоток для промывки

Размер лотка: длина 62см, ширина по верху 38см, по дну 32см, высота 10см, толщина у стенок на дне 1.5см.

Сибирский лоток в принципе близок к корейскому лотку, но имеет в плане круглые очертания. Он менее удобен в работе, а потому используется реже. Чаще всего им пользуются при проведении опробования на золото.

Промывка проб разбивается на три стадии:

- 1) Отмучивание глины;
- 2) Сброс песчаной фракции;
- 3) Доводка шлиха.

Отмучивание глины производится следующим образом. Проба засыпается в лоток и вместе с лотком погружается под воду и тщательно промачивается. Полезно перемешать пробу железной лопаточкой-гребком. При этом легкие глинистые частицы взмучиваются и током воды уносятся, а более тяжелые крупные частицы остаются в лотке. Если в пробе содержится галька или щебень, то они вручную отбираются и после ополаскивания в воде над лотком выбрасываются. Необходимо внимательно просматривать галечный материал, комочки глины растирать, чтобы не выбросить зерна и сростки рудных минералов или самородки золота.

Сброс песчаной фракции производится при активном встряхивании в воде лотка до тех пор, пока в лотке ее останется очень немного (заполняет только центральную часть лотка).

Доводка шлиха производится в ковше. Это обычный деревенский ковш с ручкой, имеющий вертикальные стенки. Доводка шлиха производится до определенной стадии. Принято промывать шлих до тех пор, пока через края ковша не начинают переплывать зерна граната (по яркой окраске хорошо различимы в мокром шлихе). Если граната в шлихе нет, то домывают до равномерного темно-серого цвета. Как правило, шлих лучше не домывать (оставить какое-то количество полевого шпата и кварца), чем перемыть, так как при этом можно потерять часть тяжелой фракции. Нельзя домывать до черного цвета, так как при этом из шлиха вымываются почти все зерна различных рудных минералов и в шлихе практически останутся только зерна магнетита и ильменита.

Проверить, правильно ли ведется промывка проб можно с помощью незаметной добавки в шлих промывальщику несколько крупных, хорошо заметных зерен касситерита (если нет, то охотничьих дробинки). Если при промывке контрольные зерна будут потеряны, то такого промывальщика надо немедленно отстранить от работы.

Малоопытный промывальщик промывает в день около 10 проб, а опытный 30-40 проб; если моют золото, то выработка опытных промывальщиков достигает 200 проб в день.

1.9. Шлиховые карты. Классификация шлиховых карт

На шлиховых картах приводятся результаты шлихового опробования, выделяются перспективные для дальнейших поисково-разведочных работ участки. Задачи, которые планируются решить, частоту и характер отобранных проб, детальность анализа шлихов и степень обобщения фактического материала.

На шлиховой карте должны быть отображены разными способами геологическое строение района (схематически), рельеф и гидрографическая сеть (с разной степенью детальности), известные рудопроявления, места взятия шлихов и их минеральный состав, а также данные о том, где, когда и кем составлена карта. В зависимости от масштаба съемочно-поисковых или тематических работ составляются мелкомасштабные обзорные карты (1:50000 и 1:100000 и т.д.), позволяющие дать общую перспективу оценки района и крупномасштабные детальные карты (1:250000, 1:10000 и т.д.). На этих картах выделяют участки, перспективные для поисков и разведки коренных или россыпных месторождений, их используют для решения палеогеографических, петрологических, минералогических вопросов.

По направленности решаемых задач выделяют регистрационные шлиховые карты (карты фактического материала), карты ореолов рассеяния и прогнозные шлиховые карты. Классификация шлиховых карт по принципу

характеристики минерального состава позволяет выделить качественные, количественные и фоновые шлиховые карты. На качественных картах у точек взятия шлихов условными знаками или контурами по группе шлихов отмечаются пробы, в которых обнаружены те или иные полезные ископаемые.

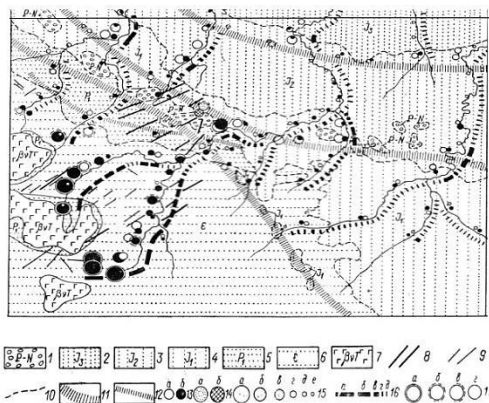
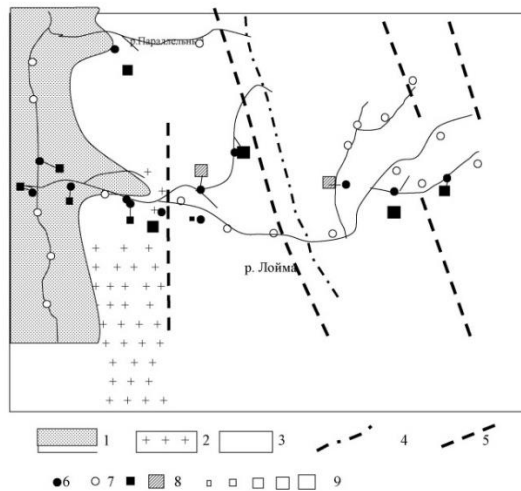
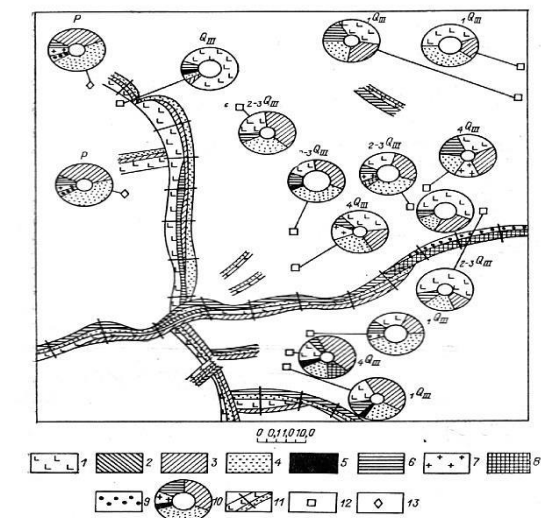
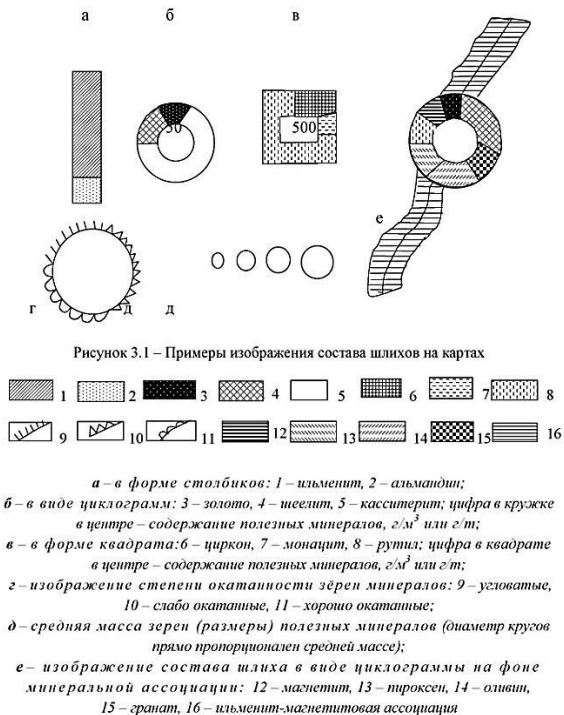


Рис. 1.9.1. Примеры составления шлиховых карт (Бакулина, 2014)

Количественные шлиховые карты строятся по результатам оценки содержания одного или нескольких минералов, представляющих определенный интерес. Выделяют обычно не более 3-5 границ содержаний, разделяя штриховкой или раскраской условные значки, а также проводят изолинии содержаний, которые могут быть выражены в % к составу шлихов или в г/кг исходной пробы.

Фоновые шлиховые карты отличаются тем, что шлихи группируются по содержанию 2-4 наиболее распространенных минералов, определяющих минеральный фон шлиха. Каждая фоновая минеральная ассоциация формируется в определенной питающей провинции и все шлихи, входящие в неё, имеют общие или сходные источники минералов. Наиболее рационально составление комплексной шлиховой карты – фоновой по шлиховым ассоциациям и количественной на полезные ископаемые или их спутники. Такое сочетание указывает, в шлихах какого состава могут быть встречены зерна ценных минералов. Результаты анализа шлихов на этих картах отображают обычно разными способами.

Шлиховые карты классифицируют и по характеру интерполяции составов шлихов, выделяя точечные, ленточные и полигонные карты.

Точечные шлиховые карты показывают состав шлиха (видовой, количественный или фоновую ассоциацию) в точке взятия шлиха; состав шлиха отображается разными способами.

Ленточные шлиховые карты составляются при интерполировании составов шлиха на интервалы между точками опробования. На них лучше выявляются закономерности в изменении состава шлихов вдоль речного русла, по разрезу пород, по поисковым линиям и так далее.

При составлении обзорных карт объединение близких по составу шлихов также позволяет составлять ленточные карты при опробовании постоянных водотоков. Такие карты могут быть качественные, количественные или фоновые. Начальным этапом построения их обычно являются вариационные диаграммы и графики.

Полигонные (площадные) шлиховые карты составляют по данным опробования каких-либо пород по площади их распространения, при опробовании четвертичных отложений на участках развития ореолов рассеяния, при петрологических, палеогеографических и других тематических исследований. Полигонные карты чаще составляются как количественные или фоновые; изолиниями на них ограничивают участки с определенным содержанием какого-то минерала или с устойчивой шлиховой минеральной ассоциацией. По сути – это один из вариантов минералогического картирования.

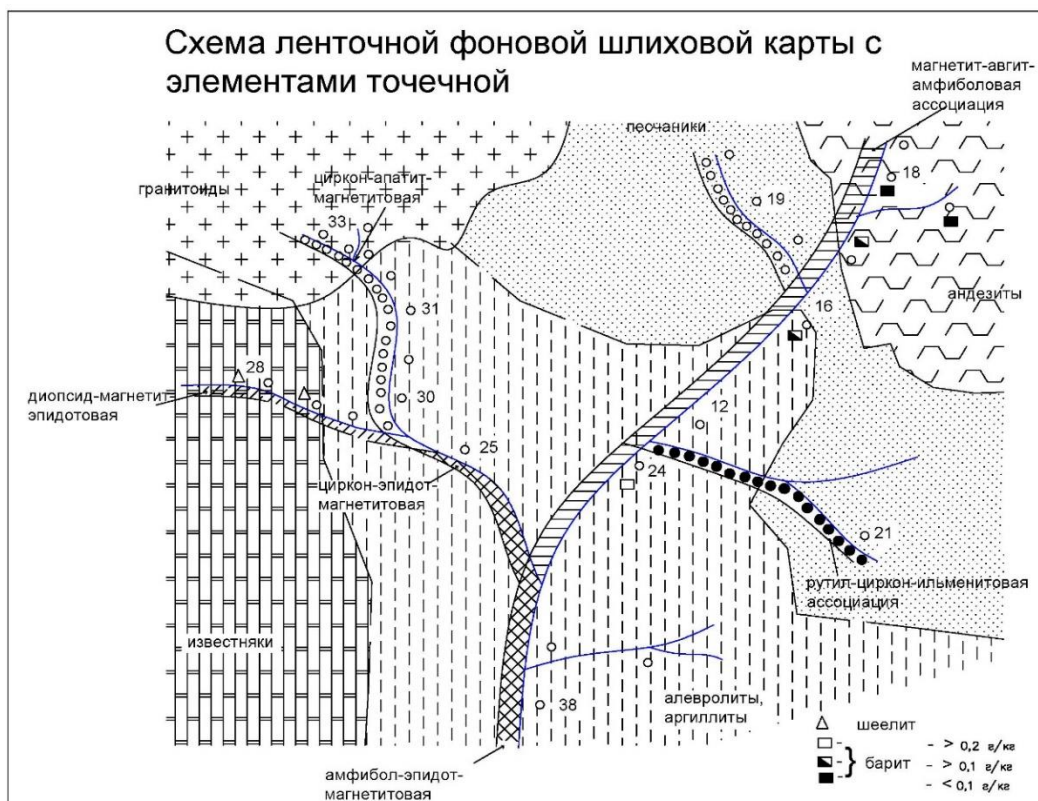


Рис. 1.9.2. Схема ленточной фоновой шлиховой карты с элементами точечной

При составлении шлиховых карт, следовательно, возможно сочетание различных способов отображения составов шлихов. Главная цель – четко выделить наиболее важные результаты шлихового опробования, показать перспективные участки и правильно интерпретировать шлиховые данные. На рис. 1.9.1 показаны примеры составления шлиховых карт.

На рисунке 1.9.2 показана схема ленточной фоновой шлиховой карты с элементами точечной. Поступающие здесь с бортов долины минералы из алевролитов столь мало распространены, что практически не влияют на состав ассоциации. Диопсид-магнетит-эпидотовая ассоциация связана, вероятно, со скарновыми в зоне контакта породами. На это указывает также шеелит, встреченный в шлихе 28. Повышенный выход тяжелой фракции приводит при смешивании двух ассоциаций к появлению новой – циркон-эпидот-магнетитовой. Расположенное восточнее русло реки переносит амфиболы, авгит, магнетит и другие менее распространенные минералы. Встречающийся здесь барит имеет низкую миграционную способность и его количество в шлихах уменьшается значительно быстрее по сравнению с пироксенами и амфиболами. Эта ассоциация сохраняется и при поступлении из притоков материала рутил-циркон-ильменитовой ассоциации. Смешивание двух ранее сформировавшихся ассоциаций приводит к появлению новой – амфибол-эпидот-магнетитовой. Циркон, авгит, ильменит и другие минералы здесь играют уже второстепенную роль.

Схема ленточной количественной шлиховой карты

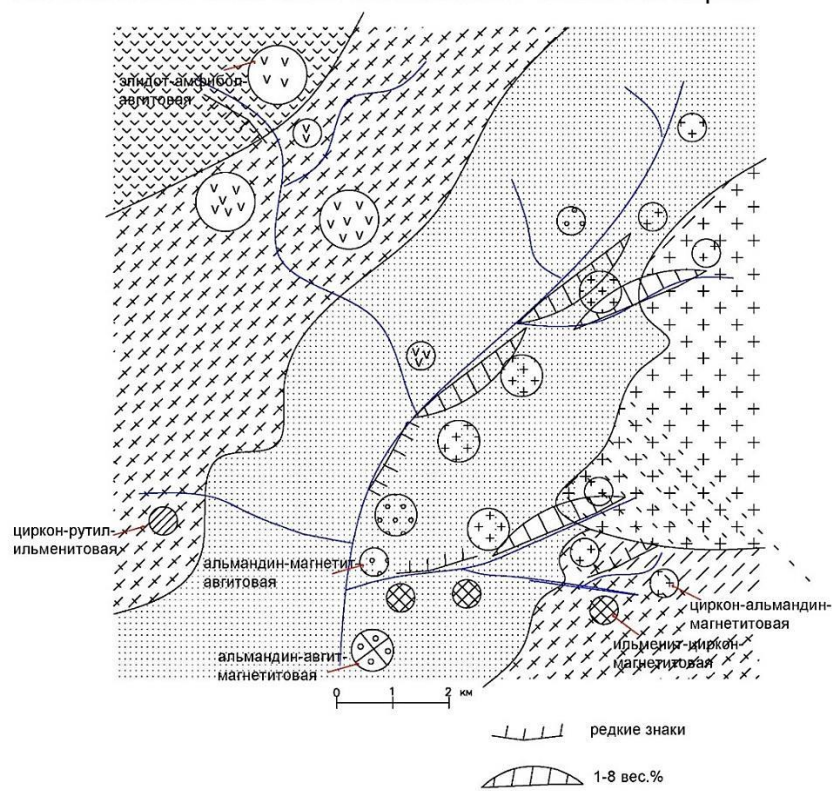


Рис. 1.9.3. Схема ленточной количественной шлиховой карты

Важным результатом опробования следует считать рекомендации по поиску скарнов с шеелитом у контакта гранитоидов и баритовых жил среди вулканитов. На рисунке 1.9.3 показана ленточная количественная шлиховая карта, показывающая распределение апатита. Количество минерала отражено в определенном масштабе шириной ленты, нанесенной вдоль тех участков русел рек, где он обнаружен. Апатит поступает преимущественно из гранодиоритов и при относительно небольшом его содержании и средней миграционной способности уже через 8-10 км практически исчезает. Некоторое увеличение его количества в пробах из аллювия за пределами интрузии обусловлено, по-видимому, высвобождением зерен минерала из обломков пород при их переносе. На ту же карту наложены точечные данные, показывающие фоновый состав шлихов, отражающий выход тяжелой фракции. Это уже точечная фоновая шлиховая карта. Радиус кружков позволяет более наглядно отобразить влияние каждой шлиховой ассоциации на формирование новой, возникающей при их смешивании в речных потоках.

Использование минералов – спутников при поисках месторождений полезных ископаемых всегда приводит к положительным результатам. Пироповая съемка как метод поисков кимберлитовых трубок в Якутии был применён после выявления роли пироба как генетического спутника алмаза.

Ленточная количественная карта, подобная составленной в тот период, приведена на рисунке 1.9.4.

Схема ленточной количественной шлиховой карты

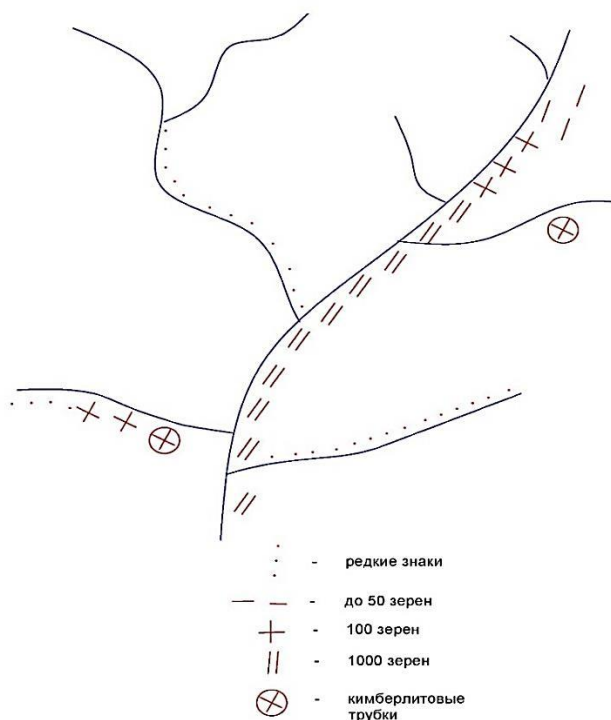


Рис. 1.9.4. Схема ленточной количественной шлиховой карты

В ходе шлихового опробования при поисках полезных ископаемых обычно выделяют вторичные ореолы рассеяния по результатам изучения проб, отобранных по всей площади поисков из элювия и делювия. В аллювии такие ореолы могут быть пространственно изолированы от коренного источника и формируют более протяженные потоки рассеяния минералов. На картах ореолов рассеяния линиями равных концентраций выделяют участки с разным содержанием полезного компонента. Такие карты крупномасштабные и для них очень важна геоморфологическая информация, так как форма ореола рассеяния определяется как особенностями рельефа, так и ориентацией относительно рудного тела или выхода горных пород. На рисунке 1.9.5 приведена схема ореолов и потоков рассеяния, составленная по материалам опробования на касситерит.

При интерпретации результатов опробования во избежание ошибок важно учитывать размер зерен минералов, условия его накопления в аллювии, принадлежность опробуемых отложений к конкретному генетическому типу. Протолочные пробы, отобранные по площади развития магматических пород, дают возможность расчленения интрузивного тела на участки, различающиеся фоновыми ассоциациями акцессорных минералов.

Схема карты ореолов и потоков рассеяния минерала

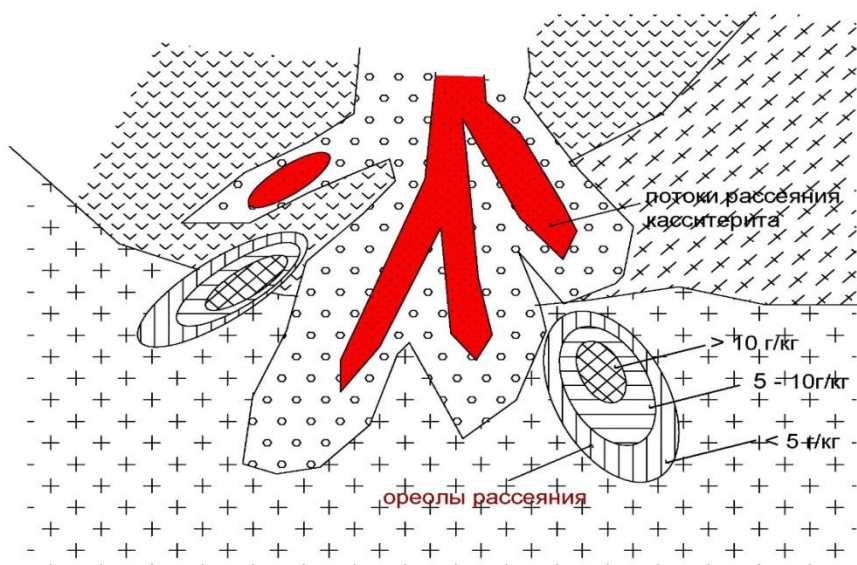


Рис. 1.9.5. Схема карты ореолов и потоков рассеяния минерала

По таким же данным составляются и полигонные количественные карты. На рисунке 1.9.6 показана подобная карта, показывающая распределение флюорита на площади эрозийного среза щелочных сиенитов.

Схема полигонной количественной карты содержания флюорита - 10 г/т - 100г/т

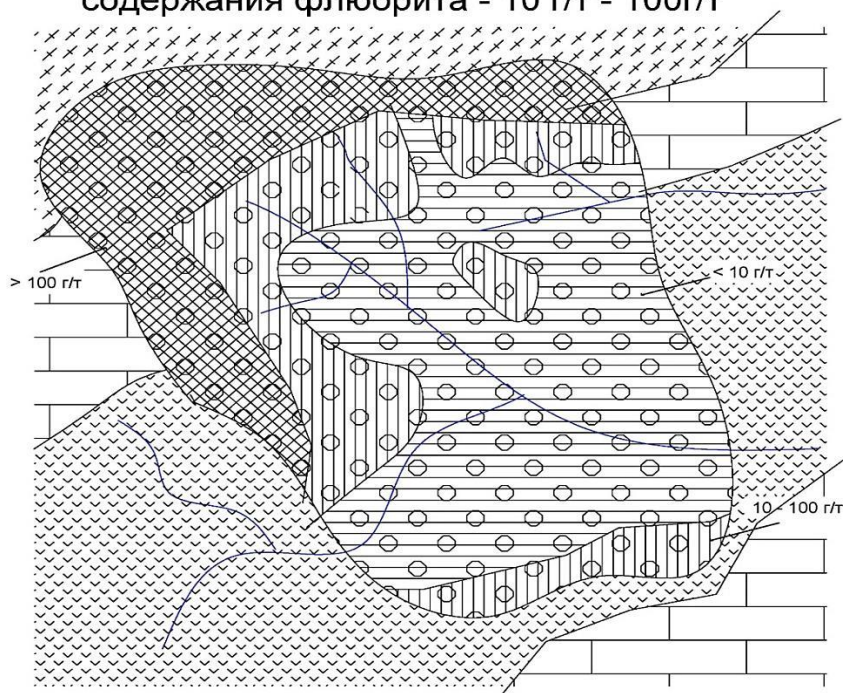


Рис. 1.9.6. Схема полигонной количественной карты

Флюоритом обогащены приконтактные и апикальные части интрузивного тела. Во многих магматических телах разного состава установлено, что повышенное содержание топаза, турмалина, монацита, апатита, флюорита характерно для верхних апикальных частей. С глубиной и ближе к центру возрастает количество магнетита, ильменита, сфена, рутила, циркона и других минералов. Эта закономерность присущи тем аксессуарным минералам, которые являются первичными и кристаллизовались в ходе формирования самих магматических пород.

Иногда составляются шлихо-геохимические карты (рис. 1.9.7), на которых в кружках указываются примеси в минерале.

Завершающим этапом исследований в производственных условиях является составление объемной записки к шлиховой карте. Обязательно приводится методика шлихового опробования – равномерность распределения шлиховых проб по площади, густота точек, количество промываемого материала, качество промытых шлихов, их полевая диагностика.

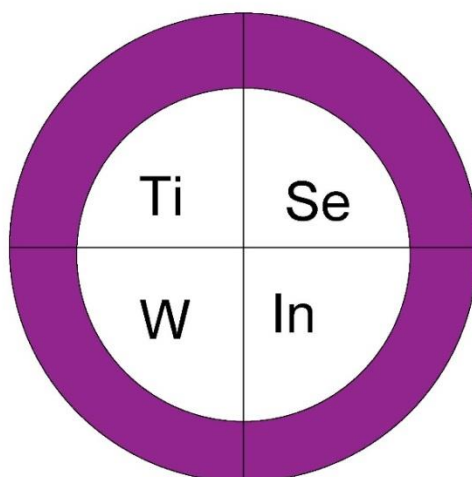


Рис. 1.9.7. Кружок на шлихо-геохимической карте с указанием элементов-примесей

Графический материал сопровождается характеристикой шлиховых минеральных ассоциаций, анализом условий их формирования и распространенностью. При выявлении ореолов рассеяния полезного ископаемого делаются предположения о связи с тем или иным коренным источником, вероятность образования россыпных концентраций. В тексте рассматриваются перспективы обнаружения месторождений, их генетический тип, даются рекомендации по дальнейшему проведению работ.

2. ИЗУЧЕНИЕ ШЛИХОВЫХ МИНЕРАЛОВ

В полевых условиях для определения минералов шлихов приходится пользоваться наиболее простыми методами анализа, не требующими применения сложных приборов. Минералы определяются главным образом по внешнему виду (окраске, блеску и форме зерен), плотности и с помощью простых химических реакций. При анализе искусственных шлихов из дробленых проб определение минералов часто затруднено плохой сохранностью кристаллических форм, нарушаемых при дроблении горной породы. В этом случае приходится чаще прибегать к определению оптических свойств и химического состава минералов.

Иногда в лабораторию поступают шлихи недостаточно хорошо отмытые, содержащие большое количество кварца, полевых шпатов и других легких минералов. Эти шлихи перед анализом предварительно отмывают («доводят»), пользуясь старательским лотком, небольшим железным ковшом, алюминиевой или фарфоровой чашкой. Доводку шлиха производят в большом тазу или в ведре. Шлих высыпают в железный ковш (или чашку) и погружают ковш в воду. Встряхиванием взмучивают шлих, и осторожно наклонив ковш, смывают легкие минералы. Даже при очень тщательной отмывке часть тяжелых минералов смывается вместе с легкими. Особенно легко смываются частицы минералов, имеющих пластинчатую или удлиненную форму. Поэтому после первой промывки оставшийся в ковше шлих переносят в небольшую фарфоровую чашку, а легкие минералы, находящиеся на дне таза или ведра, вторично отмывают в ковше. Выделенные после второго отмывания тяжелые минералы присоединяют к основной массе отмытого шлиха. Затем шлих высушивают и взвешивают.

Минералогический анализ шлиха состоит из двух существенно различных этапов: предварительного разделения шлиха на фракции и определение минералов. В состав шлиха обычно входит большое число различных минералов, многие из которых весьма сходны по внешнему виду. Очень часто наиболее интересные в промышленном или поисковом отношении минералы присутствуют в шлихе в относительно малых количествах и не могут быть обнаружены без предварительного выделения их из общей массы минералов. Разделение шлихов на фракции основано на различии физических свойств минералов: магнитности, плотности и размера зерен.

Минералы, выделенные из шлихов, в полевых условиях определяют по внешнему виду, окраске, плотности и с помощью простейших химических реакций. Для более точной диагностики минералов необходимо определить

оптические свойства, люминесценцию минералов в катодных и ультрафиолетовых лучах, то есть прибегать к более сложным методам анализа, которые не всегда возможны в условиях полевой шлиховой лаборатории.

2.1. Общая схема минералогического анализа

Общая схема минералогического анализа шлиха сводится к следующим операциям:

1. Взвешивание всего шлиха;
2. Разделение на ситах и взвешивание выделенных классов;
3. Отбор средней пробы из мелкого класса и взвешивание её;
4. Разделение постоянным магнитом;
5. Разделение тяжелой жидкостью;
6. Разделение электромагнитом;
7. Изучение крупного класса под биноклем и определение минералов по внешнему виду или с помощью паяльной трубки;
8. Изучение мелких фракций под биноклем;
9. Определение минералов под микроскопом по оптическим свойствам, с помощью химических реакций и другими методами;
10. Количественное определение минералов.

2.2. Методы разделения шлихов на фракции

Взвешивание

Взвешивание шлиха и всех выделенных фракций проводят на весах с точностью до 0,01г. Большие количества шлиха взвешивают на технических весах. Результаты взвешивания записывают по форме, указанной в таблице 2.2.1. Схема записи результатов минералогического анализа шлихов указана в таблице (Таблица 2.2.1)

Таблица 2.2.1

№п/п	место взятия, номер шлиха	масса промытой породы, кг	общая масса шлиха, г	крупный класс, г	мелкий класс, г	мелкий класс, г	навеска для анализа, г	сильно магнитная фракция, г	Слабомагнитная фракция							Тяжелая немагнитная фракция					Примечания	
									масса фракции, г	Состав, %						масса фракции, г	Состав, %					
										ильменит	турмалин	вольфрамит	монацит	сфен	актинолит		касситерит	шеслит	циркон	золото		апатит
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Разделение на ситах

Шлих, содержащий минеральные зерна различной крупности, перед анализом должен быть рассеян на ситах, так как неравномерно зернистый материал не дает полного разделения минералов магнитом, электромагнитом и тяжелыми жидкостями. Кроме того, ситовой анализ позволяет определить процентное соотношение минералов в классах различной крупности. Если количество шлиха велико, для анализа приходится отбирать среднюю пробу. Процесс отбора средней пробы необходимо проводить после рассеивания, так как не исключена возможность, что не рассеянная предварительно проба может содержать зерна различной крупности и значительно отличаться от среднего состава всего шлиха.

Рассеивание обычно производят с помощью набора стандартных сит. Отношение размеров отверстий смежных сит является модулем шкалы набора стандартных сит. По шкале Тейлора используют сита с модулем $\sqrt{2} = 1,4$ от 2,36 мм по 0,104 мм и далее с модулем $\sqrt[4]{2} = 1,189$ от 0,104 мм по 0,043 мм (в США и Англии). В России отверстия сита, начиная с 2,5 по 1,0 мм, имеют модуль $\sqrt[10]{10} \approx 1,26$, а сита с более мелкими отверстиями соответствуют модулю $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$.

При минералогическом анализе обычно пользуются ситами с размером отверстий 2; 1; 0,5 и 0,25 мм. При рассеивании колонку сит составляют таким образом, чтобы верхнее сито было самым крупным, а под ним помещались сита с постепенным уменьшающимся диаметром отверстий. Шлих высыпает в верхнее сито, и колонку сит встряхивают до тех пор, пока не закончится разделение. После этого сита разъединяют, взвешивают классы, оставшиеся на ситах, и каждый класс упаковывают в отдельный пакет, на котором пишут название месторождения, номер образца, класс крупности и массу.

Часто при подготовке шлиха к анализу пользуются только одним ситом с размером отверстий 1 мм. Тогда крупный класс содержит зерна минералов размером более 1 мм. Если шлих рассеивался на нескольких ситах, то имеется несколько крупных классов, например, от 0,25 до 0,5 мм, от 0,5 до 1,0 мм и >1 мм. Крупные классы разделяют магнитом и просматривают под биноклем. Выделенные минералы определяют с помощью паяльной трубки или обычным методом шлихового анализа, применяемым для мелких зерен. Результаты определения также вносят в таблицу.

Отбор средней пробы

Если масса шлиха или мелкого класса после ситового разделения превышает 12-15 г, то для анализа отбирают среднюю пробу. При отборе средней пробы необходимо соблюдать определенные предосторожности для

того, чтобы проба действительно соответствовала среднему составу всего образца. Сокращение пробы до массы, необходимой для анализа, имеет исключительно важное значение, так как исследование неправильно взятой пробы не может дать хороших результатов даже при самом тщательном её анализе.

Наиболее простым методом сокращения проб является метод квартования, не требующий специального оборудования и поэтому наиболее широко распространенный. При квартовании хорошо перемешанную пробу шлиха высыпают через воронку на большое стекло или на лист плотной гладкой бумаги. Образующийся конус шлиха с помощью другого стекла или гладкой деревянной линейки выравнивают в плоский круг одинаковой толщины и делят крестообразно на четыре части. Две противоположные четверти берут для средней пробы, их тщательно перемешивают и квартуют до тех пор, пока не получают пробу нужной массы (рис.2.2.1).

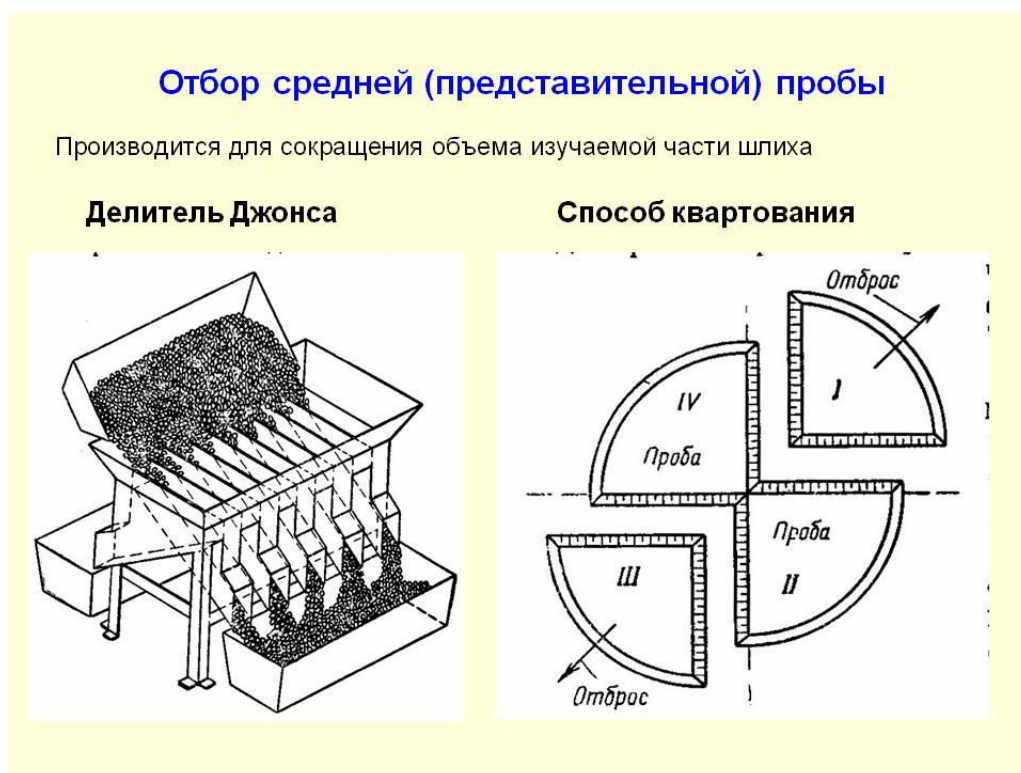


Рис. 2.2.1. Отбор средней пробы

Средняя проба, полученная методом квартования, часто значительно отличается по составу от всего шлиха. Многие исследователи считают, что методом квартования, в случае пробы с большой массой шлиха, но с малой концентрацией ценного минерала, весьма трудно получить надежную среднюю пробу для анализа. Применение специальных приборов для

сокращения пробы позволяет более точно выделить среднюю пробу из большой массы шлиха.

Наиболее часто для сокращения проб применяют делитель Джонса (рис.2.2.1), состоящий из ряда желобков одинакового размера, имеющих наклонные днища и разгружающихся в разные стороны. Изготавливают делители различных размеров. Их используют для разделения, как большого количества шлиха, так и небольших проб массой 2-3г.

Масса средней пробы шлиха, употребляемой для минералогического анализа, зависит в первую очередь от содержания определяемых минералов и от крупности шлиха. Чем меньше в шлихе ценного минерала, тем больше количество шлиха должно подвергаться изучению, иначе может случиться, что при сокращении в конечную пробу не попадет ни одного зерна определяемого минерала, и в результате анализа получится представление о полном отсутствии его в шлихе.

При анализе шлихов навеска для минералогического изучения часто берется без каких-либо теоретических расчетов, на основании практических наблюдений. В работе В.А. Новикова (Новиков, 1970) приводятся теоретические расчеты массы средней пробы, обеспечивающей надежные результаты минералогического анализа. Он считает, что степень сокращения пробы зависит от следующих факторов:

- 1) Содержания определяемого минерала в шлихе;
- 2) Крупности зерен минералов;
- 3) Плотности определяемого минерала;
- 4) Погрешности анализа.

Истинное содержание минерала в шлихе обычно бывает неизвестным и не может точно учитываться при сокращении шлиха. При теоретических расчетах приходится пользоваться предполагаемым содержанием минерала в шлихе. Размеры зерен шлиха определяются просеиванием через сита. Средняя проба шлиха для минерала высокой плотности должна быть больше, чем минерала низкой плотности. Погрешность или допустимая ошибка анализа является величиной заданной. При минералогическом анализе шлихов погрешность сокращения часто является общей ошибкой анализа. Теоретические расчеты показывают, что для шлиха, содержащего ценного минерала 2000г/т, при погрешности анализа 30% и плотности минерала 7 (например, касситерит), средняя проба для анализа может быть вычислена по формуле Ли:

$$q = 35d^3$$

q - масса средней пробы

d – наибольший диаметра зерен шлиха

Масса средней пробы для анализа шлихов различной крупности, вычисленная по формуле Ли, для зерен размером до 0.3 мм = 0.9-1.0г; для фракции с наибольшим размером зерен 0.5мм = 4.4-5.0г; с наибольшим размером зерен 1.0мм = 35.0г. Во всех случаях навеску для анализа меньше 1.0г брать не рекомендуется. При малых количествах ценных минералов в шлихе навеску средней пробы сильно увеличивают.

Массу средней пробы для качественного анализа определяют в зависимости от минерального состава шлиха. Если шлих содержит много магнитных минералов (это устанавливается приблизительно по виду шлиха), для анализа берут среднюю пробу мелкого класса (1.0мм) массой не менее 15-20г. Для шлихов с небольшим количеством магнитных минералов берут среднюю пробу 8-10г. Если в шлихах определяют очень редко встречающийся минерал, то для анализа используют большое количество шлиха (100г и более). Среднюю пробу взвешивают и массу записывают по схеме, данной в таблице.

3. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ

Магнитная сепарация

Каждый минерал, помещенный в магнитное поле, вследствие магнитной индукции намагничивается. Для характеристики магнитных свойств минерала обычно пользуются магнитной восприимчивостью $[\chi]$ (хи), характеризующей интенсивность намагничивания минералов.

Атомы любого тела состоят из положительно заряженного ядра, вокруг которого по орбитали вращаются отрицательно заряженные электроны, создающие вокруг себя магнитные поля. В зависимости от расположения электронных орбит в атоме их магнитные поля могут усиливать, ослаблять или нейтрализовать друг друга. В отсутствии внешнего магнитного поля магнитные поля атомов и молекул обычно скомпенсированы и тело нейтрально. Если такое тело попадет во внешнее магнитное поле, то магнитные поля атомов и молекул ориентируются определенным образом и тело намагничивается.

Объёмная магнитная восприимчивость тела χ_0 характеризующая способность тела намагничиваться, равна отношению интенсивности намагниченности тела I к напряженности внешнего поля H

$$\chi_0 = \frac{I}{H}$$

Удельная магнитная восприимчивость χ тела представляет отношение χ_0 к плотности d тела: $\chi = \frac{\chi_0}{d}$

Все вещества по магнитным свойствам делятся на две группы:

1) Диамагнитные вещества, которые намагничиваются отрицательно и уменьшают напряженность магнитного поля, для них $I < 0$ и $\chi < 0$;

2) Парамагнитные вещества, которые намагничиваются положительно и усиливают напряженность магнитного поля. Для них $I > 0$ и $\chi > 0$.

Легкие минералы обладают постоянной магнитностью. Однако существуют такие минералы, магнитные свойства которых изменяются в широких пределах. К последним относятся группа амфиболов, пироксенов, оливина и подобных им минералов, представляющих изоморфную смесь магнезиальных и железистых силикатов. Причем один и тот же минерал может быть отнесен к фракциям различной магнитности в зависимости от количества железа, входящего в его состав.

Полное разделение с помощью электромагнитной сепарации возможно лишь для минералов, значительно отличающихся по величине магнитной восприимчивости.

Магнитная сепарация минералов производится с помощью постоянных магнитов и электромагнитов различной конструкции. Постоянные магниты изготавливают из ферромагнитных сплавов, обладающих высокой остаточной намагниченностью. Для выделения сильно магнитных минералов очень удобно постоянные магниты РМЧ и Сочнева.

Ручной магнит РМЧ (рис. 3.1) состоит из дюралюминиевого чехла, в котором может перемещаться цилиндр из магнитного сплава СПМ-16 (магнико), укрепленный на стержне. Верхняя часть стержня проходит через отверстие в крышке чехла.

На стержень навинчивается пластмассовая ручка, состоящая из двух частей с внутренней гайкой. Держась за ручку, можно передвигать магнит из нижнего рабочего положения в верхнее – нерабочее, когда он находится на расстоянии 30 мм от днища чехла. Шлих (тяжелую фракцию) тонким слоем распределяют на стекле или листе плотной бумаги и подносят к нему магнит (магнитный цилиндр находится у днища). Магнитные минералы притягиваются к внешней стороне днища чехла. Переносят прибор на другой лист, передвигают магнит в крайнее верхнее положение, магнитные минералы отделяются от магнита и падают на бумагу. Повторяют операцию до полного выделения магнитных минералов.

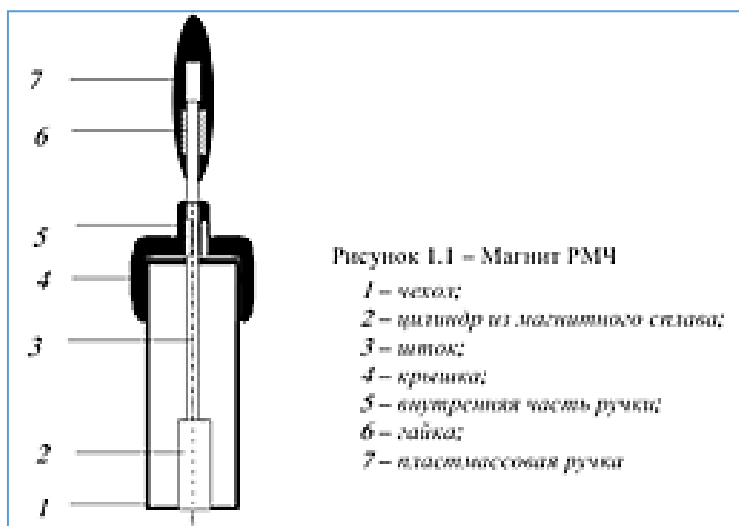


Рис. 3.1. Магнит РМЧ (Бакулина, 2014)

Прибор РМЧ позволяет выделить несколько фракций сильномагнитных минералов с различной магнитной восприимчивостью. Для этого регулируют положение магнита в чехле с помощью пластмассовой ручки и закрепляют его на различном расстоянии от дна.

Если в шлихе имеется много магнитных минералов, то при разделении они могут увлекать с собой также и некоторое количество немагнитных. В этом случае магнитную фракцию обрабатывают магнитом еще раз и немагнитный остаток присоединяют к немагнитной фракции.

Очень удобен для выделения магнитных минералов постоянный многополюсный магнит конструкции А.Я. Сочнева (1948).

Магнит Сочнева (рис. 3.2) имеет четыре рабочих поверхности, позволяющих последовательно отбирать четыре фракции минералов различной магнитной восприимчивости: ферромагнитную (магнетитовую); среднемагнитную (хромит-ильменитовую); слабомагнитную (монацитовую) и немагнитную. Основным его элементом является магнитная колодка, изготовленная из сплава «магнико» и имеющая форму двух параллельных, соединённых перемычкой, пластинок с загнутыми краями. В зазорах между пластинками образуются интенсивные магнитные поля. Внутренняя полость колодки залита расплавленной серой. Вследствие неодинаковой ширины межполюсных зазоров и наличия перемычки между пластинками интенсивность магнитного поля в зазорах получается различной.

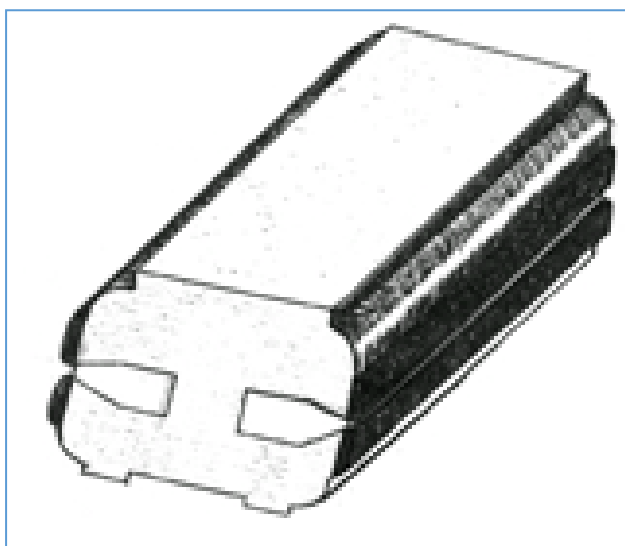


Рис. 3.2. Магнит Сочнева (тип С-5)

Порядок работы с магнитом. Шлих тонким слоем рассыпается на стекло или плотную бумагу. Сначала плоской стороной магнита отбирается ферромагнитная (магнетитовая) фракция. Для облегчения разгрузки зёрен минералов на плоскую сторону магнита накладывается калька. Среднемагнитная фракция отбирается рабочей поверхностью, где зазор между пластинками минимальный, слабомагнитная – противоположной. Разгрузку фракций можно производить при помощи обычной кисточки. Немагнитная фракция остаётся на стекле. При отборе фракций во избежание сгребания материала магнит всё время слегка приподнимается и опускается на стекло (бумагу).

Постоянный многополюсной магнит конструкции А.Я. Сочнева (1948) состоит из деревянной или алюминиевой прямоугольной рамки, заклеенной снизу тонкой целлофановой пленкой, и якоря – магнита, вмонтированного в деревянный или алюминиевый корпус с ручкой. Якорь при помощи выступов свободно передвигается в рамке и легко вынимается из неё. Для отделения магнитных минералов магнитом в рамке слегка касаются шлиха, рассыпанного тонким слоем на стекле или плотной бумаге, магнитные минералы притягиваются к пленке. После этого магнит перемещают на другое стекло, сдвигают якорь в противоположную сторону и вынимают его из рамки. Магнитные минералы осыпаются на стекло. Повторяют обработку до полного выделения магнитных минералов. Для удаления механически захваченных зерен немагнитных минералов перед сбрасыванием магнитной фракции якорь в рамке несколько раз слегка передвигают в горизонтальном

положении, держа магнит высоко над шлихом. Немагнитные минералы при этом осыпаются обратно в шлик.

Для разделения минералов в лабораториях употребляют электромагнитные сепараторы различной конструкции: УЭМ-1Т, МВЭМ, МЭП, СИМ-1, системы Окунева и других.

В современных лабораторных электромагнитах можно регулировать напряженность магнитного поля путем изменения силы тока в обмотках или изменения положения полюсов. Это позволяет последовательно выделять несколько фракций минералов различной магнитной восприимчивости. Некоторые электромагниты снабжены двумя движущимися лентами, позволяющими вести непрерывную сепарацию большого количества шлиха (рис.3.3).

Все минералы по их магнитным свойствам можно разделить на четыре группы:

- 1) Сильномагнитные, притягивающиеся обычным постоянным магнитом;
- 2) Среднемагнитные отделяющиеся электромагнитом при небольшой силе тока;
- 3) Слабомагнитные, отделяющиеся только при большой силе тока;
- 4) Немагнитные.

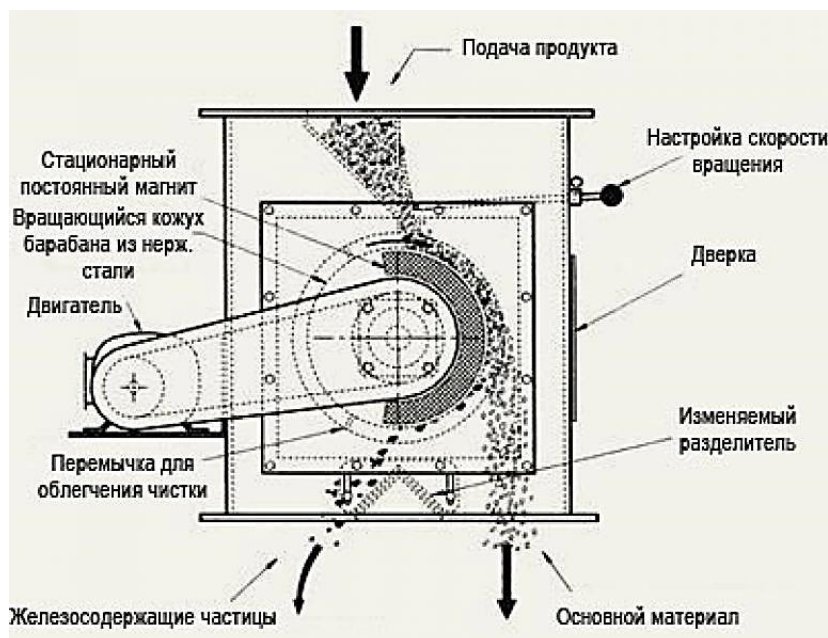


Рис.3.3 Магнитный сепаратор

Крупность зерен шлиха имеет большое значение при магнитном разделении. Слабомагнитные минералы в крупных осколках не притягиваются магнитом незначительной напряженности магнитного поля, в то время как мелкие зёрна притягиваются легко. Однако при разделении

очень мелких шлихов, благодаря силам сцепления, немагнитные минералы увлекаются вместе с магнитными и полного разделения практически добиться невозможно. При величине зерен меньше 0.2мм сепарацию приходится проводить в несколько приемов, т.к. при первом разделении вместе с магнитными минералами увлекаются много немагнитных.

В этом случае чистота разделения может быть повышена, если сепарацию проводить в воде или спирте, так как в жидкости сила сцепления минералов уменьшается, и полнота отделения увеличивается. Для этого шлик погружают в таз с водой и отделение минералов магнитом проводят под водой. Кроме размеров минеральных зерен, на полноту магнитной сепарации оказывает влияние также их форма и форма полюсов электромагнита.

Таблица 3.1. Классификация минералов по магнитным свойствам

Сильномагнитные	Среднемагнитные	Слабомагнитные	Немагнитные
Железо	Амфиболы	Амфиболы	Азурит
Магнетит	(тёмные)	(светлые)	Алмаз
Титано-магнетит	Биотит	Гадолинит	Андалузит
Платина магнитная	Вольфрамит	Гранаты (светлые)	Апатит
	Гематит	Ксенотим	Аурипигмент
	Гранаты (тёмные)	Монацит	Бадделеит
	Ильменит	Ортит	Берилл
	Колумбит-танталит	Пироксены (светлые)	Браунит
	Лимонит	Пироксены (светлые)	Ванадинит
	Пикотит	Пирохлор	Висмутин
	Пироксены (тёмные)	Сфен	Галенит
	Пиролозит	Турмалин (светлый)	Золото
	Псиломелан	Шпинели (светлые)	Иридиосмин
	Самарскит		Касситерит
	Турмалин (тёмный)		Киноварь
	Фергусонит		Корунд
	Хромит		Клиноцоизит
	Эпидот		Кобальтин
	Эшинит		Медь
			Малахит
			Молибденит
			Олово
			Пирит

			Рутил
			Серебро
			Сидерит
			Сфалерит
			Топаз
			Торианит
			Торит
			Флюорит
			Халькопирит
			Халькозин
			Циркон
			Цоизит
			Церрусит
			Шпинель
			Шеелит
			Эвклаз

Полученные магнитные и электромагнитные фракции взвешивают и их массу записывают по схеме в таблице 2.2.1, а неэлектромагнитную фракцию разделяют по плотности с помощью тяжелых жидкостей.

Разделение минералов по плотности

Разделение обычно производят в тяжелых жидкостях, значительно реже в тяжелых сплавах. При отсутствии тяжелых жидкостей и сплавов можно пользоваться отмыванием легких минералов водой на концентрационных столах и других обогатительных приборах.

При погружении в тяжелую жидкость смесей минералов различной плотности минералы, плотность которых меньше плотности жидкости, всплывут на поверхность и образуют легкую фракцию, а минералы, имеющие плотность большую, чем у жидкости, опустятся на дно и составят тяжелую фракцию. Минералы, близкие по плотности к жидкости, будут находиться во взвешенном состоянии.

Быстрота и точность разделения зависят от вязкости употребляемой жидкости, от крупности и формы зерен разделяемой смеси минералов и от разностей плотности минералов и жидкости. Мелкие зерна минералов даже при легкоподвижных жидкостях разделяются с большим трудом и для полноты отделения требуется продолжительное отстаивание или применение

центрифуги. Жидкость, употребляемая для разделения минералов по плотности, должна:

- 1) Обладать достаточно большой плотностью;
- 2) Быть прозрачной и по возможности бесцветной;
- 3) Не вступать в химические реакции с разделяемыми минералами и не разлагаться при работе;
- 4) Легко концентрироваться и разбавляться каким-либо растворителем;
- 5) Быть дешевой и легко приготавливаемой.

Таблица 3.2. Набор тяжёлых жидкостей (по [Бакулина, 2014])

Тяжёлая жидкость	Плотность
Бромформ CHBr_3	2.8
Жидкость Туле $\text{K}_2\text{HgI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.2
Иодистый метилен CHI_2	3.33
Жидкость Сушина-Рорбаха $\text{HgBaI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.45
Жидкость Клеричи $\text{CH}_2(\text{COO})_2\text{Pb} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4.27

Обычно употребляют следующие жидкости в большей или меньшей степени, удовлетворяющих перечисленным требованиям:

Бромформ CHBr_3 – бесцветная легкоподвижная жидкость. Плотность чистого бромформа – 2.9 г/см^3 , технического реактива – $2.65\text{-}2.8 \text{ г/см}^3$. Кристаллизуется при температуре $+8.5^\circ\text{C}$, закипает при температуре $\approx 150^\circ\text{C}$. Растворяется в спирте, эфире, бензоле, ацетоне. При работе с бромформом для промывания выделенных фракций удобнее пользоваться метиловым или этиловым спиртом, т. к. из спиртового раствора бромформ можно легко выделить. Для этого смесь спирта и бромформа взбалтывают с 5-6-ю объёмами воды и полученную молочно-белую эмульсию оставляют в покое на несколько часов. Спирт смешивается с водой, а тяжелый бромформ опускается на дно и может быть отделён с помощью делительной воронки. Бромформ ядовит, и все работы с ним проводят в вытяжном шкафу или в хорошо проветриваемом помещении.

Жидкость Туле (водный раствор двойной соли $\text{K}_2\text{HgI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) – бледно-жёлтая жидкость с плотностью $3.19\text{-}3.20 \text{ г/см}^3$. Жидкость Туле ядовита. Она разрушается в присутствии металлов и сульфидов и поэтому для шлихов, содержащих золото, платину, некоторые сульфиды (пирит, галенит и др.), употребляется с большой осторожностью: допускается быстрое разделение в разбавленной жидкости до плотности $2.8\text{-}2.9 \text{ г/см}^3$.

Четырёхбромистый ацетилен (тетрабромэтан) $C_2H_2Br_4$ – бесцветная или жёлтоватая жидкость с плотностью 2.97-3.0 г/см³, вязкая. Температура замерзания около 0°C, температура кипения около 151°C. Растворяется в эфире, бензоле, ацетоне.

Йодистый метилен CH_2I_2 – жёлтая легкоподвижная жидкость с плотностью 3.33 г/см³. Температура кристаллизации 5°C, температура кипения 180°C. Растворяется в эфире, бензоле, ксилоле, толуоле. Сильно ядовита. Разлагается при действии солнечного цвета.

Жидкость Сушина-Рорбаха (водный раствор двойной соли йодистой ртути и йодистого бария $HgBaI_4 \cdot nH_2O$) – жёлтая жидкость с плотностью 3.5 г/см³. Растворяется в воде и слабых водных растворах йодистого калия. Для получения жидкости меньшей плотности на поверхность концентрированного раствора наливают воду и оставляют в покое до тех пор, пока не закончится диффузия. При неаккуратном разбавлении жидкость быстро разлагается с выделением красной йодистой ртути.

Жидкость Клайна (концентрированный водный раствор борвольфрамата кадмия $2Cd(OH)_2 \cdot 9WO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 16H_2O$) – жёлтая, разлагающаяся на свету, жидкость с плотностью 3.36 г/см³. Легко разбавляется водой.

Жидкость Клеричи (водный раствор двойной соли малоновокислого и муравьинокислого таллия $CH_2(COO)_2Tl_2 \cdot HCOOTl \cdot nH_2O$) – бледно-жёлтая жидкость. При комнатной температуре плотность концентрированного раствора жидкости 4.27 г/см³, при нагревании она увеличивается до 5.0 г/см³. При комнатной температуре жидкость химически инертна. Жидкость Клеричи имеет ряд преимуществ перед другими жидкостями – она обладает большой плотностью, химически достаточно инертна, легко смешивается с водой в любых соотношениях и может быть сконцентрирована простым упариванием на водяной бане.

Наиболее часто при шлиховом анализе пользуются бромформом и жидкостью Туле. Разделение проб в помещении необходимо проводить в вытяжном шкафу.

Химическая посуда, необходимая для работы с тяжёлыми жидкостями:

- колбы, пикнометры;
- воронки;
- фарфоровые чашки различного диаметра
- стеклянные палочки;
- фильтровальная бумага.

Разделение шлихов тяжёлыми жидкостями можно проводить в стаканах, чашечках или в специальных воронках (рис. 3.4).

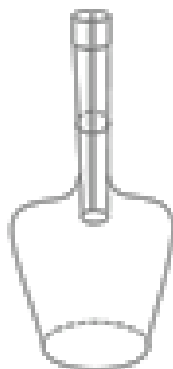


Рис. 3.4. Пикнометр

При работе с последними расходуется меньше тяжелой жидкости. Различными исследователями предложено большое число делительных воронок разных конструкций.

Разделение шлихов тяжелыми жидкостями удобно проводить в воронках с притертой пробкой, на конец воронки надевают резиновую трубку с зажимом. Опыт работы показал, что стеклянные притертые краны воронок при массовом разделении шлихов легко портятся и что значительно удобнее работать с резиновой трубкой и зажимом.

Одновременно проводятся 5-8 разделений. В делительную воронку наливают 10-15 мл бромформа, высыпают шлих и тщательно перемешав, закрывают пробкой и оставляют в покое до тех пор, пока не закончится разделение; то есть все легкие минералы всплывут вверх, а тяжелые опустятся на дно. Когда разделение закончится, открывают притертую пробку и, осторожно открыв зажим, отдельно сливают тяжелую и легкие фракции в воронки с фильтрами. После того как бромформ совершенно стечет, воронки переносят в другие склянки и минералы на фильтрах промывают 2-3 раза спиртом. Часть легкой фракции, оставшуюся в делительной воронке, смывают спиртом и присоединяют к легкой фракции на фильтре. Промытые фракции вместе с фильтром помещают в фарфоровые чашки, высушивают, взвешивают. При отсутствии воронок разделение шлихов можно проводить в обычных фарфоровых чашках или стеклянных стаканах.

Шлих засыпают в фарфоровую чашку, заливают бромформом (объем бромформа в 1.5-2 раза больше объема шлиха), помешивая стеклянной палочкой. Легкие минералы всплывают вверх, а тяжелые опускаются на дно чашки. Через несколько минут основную массу легкой фракции осторожно сливают в воронку с фильтром, помещенную в колбу или в стакан. В чашку

наливают новую порцию бромформа и повторяют сливание до полного отделения лёгкой фракции. После того как бромформ стечёт, лёгкую фракцию промывают спиртом, просушивают, взвешивают, помещают в пакет. Если лёгкая фракция не представляет интереса для изучения, её можно не сохранять. Тяжёлую фракцию промывают 2-3 раза спиртом и высушивают. При работе с тяжёлыми жидкостями следят за тем, чтобы посуда была тщательно высушена, чтобы избежать попадания воды в жидкость (бромформ теряет свои свойства, а жидкость Туле – плотность).

Отфильтрованную жидкость вновь употребляют для разделения шлихов. Смесь бромформа со спиртом разделяют. Водные растворы жидкости Туле концентрируют упариванием на водяной бане. Для полноты разделения тонкозернистых шлихов можно воспользоваться центрифугированием в тяжёлых жидкостях.

Таблица 3.5. (по [Бакулина, 2014])

Плотность тяжёлого раствора, г/см ³	Объём тяжёлой жидкости, мл	Объём воды, мл	Плотность тяжёлого раствора, г/см ³	Объём тяжёлой жидкости, мл	Объём воды, мл
Жидкость Клеричи			Жидкость Туле		
4.1	9.48	0.52	3.1	9.54	0.46
4.0	9.18	0.82	3.0	9.09	0.91
3.9	8.87	1.13	2.8	8.18	1.82
3.8	8.56	1.44	2.6	7.27	2.73
3.7	8.26	1.74	2.4	6.37	3.63
3.6	7.95	2.05	2.2	5.45	4.55
3.5	7.65	2.35			
3.4	7.34	2.66			
3.3	7.04	2.96			
3.2	6.73	3.27			
3.1	6.42	3.58			
3.0	6.12	3.88			
2.9	5.81	4.19			
2.8	5.51	4.49			

Определение плотности. Плотность минералов является постоянной величиной и может быть использована для их точной диагностики. Существует несколько способов определения плотности, но наиболее часто применяются следующие:

- погружение минерала в тяжёлую жидкость;
- определение плотности при помощи бюретки;
- определение плотности при помощи пикнометра.

При наличии достаточного количества жидкости Клеричи (Туле) можно приготовить набор растворов с плотностью, отличающейся на 0.01, разбавляя её водой (табл. 3.5).

Приготовленные растворы сохраняют постоянной свою плотность в течение года и более. Для определения плотности зерна минерала достаточно иметь 0.5-1 мл жидкости. Минерал погружают в жидкость, если он находится на поверхности или утонул, его при помощи препаровальной иглы извлекают, промывают, просушивают на фильтре и помещают в жидкость с другой плотностью. Жидкость подбирается до тех пор, пока минерал не будет находиться в ней во взвешенном состоянии – плотности минерала и жидкости равны. Если имеются две жидкости – концентрированная и растворитель, концентрированную наливают в высокий узкий стакан. Погружают минерал и доливают в стакан с тяжёлой жидкостью растворитель до тех пор, пока минерал не будет находиться во взвешенном состоянии. Получившуюся плотность жидкости можно определить при помощи рефрактометра или набора индикаторов.

Определение плотности при помощи пикнометра.

Пикнометр – маленькая стеклянная колбочка с притёртой пробкой, имеющей капиллярное отверстие (рис. 3.4). Пикнометр взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Затем его наполняют предварительно прокипячённой и охлаждённой водой так, чтобы не оставалось пузырьков воздуха, быстрым движением закрывают пробку, тщательно протирают фильтром. Жгутиком, скрученным из фильтра, удаляют из капилляра воду до метки на его горлышке и снова взвешивают. После этого воду выливают, пикнометр просушивают, помещают в него отобранный минерал и взвешивают.

В пикнометр с минералом осторожно заливают воду до метки (на стенках пикнометра не должно быть пузырьков воздуха) и снова взвешивают. Объём минерала вычисляют по формуле:

$$V = \frac{(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}{d_1}$$

где, P_1 – масса пустого пикнометра;

P_2 – масса пикнометра с водой;

P_3 – масса пикнометра с водой и минералом;

d_1 – плотность воды при температуре взвешивания;

Плотность минерала вычисляют по формуле:

$$D = P = \frac{(P_3 - P_1)d_1}{V(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}$$

Все взвешивания нужно производить при одинаковой температуре. Изменения плотности воды в зависимости от температуры приведены в таблице 3.6. Если количество минерала незначительно, пользуются микропикнометрами.

Таблица 3.6 (по [Бакулина, 2014])

t, °C	Плотность воды, г/см ³	t, °C	Плотность воды, г/см ³	t, °C	Плотность воды, г/см ³
0	0.999868	12	0.999525	24	0.997326
1	0.999927	13	0.999404	25	0.997074
2	0.999968	14	0.999271	26	0.996813
3	0.999992	15	0.999126	27	0.996542
4	1.000000	16	0.998970	28	0.996262
5	0.999992	17	0.998802	29	0.995973
6	0.999968	18	0.998623	30	0.995676
7	0.999929	19	0.998433	31	0.995369
8	0.999876	20	0.998232	32	0.995054
9	0.999809	21	0.998021	33	0.994731
10	0.999728	22	0.997799	34	0.994399
11	0.999632	23	0.997567	35	0.994059

Метод определения плотности при помощи бюретки основан на определении объёма воды, вытесненной минералом, при погружении его в бюретку или мерный сосуд. Для определения потребуется 5-10 г минерала при работе с бюреткой объёмом 10-12 мл или 20-50 г при работе с бюреткой объёмом 25-50 мл. Минерал отбирают из крупной фракции.

В бюретку или мерный сосуд наливают 5-7 мм предварительно прокипячённой и охлаждённой воды и отмечают начальный объём **а**. Взвешивают 5-10 г минерала, отобранного от шлиха, и высыпают осторожно в бюретку. Когда весь минерал осядет на дно, отмечают новое показание бюретки **б**. Объём минерала равен **а - б**. Плотность определяется по формуле:

$$D = \frac{P}{V}$$

где D - плотность минерала;

P - масса минерала;

$V = a \cdot b$ - объём минерала.

Тяжелая фракция после разделения бромформом или жидкостью Туле может содержать много различных минералов, для разделения которых иногда пользуются тяжелыми сплавами.

В качестве тяжелых сплавов употребляют соли, имеющие большую плотность и невысокую температуру плавления. К таким солям относятся: азотнокислое серебро (AgNO_3), температура плавления 198°C , плотность 4.1г/см^3 ; азотнокислая закись ртути (HgNO_3), температура плавления 70°C , плотность 4.1г/см^3 ; хлористый свинец (PbCl_2), температура плавления 498°C , плотность 5.0г/см^3 . Недостатками хлористого свинца являются высокая температура плавления и плохая растворимость в воде.

Все перечисленные сплавы разлагаются в присутствии сульфидов и не могут применяться для разделения шлихов, содержащих пирит, галенит, и др. сернистые минералы. Наиболее отвечающим требованиям шлихового анализа сплавом является азотнокислое серебро.

В промышленности для разделения минералов по плотности иногда употребляют тяжелые водные суспензии галенита, барита или ферросилиция. Плотность тяжелых суспензий достигает 3.50г/см^3 . Разделение производится в воронках специальной конструкции при постоянном помешивании. Полное разделение происходит только при крупных размерах минеральных зерен.

Тяжелые суспензии не пользуются широким применением при шлиховом анализе, главным образом из-за мелкозернистости большинства шлихов. Кроме того, выделенные фракции загрязняются суспендированным минералом, затрудняющим определение их минерального состава.

Для гравитационного разделения минералов А.И. Берлинский (1975) предложил метод магнитно-гидростатической сепарации (МГС-сепарации).

Высокопреломляющие жидкости

Известно очень мало жидкостей, имеющих $n > 1,78$ и пригодных для использования в иммерсионном методе. Показатели преломления до 1.82-1.83 можно получить раствором в йодистом метилена S , SnI_4 SbJ_3 . Мервин получил показатель до 1.868, вводя в раствор, кроме указанных компонентов, еще йодоформ и AsJ_3 .

Фосфорная жидкость - n_D 2.06 – состоит из белого фосфора – 80%, соды – 10% и йодистого метилена – 10%.

Жидкость Мейровитца – раствор оды – 10% в AsBr_3 имеет n_D - 1.81; он разбавляется йодистым метиленом или α – монобромнафталином. Растворяя в трехбромном мышьяке S и As_2S_2 можно получить n_D - 2.02.

Раствор селена и As_2S_2 в AsBr – n_D - 2.11.

Раствор AsJ_3 , соды и As_2S_2 (реальгар в йодистом метилене), n_D - 2.09 и другие.

Иммерсионные сплавы

Кроме жидкостей, в качестве иммерсионных сред могут использоваться и твердые вещества «сплавы», которые после расплавления на предметном столике застывают в виде оптически изотропной прозрачной массы.

Работа со сплавами менее удобна, чем с жидкостями, а достижимая точность на целый порядок ниже ± 0.01 - 0.02 .

Сплав пирадина с йодидами мышьяка и сурьмы - n_D - 1.68, обладает большой дисперсией показателя преломления.

Набор пирадиновых сплавов имеет показатели от 1.80 до 2.05. В настоящее время почти не используется.

Сплавы серы с селеном n = от 2.0 до 2.7. Они густо окрашены и малопрозрачны. Нужны тонкие препараты и сильные источники света.

Сплав селена с селенистым мышьяком. Густо окрашены и прозрачны только для красной части спектра n_{Li} от 2.72 до 3.17.

Смесь галоидных солей таллия n_{Na} от 2.415 до 2.785 прозрачны, как стекло. Но, к сожалению, дороговизна и дефицитность таллиевых препаратов препятствует их широкому применению.

Водные растворы

Если исследуемое вещество поддается действию органических растворителей, жидкости обычного иммерсионного набора оказываются непригодными. Тогда применяются высокопреломляющие водные растворы – жидкость Туле (n до 1.71) и жидкость Сушина-Рорбаха (n до 1.79). Эти жидкости имеются в продаже, но могут быть изготовлены в лаборатории.

Жидкости Туле и Сушина-Рорбаха ядовиты и при продолжительном действии на кожу вызывают долго не заживающие язвы. Показатели преломления разбавленных водой жидкостей вследствие испарения довольно быстро повышаются и нуждаются в частой проверке.

Измерение показателей преломления иммерсионных сред

Точность определения показателей преломления иммерсионным методом составляет примерно 0.001. Поэтому в иммерсионном наборе показатели преломления жидкостей обозначаются с тремя цифрами после запятой. Чтобы последняя цифра была правильной, необходимо показатель

преломления жидкости измерять с несколько большей точностью – примерно до 0.0005.

Диэлектрическая сепарация

Для разделения минералов с помощью этого метода смесь минералов погружают в жидкость, диэлектрическая проницаемость которой выше проницаемости одного из минералов, но ниже диэлектрической проницаемости другого минерала. Сепарация проводится в специальном приборе ДСК (Берлинский, 1975) в жидком диэлектрике, обладающем низкой электропроводностью. В жидкость погружены специальные электроды, соединенные с источником переменного тока. При этом минералы с диэлектрической проницаемостью, более высокой, чем у жидкости, притягиваются к электродам, а с более низкой отталкиваются от них.

Диэлектрическая проницаемость минералов-диэлектриков изменяется от 3 до 20. В качестве жидких диэлектриков употребляют смеси четыреххлористого углерода и метилового спирта (224 и 33.7) или керосина (2.00) и нитробензола (37.9). Иногда при подготовке минералов россыпей к анализу применяют и другие методы разделения.

Флотационный метод сепарации

Этот метод основан на различной смачиваемости поверхности частиц минералов водой. В воде, содержащей пузырьки воздуха, плохо смачиваемые минералы прилипают к пузырькам и всплывают с ними на поверхность, образуя пену, а хорошо смачиваемые минералы тонут.

Флотационным методом разделяются лишь тонкозернистые шлихи, крупность которых измеряется от 0.01 до 0.2-0.3мм. Смачиваемость поверхности минералов можно изменять с помощью специальных флотационных реагентов.

Флотационные свойства минералов часто зависят от условий образования, минерального состава шлихов и других причин. В связи с изложенными причинами флотацию нельзя рекомендовать в качестве массового метода разделения минералов россыпей.

Некоторые минералы иногда можно отделять по форме зерен, различию в коэффициенте трения и зарядке при трении. Разделение производят на наклонной качающейся поверхности. На сепараторе трения СТ возможно разделить пирит и арсенопирит, барит и циркон, турмалин и эпидот, и некоторые другие смеси минералов.

3.1. Изучение минералов фракций

В результате предварительной обработки шлих разделяется на несколько фракций, возможный минеральный состав которых приводится в таблицах диагностических признаков минералов в шлихах. Каждую фракцию отдельно просматривают под бинокляром и присутствующие во фракции минералы определяют по внешнему виду, плотности, оптическим и химическим свойствам, пользуясь таблицами.

При отборе зерен минералов под бинокляром очень удобно пользоваться оптическим микросепаратором ГРАН-1, позволяющим отбирать отдельные зерна крупностью от 0.1 до 1.0мм. Изучаемая смесь минералов располагается кольцевой дорожкой на медленно вращающемся диске в поле зрения биноклярного микроскопа МБС-1. Зерна отбирают при помощи стержня, снабженного двумя иглами. Одной иглой зерна перемещают и перевертывают; другая игла имеет в центральной части полый канал, по которому насосом нужное зерно засасывают в приемник.

При этом автоматически подсчитывается число отобранных зерен. Аппарат значительно ускоряет и облегчает процесс отбора минералов.

Большую помощь при определении минералов оказывает сравнение их с коллекцией заведомо известных минералов шлихов.

Такие коллекции удобно хранить в мелких пробирках в специальном ящике. Можно также приготовить специальную коллекцию, укрепив минералы в пихтовом бальзаме или на поверхности проявленной фото пленки.

Для определения минералов часто используют также методы катодной люминесценции, спектрального и рентгенометрического изучения и, определения радиоактивности минералов. Непрозрачные минералы иногда исследуют в отраженном свете. Для определения прозрачных минералов, содержащий церий и другие редкоземельные элементы, применяют спектроскопический окуляр, позволяющий наблюдать характерный спектр поглощения.

Если при изучении шлихов не производят полного минералогического анализа, а определяют лишь один-два минерала, то общая схема анализа сокращается в зависимости от свойств определяемых минералов. Так, при определении только касситерита или шеелита взвешивают и изучают под бинокляром лишь тяжелую фракцию, в котором минерал должен полностью сконцентрироваться при разделении шлиха, при определении вольфрамита – только электромагнитную фракцию.

Количественный метод

Для примерной количественной характеристики, позволяющей судить о соотношении минералов, составляющих шлих, при просмотре под биноклем, кроме качественной диагностики, визуально определяют также примерное процентное содержание минералов в различных фракциях. Результаты определения записывают по схеме, данной в таблице 2.2.1.

Учитывая количественную характеристику шлиха (масса промытой породы, масса шлиха, навески для анализа и выделенных фракций и процентное содержание минерала во фракциях), можно определить примерное содержание минерала в породе. Содержание ценных промышленных минералов в россыпях принято вычислять в г/т или на кубометр (г/м^3) промытой породы.

Точность количественного определения шлиховых минералов зависит, с одной стороны, от правильности отбора шлиховых проб в поле, с другой стороны – от метода лабораторной обработки шлиха. Промывка шлихов, предназначенных для количественного анализа, должна проводиться с особой тщательностью и может поручаться только опытным промывальщикам. Неаккуратная промывка в ковшах или лотках часто приводит к потере редких минералов.

Если в россыпи присутствует незначительное количество тяжелых минералов, необходимо увеличить объем промываемой породы для получения достаточного количества шлиха, т.к. малая масса шлиха отражается на точности анализа и не может полностью охарактеризовать минеральный состав россыпи, как в количественном, так и в качественном отношении.

Примерная количественная характеристика шлиха определяется при изучении шлиха под биноклем. Однако часто ориентировочного количественного подсчета бывает недостаточно для полной характеристики шлиха и приходится прибегать к более точному количественному анализу.

В связи с большой разнородностью свойств исследуемых минералов россыпей и различием целей количественного определения минералов, нельзя рекомендовать универсальные методы количественного анализа концентратов. В одних случаях необходимо провести количественное определение нескольких или всех присутствующих минералов с относительно небольшой точностью, в других – определить содержание одного минерала с максимальной точностью. Метод анализа зависит от целей исследования. В каждом отдельном случае приходится выбирать метод, позволяющий сконцентрировать минерал в какой-либо одной, по возможности мономинеральной фракции. Обычно для количественного

определения минерала шлих рассеивают на ситах, и после соответствующей предварительной обработки из крупных классов минерал отбирают под биноклем и взвешивают, а в малых классах определяют его процентное содержание путем подсчета числа зерен минерала, встречающихся среди 800-1000 зерен фракции.

Существует несколько различных методов проведения количественного минералогического анализа: весовой метод, метод подсчета рудных зерен по полям зрения, подсчеты единичных зерен рудных минералов в шлихе.

Весовой метод дает наиболее точные результаты. Для количественного определения касситерита циркона и др. неэлектромагнитных минералов можно рекомендовать следующую последовательность операций.

1) Шлих взвешивают, рассеивают на ситах с диаметром отверстий 2.0; 1.0 и 0.5 мм и все полученные классы взвешивают.

2) Весь класс +2.0мм просматривают под биноклем. Касситерит отбирают и взвешивают. Масса касситерита в классе +2.0 мм обозначается через А.

3) Из класса 1.0-2.0 мм квартованием отбирают среднюю пробу массой 20г. Обрабатывают ее магнитом, электромагнитом и тяжелой жидкостью. Из неэлектромагнитной фракции касситерит отбирают под биноклем и взвешивают. Масса касситерита во всем классе 1.0-2.0мм равна:

$$Б = \frac{б \times б_1}{20}, \text{ где}$$

б – масса касситерита в средней пробе, г; б₁ – масса класса 1.0-2.0мм, г;

4) Из класса 0.5-1.0мм отбирают пробу массой 10г и обрабатывают ее так же, как и предыдущую. Касситерита во всем классе 0.5-1.0мм равна:

$$В = \frac{в \times в_1}{10}, \text{ где}$$

в – масса касситерита в средней пробе, в₁ – масса касситерита класса 0.5-1.0мм.

5) Из класса 0.5мм квартованием отбирают среднюю пробу 5г, обрабатывают ее магнитом, электромагнитом и тяжелой жидкостью. В тяжелой неэлектромагнитной фракции содержание касситерита определяют подсчетом числа зерен его, встречающихся среди 1000 зерен фракции. Если размеры зерен касситерита и сопровождающих его минералов различны, при подсчете вводят приблизительную поправку.

При вычислении процентного содержания касситерита необходимо учитывать плотность сопровождающих минералов. Для этого число зерен

каждого из присутствующих минералов умножают на плотность и, узнав таким образом массовое соотношения минералов, определяют процентное содержание касситерита в тяжелой фракции.

Масса касситерита в классе – 0.5мм равна:

$$Г = \frac{г \times г_1 \times г_2}{5 \times 100}, \text{ где}$$

г – содержание касситерита в тяжелой фракции, %;

г₁ – масса тяжелой фракции, г;

г₂ – масса класса – 0.5мм, г;

5 – навеска для анализа, г.

б). Общая масса касситерита в шлихе определяется путем суммирования массы его в отдельных классах:

$$W = A + B + B + +Г$$

Некоторые разности касситерита, содержащие железо, электромагнитны.

При наличии электромагнитного касситерита общий ход количественного анализа усложняется. В этом случае приходится отбирать касситерит из электромагнитной фракции.

При подсчете зерен касситерита можно пользоваться обработкой всего шлиха соляной кислотой на цинковой пластинке, но при этом нужно помнить, что кроме касситерита, металлическим налетом на цинке покрываются англезит, вульфенит, церуссит и бисмутит.

Пример 1) Расчет результата анализа весовым методом.

Вес шлиха – 20.00г

Вес навески для анализа – 4.00г

Вес тяжелой фракции – 0.1г

Вес касситерита – 0.02м³

1) Вес касситерита в шлихе

0.005г – 4.00г (навеска)

X₁ – 20.00г (шлиха)

$$X_1 = \frac{0.005 \times 20.0}{4.0} = 0,025 \text{ касситерита в шлихе}$$

2) Вес касситерита в 1м³ породы

0.25г в шлихе, промытом из 0.02 м³ пробы

0.02м³ – 0.025г касситерит

1м³ – x₂

$$X_2 = \frac{1 \times 0.025}{0.02} = 1.25 \text{ г касситерита в } 1 \text{ м}^3 \text{ породы}$$

3) Вес касситерита в 1т породы

1м³ породы песчано-глинистого состава весит 2.5т

1.25г касситерита содержится в 2.5т породы

1.25г – 2.5т

$X_3 - 1\text{т}$

$$X_3 = \frac{1.5 \times 1}{2.5} = 0.5 \text{ г касситерита в } 1 \text{ т породы}$$

Содержание касситерита = $1.2 \text{ г/м}^3 = 0.5 \text{ г/т}$

Пример 2) Метод подсчета по полям зрения

1) Вычисляют процентное содержание минерала в шлихе, приравнивая среднее общее число зерен в поле зрения к 100%

59 зерен – 100%

10 зерен касситерита – x_1

$$X_1 = \frac{10 \times 100}{59} = 16.9\% \text{ касситерита в тяжелой фракции}$$

2) Полученное процентное содержание переводят в весовые единицы

Вес тяжелой фракции = 0.1г

0.1г – 100%

$X_2 - 16.9\%$

$$X_2 = \frac{0.1 \times 16.9}{100} = 0.0169 \text{ г касситерита в тяжелой фракции и соответственно в}$$

навеске для анализа.

Подобный расчет допускает две существенные ошибки, благодаря чему получаемые результаты расчета не отличаются большой точностью.

1) Заранее принимается, что удельные веса всех минералов, входящих в состав тяжелой фракции, равны между собой, что на самом деле не так.

2) Не учитывается также разница в размере разных зерен минералов тяжелой фракции.

А.А. Кухаренко предлагает объемно-весовой метод количественного минералогического анализа шлихов и концентратов. Сущность этого метода заключается в подсчете под бинокулярным микроскопом определенного числа зерен лишь при наличии в шлихе одного ценного тяжелого минерала, присутствие других тяжелых минералов понижает точность определения. Однако даже при содержании нескольких тяжелых минералов быстрое определение плотности дает предварительные указания наиболее интересных образцов для точного анализа. Определение плотности производится в бюретке объемом 10 – 15 мл.

Подсчеты единичных зерен минералов

Если минерал присутствует в шлихе в очень небольшом количестве, то его содержание выражают в числе зерен. Для определения общего числа

зерен рудного минерала всю тяжелую фракцию рассыпают тонкой равномерной полосой на стекле и тщательно просматривают под биноклем, подсчитывая число зерен определяемого минерала.

Метод стандартного числа зерен. Как и в случае полуколичественного анализа, берут определенное количество зерен (100-300 – 500-1000) из средней пробы, отбор которой следует проводить тщательно. Рекомендуется дорожку исследуемой фракции шлиха разделить вначале на две (сократить шлих) путем отделения кисточкой (или шаблоном) вверх и вниз части дорожки через определенные отрезки. Затем отдельную часть (верхнюю или нижнюю) делить еще раз, и так до получения достаточно усредненной пробы. Для отбора средней пробы можно использовать микроделитель Джонса.

Из дорожки полученной средней пробы отсчитывают нужное количество зерен (100-1000), а из них – число зерен нужного ценного минерала или число зерен каждого минерала, попавшего в эту микропробу. Затем число зерен ценного (или каждого) минерала умножают на его плотность, получают сумму весовых соотношений зерен, принимаемую за 100%, откуда определяют процентное содержание нужного минерала (или всех) во фракции. От процентного содержания переходят к весовому в одном, а при полном расसेве – в каждом классе крупности. Общий вес одного или всех минералов определяется путем суммирования их веса в отдельных классах.

Например, в дорожке из 1000 зерен присутствуют: 130 зерен монацита, 300 – циркона, 275 – рутила, 240 – сфена, 100 – апатита, 55 – дистена. Для большей точности следует учитывать плотность минералов, входящих в состав дорожки стандартного числа. Итак, относительный суммарный вес дорожки из 1000 зерен

$$W = (130 \times 5.5) + (300 \times 4.7) + (275 \times 4.25) + \\ + (240 \times 3.5) + (100 \times 3.23) + (55 \times 3.6) = 4654.75.$$

Затем определяют процентное содержание одного или всех минералов, принимая относительный суммарный вес за 100%. Так, процентное содержание монацита

$$r = \frac{715 \times 100}{4654.75} = 15.36 \%$$

Весовое содержание монацита во фракции

$$v = \frac{\text{Общий вес фракции} \times 15.36}{100}$$

Промышленная ценность россыпи всегда характеризуется каким-то максимумом и минимумом содержания, которые не остаются постоянными и

зависят от целого ряда факторов: мощности пласта, характера и ценности компонента, глубины россыпи, способа добычи и др. Та, для золота одного из регионов минимум промышленного содержания при дражных работах 90-180 мг/м³, гидравлических 70-290 мг/м³, старательской добыче 8000 мг/м³.

Россыпь можно считать промышленной при следующих средних содержаниях минералов: в г/т – циркон 200-400, сфен 500, шеелит 500, монацит 100-200; в г/м³ – касситерит 200-2000, вольфрамит 400, среднее содержание колумбита в промышленных россыпях Нигерии – 770; в кг/т – ильменит 20-50, рутил 5-10; десятки знаков на тяжелую фракцию – золото.

3.2. Другие методы диагностики минералов

Люминесцентные методы диагностики минералов

Люминесценция – это свойство вещества излучать свет, связанное с любым видом воздействия на него, исключая раскаливание. Энергия вначале поглощается, а затем высвобождается в виде света. Люминесценция минералов связана с дефектами кристаллической структуры либо с присутствием примесных ионов, активаторов, замещающих в кристаллической структуре крупные ионы, но может быть также и неотъемлемым свойством кристаллической решетки минералов.

Из четырех видов люминесценции минералов – флюоресценции, фосфоресценции, термолюминесценции и триболюминесценции – наиболее распространенный является флюоресценция.

Флюоресценция. Термин этот происходит от названия минерала флюорит (CaF₂), который обладает флюоресценцией в ультрафиолетовом свете, связанной с замещением в кристаллической структуре ионов Ca²⁺ ионами редкоземельных элементов. Свойство флюоресценции используется при поисках и обогащении руд. Бесцветный шеелит – CaWO₄ и кварц, выглядящие одинаково в обычном свете, поразительно различаются в темноте при облучении их портативным источником ультрафиолетового света. Цвет флюоресценции некоторых минералов характерен лишь для определенных местностей. Таков, например, виллемит Zn₂SiO₄ из крупного месторождения цинка Франклин (штат Нью-Джерси), флюоресцирующий зеленым цветом, благодаря частичному замещению Zn²⁺ на Mn²⁺; чистый же виллемит не флюоресцирует.

Современные исследования люминесценции ведутся в связи с использованием этого свойства в светодиодах, в лазерах (на кристаллах или стекле) и в качестве фосфоров для покрытия экранов цветных телевизоров. Если большинство физических свойств минералов зависят от их кристаллической структуры в основном энергетическом состоянии, то люминесцентные свойства определяются структурой в возбужденном состоянии. Так, при переходе электрона на более высокую орбиталь

увеличиваются эффективный радиус возбужденного иона и длина его химических связей с соседними ионами.

Так же, как и для окраски минералов длина связей, координационное число и величина кристаллического поля влияют и на длину волны и ширину полосы спектра люминесценции. Так, фосфор Mn^{2+} в тетраэдрической позиции флюоресцирует зеленым цветом, а в октаэдрической – красным. Интенсивность люминесценции в минералах может быть увеличена с помощью ионов – сенсibilизаторов (Mn и др.), при этом энергия возбуждения переходит через кристаллическую структуру от сенсibilизатора (поглотитель энергии) к активатору (испускатель энергии). Напротив, люминесценция может быть погашена путем переноса энергии к таким ионам, как Fe^{2+} или Ni^{2+} , которым присущи безизлучательные переходы в основное энергетическое состояние.

Фосфоресценция отличается от люминесценции тем, что излучение света продолжается в течение некоторого времени после удаления источника возбуждения. Фосфоресценция сфалерита ZnS вызывается воздействием α -частиц или ультрафиолетового света.

Термолюминесценция – явление испускания кристаллическими и аморфными веществами света в ближней ультрафиолетовой и видимой части спектра при нагревании до T 400-500°C. Эти вещества можно рассматривать как полупроводники, в которых валентные (внешняя оболочка) электроны некоторых атомов, расположенных близко к дефектам, находятся в метастабильном состоянии с энергией, большей нормального значения (возбужденное состояние).

Хотя считается, что часто термолюминесценция в минералах вызывается ионизирующим излучением от небольших количеств радиоактивных элементов (уран, торий, К-40), находящихся внутри или рядом с термолюминесцентными минералами, многие явления, подобные термолюминесценции, вызываются излучениями, не связанными с радиоактивностью. Такого типа термолюминесценция (не связанная с излучением) происходит вследствие полиморфных переходов (арагонит-кальцит), разложения при нагревании (моноклинный пирротин переходит в гексагональный с потерей серы), снятия в процессе отжига напряжений в кристаллах, которые подверглись физической деформации и были разрушены сильным ударом, а также гидростатическим или направленным давлением. Это давление метастабильного перехода типа порядок-беспорядок в кристаллической структуре, происходящего при увеличении температуры образования или термальном метаморфизме. Однако следует иметь в виду, что не все полиморфные переходы вызывают термолюминесценцию, а некоторые даже уменьшают ее.

Основными породообразующими минералами, обладающими термолюминесцентными свойствами, являются кварц, кальцит, доломит, полевые шпаты. В случае частичного или полного изоморфизма степень термолюминесценции зависит от химического состава. Однако во многих термолюминесцентных минералах количество и тип рассеянных элементов (за исключением радиоактивных) имеют более сильное влияние на уровень излучения, чем общий химический состав. Например, в карбонатах некоторые рассеянные элементы, особенно Mg и Pb, стимулируют термолюминесценцию, с Fe, Ni, Co, подавляют или уменьшают ее. Триболлюминесценция представляет собой явление, при котором излучение света вызывается растиранием или дроблением материала. Как искусственный, так и природный сфалерит ZnS проявляет триболлюминесценцию.

Люминесцентные методы используют как диагностические, но чаще их применяют для проверки и качественной оценки содержания минералов, которые уже были установлены при просмотре проб под биноклем и при минералогическом исследовании шлихов и рудных концентратов. Несмотря на то, что люминесцентный анализ является очень простым и удобным методом определения и количественной оценки минералов, он имеет ограниченное применение. Вызвано это в известной степени тем, что очень многие минералы обладают одинаковым свечением, хотя их химический состав совершенно различен. Возможен и такой случай, когда один и тот же минерал из различных месторождений имеет разное как по силе, так и по цвету свечение.

При изучении шлихов и рудных концентратов чаще прибегают к методу катодной люминесценции, при помощи которой открывают шеелит, апатит, флюорит, циркон, алмаз, повеллит, кальцит, волластонит и некоторые другие минералы.

Аппарат для катодной люминесценции состоит из катодной трубки, высоковольтного трансформатора, подающего высокое напряжение на электроды катодной трубки и вакуумного насоса с мотором. Изучаемый объект помещается в катодную трубку и облучается там катодными лучами, образующимися в результате излучения электронов одним из электродов катодной трубки, при высоком разрежении, получаемом с помощью вакуумного насоса. Скорость электронов зависит от степени разрежения воздуха внутри трубки. С увеличением вакуума усиливается катодное излучение.

Катодная трубка системы Г.Ф. Комовского (рис. 3.2.1) дает возможность наблюдать люминесценцию минералов через плоско-параллельное стекло, над которым можно устанавливать любые увеличительные приборы (бинокль или микроскоп).

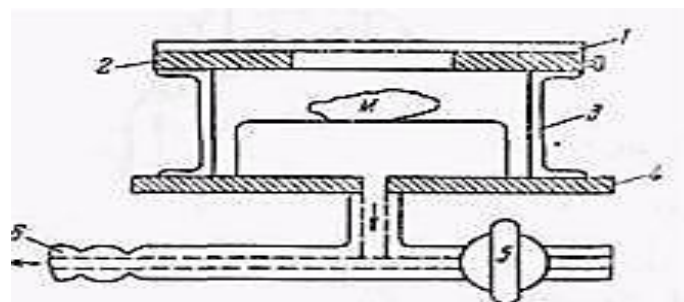


Рис. 30. Схема катодной трубки конструкции Г. Ф. Комовского

1—плоско-параллельный стеклянный диск; 2—алюминиевая шайба; 3—металлический цилиндр с притертыми бортами; 4—латунная отшлифованная подставка; 5—кран; 6—трубка, соединяющаяся с масляным насосом; М—исследуемый минерал

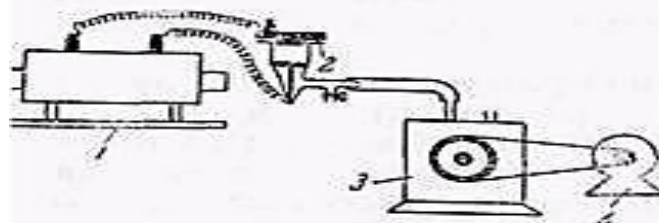


Рис. 31. Схема катодной установки с трубкой конструкции М. Г. Богословского

1—источник тока высокого напряжения; 2—трубка конструкции Богословского; 3—масляный насос; 4—мотор

Рис. 3.2.1 Схема катодной трубки (Костерин, 1974)

Катодная рубка состоит из стеклянного или металлического цилиндра с притертыми хорошо отполированными бортами (см. рис.3.2.1). К верхней части цилиндра приклеивается при помощи плицеина или менделеевской замазки алюминиевая шайба, которая имеет посередине отверстие 25-30мм и служит катодом. Сверху к шайбе приклеивается той же замазкой плоско-параллельный диск. Стеклянный цилиндр с катодом ставится нижней частью на хорошо отшлифованную латунную подставку, которая имеет сообщение с вакуумным насосом. Внутри цилиндра помещается на соответствующей подставке исследуемый шлик в часовом стеклышке с зачерненным дном. Подставка со шликом не должна закрывать отверстие в латунной подставке, через которое происходит откачка воздуха насосом. Нижний борт цилиндра смазывается специальной смазкой (крановая мазь), или под борт подкладывается резина для получения герметичности. Алюминиевая шайба соединяется с катодом источника высокого напряжения, латунная подставка — с анодом или землей.

В качестве источника ультрафиолетовых лучей в последнее время используют осветитель ОИ-18 с фильтром УВС-3. Можно пользоваться и другими приборами — люминесцентным стереоскопическим микроскопом

ЛЮСАМ-Р1, прибором «ШЕЕЛИТ-2» и др. Для катодного и рентгеновского люминесцентных анализов применяют катодные (УКЛ-1) и рентгеновские приборы различных конструкций. Разборная катодная трубка конструкции М.Г.Богословского так же имеет широкое применение и не сложна по конструкции, используется наряду с каждой трубкой системы Г.Ф.Комовского.

Люминесцентный количественный анализ, основанный на использовании катодной люминисценции минералов, был предложен и разработан Е.Г. Разумной для шеелитовых руд и продуктов их обогащения. Этот метод требует, чтобы определяемый минерал выделялся цветом или интенсивностью люминисценции в исследуемом шлихе или рудном концентрате. Для определения содержания светящегося минерала в препарате используются статистические методы подсчета: метод константного препарата Разумной, точечный метод и метод полей Глаголева.

В крупных классах подсчета зерен светящегося минерала производят путем наблюдения невооруженным глазом или под биноклем, в мелких классах (с крупностью зерен меньше 0.1мм) – с помощью катодного микроскопа Комовского.

Метод константного препарата применяют для анализа однородных по крупности классов, то есть при условии предварительной классификации исследуемой пробы по крупности на определенное число классов.

Для каждого класса в препарате с площадью 20×20 мм определяют постоянное число зерен. Делают это следующим образом. На предметное стекло наносят тончайший слой глицерина, и стекло со слоем глицерина прикладывают к ровной горизонтальной поверхности пробы (класса). Материал пробы прилипает к стеклу равномерно и в один слой. При этом на определенной площади стекла располагается более или менее постоянное число зерен. Для определения постоянного числа зерен одинаковой крупности подсчет производят в нескольких препаратах из каждого класса и затем берут среднее из полученных результатов подсчета. Таким образом, может быть получена шкала постоянных чисел зерен на площади препарата 20×20 мм для различных по крупности классов одинаковых шлихов и рудных концентратов. При таком подсчете нет необходимости каждый раз считать общее число зерен в препарате. Зная общее число зерен в препарате, подсчитывают число зерен определённого минерала, а зная то и другое, можно определить объёмное содержание последнего в классе.

Таблица 3.2.1. Люминесцирующие минералы

Минерал	Люминесценция			% люминесценции минералов
	Ультрафиолетовые лучи	Катодные лучи	Рентгеновские лучи	
Апатит	Розовая, красная, фиолетовая	Желтая, голубая	Желтая, голубая, зеленая	90%

		фиолетовая		
Барит	Розовая, желтая, белая	Фиолетовая, белая	Зеленая	80%
Берилл	Фиолетовая	Голубая	Желтая	50%
Волластонит	Голубая	желтая	-	50%
Кальцит	Красная, желтая	Красная	Красная	100%
Кварц	-	Синяя, розовая	-	60%
Кианит	Слабая красная	Красная	-	45%
Корунд	Красная, голубая	Красная, желтая, голубая	-	70%
Магнезит	Белая, голубая, красная	Голубая, красная	-	40%
Полевые шпаты	Различные цвета	Различные цвета	-	-
Родонит	-	Красная	-	-
Сфен	-	Голубая	-	50%
Топаз	Желтая, зеленая, красная	Красная, голубая, синяя	-	18%
Флюорит	Фиолетовая	Фиолетовая, голубая, зеленая	Зеленая	100%
Циркон	Желтая	Желтая, голубая	Зеленая, желтая	99%
Шеелит	Бледная, оранжевая, желтая, голубая	Голубая	Голубая	100%
Шпинель	Красная	Красная	-	30%

Точечный метод применяют при анализе препаратов, приготовленных из тонкоизмельченного материала (с крупностью зерен меньше 0.1мм). Для такого препарата путем тщательного последовательного сокращения отбирают пробу весом 1-2г, которую насыпают в специальную плоскую чашечку и сверху разравнивают. Препарат помещают в катодную ячейку, установленную на столике микроскопа в салазки пуш-интегратора (прибор для количественного определения минерального состава руд и минералов с использованием микроскопа). Основан на учете количества точек (точка — центр креста нитей в окуляре), попавших на тот или иной минерал (n) при равномерном (регламентированном) перемещении шлифа.

При включении ячейки в цепь определяемый минерал светится яркими точками на сплошном темном фоне несветящихся минералов. При этом точки, попадающие на темные промежутки между светящимися зернами, отмечаются на другом клавише. Точечный метод применяют при анализе проб с высоким содержанием полезного минерала. Для анализа бедных концентратов (с содержанием полезного минерала до 5%) он недостаточно

чувствителен и точек вследствие того, что в подсчет попадает небольшое число зерен полезного минерала. Для проб с малым содержанием полезного минерала Разумная предлагает метод полей Глаголева.

В отдельных случаях для диагностики или изучения минералов шлихов и рудных концентратов, применяют рентгеноструктурный спектральный и гониометрический методы.

Наиболее широко применяется спектральный анализ, при помощи которого можно быстро определить качественный химический состав исследуемого минерала или шлиховой пробы. Он оказывает особенно существенную помощь при исследовании трудно определяемых минералов из группы тантало-ниобатов, содержащих редкие земли, сложных сульфидов и сульфосолей различных минеральных образований зоны окисления, содержащих вторичные минералы молибдена, меди, никеля, свинца, висмута, кобальта и ряда других металлов. Спектральный анализ дает также возможность определять с малой затратой времени наличие редкометалльных примесей в минералах.

Рентгеноспектральный анализ по сравнению со спектральным имеет более ограниченное применение, так как требует более сложной установки и большей затраты времени для получения определенных результатов исследования.

Этот метод также служит для качественного и количественного определения элементов, из которых состоит исследуемое вещество. Его преимущество заключается в чрезвычайно простом строении рентгеновского спектра и в его независимости от условий возбуждения. Он представляет собой ценное дополнение к химическому исследованию, особенно при небольшом количестве исследуемого материала.

Метод паяльной трубки

Этот метод используется для определения в соединении химических элементов. Существует несколько видов минералогического анализа:

Качественный – определяется только качественный (присутствие или отсутствие элемента) состав шлиха без подсчёта процентного содержания минералов.

Сокращённый – определяют один-два минерала. В данном случае и общая схема анализа сокращается и изучается только та фракция, в которой концентрируется полезный минерал (например, при определении золота изучается только немагнитная фракция, при определении вольфрамита – только электромагнитная).

Количественный – определяется примерное процентное содержание минералов в различных фракциях. Учитывая количественную характеристику шлиха (массу промытой породы, массу шлиха и выделенных фракций, процентное содержание минералов во фракциях), можно определить примерное содержание минерала в породе. Содержание ценных промышленных минералов в россыпях принято вычислять в г/т или г/м³ промытой породы.

Рассмотрим несколько элементарных методов качественного анализа.

Большая часть минералов в кислотах не растворяется. Исследование минералов «мокрыми» методами химического анализа обычно требует предварительного плавления вещества или получения раствора, который можно использовать для обычного «мокрого» анализа.



Рис. 3.2.2. Набор паяльной трубки

С помощью паяльной трубки аналитические испытания проводят быстро, с использованием очень небольшого количества минерала. Анализ с помощью паяльной трубки иногда называется «сухим» анализом. Его можно легко проводить прямо в поле.

Простая паяльная трубка представляет собой трубку, согнутую под прямым углом, один конец которого снабжен мундштуком, другой наконечником с маленьким отверстием (рис. 3.2.2.). Если дуть через такую трубку, держа щеки раздутыми, можно направлять постоянный поток воздуха в пламя и изменять его характер. Для проведения анализов необходимо так же следующие реагенты и приспособления: 2 или 3 пластинки древесного угля размером 18 × 3 × 3 см; 5-см кусочек платиновой

проволоки, вмонтированной в стеклянную палочку; примерно по 30г буры, фосфорной соли и карбоната натрия, лучше всего в широкогорлых банках с притертой пробкой; немного цинковой стружки, оловянной фольги, магниевой ленты и оксида меди CuO ; кусочек синего стекла (8см^2); дюжину или более трубочек из тугоплавкого стекла размером 10×1 см, две или три трубочки из мягкого стекла длиной около 15см. В анализе метода паяльной трубки большое значение имеют два процесса: окисление и восстановление. С помощью паяльной трубки можно получить пламя двух типов: в одном из них происходит окисление вещества, в другом - восстановление.

Пламя состоит из трех частей (рис. 3.2.3):

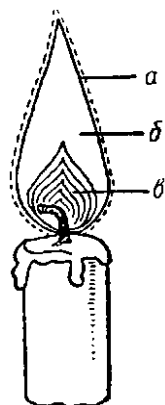


Рис. 3.2.3. Строение пламени свечи

а) Наружный синеватый слой очень мало светящийся, где происходит полное сгорание при избытке кислорода воздуха из паяльной трубки смешанного с газами пламени, и где температура достигает максимума. Это пламя называется окислительным, имеет голубой цвет и светится очень слабо, имеет температуру $600-1000^\circ\text{C}$.

б) Внутренний конус пламени б, ярко светящийся, где происходит неполное сгорание горючих паров, причем остающиеся частицы углерода накаливаются и дают яркий свет. Большое содержание CO обуславливает восстановительный характер этой части пламени. Температура светящегося конуса - $400-600^\circ\text{C}$;

в) Внутренний темный конус в, состоящий из паров парафина (или стеарина), не сгорающих вследствие недостатка кислорода. Температура конуса $\sim 380-350^\circ\text{C}$;

Пламя свечи обладает сравнительно невысокой температурой, и большинство минералов в нем не изменяется. Вдувая через паяльную трубку воздух в пламя свечи, можно увеличить приток кислорода, усилить горение и довести температуру пламени до 1000° .

При работе с паяльной трубкой очень важно научиться дуть непрерывно, нагнетая воздух не легкими, а щеками, которые должны быть надуты. В то время как воздух втягивается через нос, щеки сжимаются наподобие мехов и гонят воздух в трубку. При этом нужно стараться дуть не изо всей силы, а спокойно и равномерно, чтобы получить непрерывную струю воздуха. Наконечник трубки вводят в пламя так, чтобы дуть в направлении загнутой дуги фитиля.

Если при этом дуть, введя конец трубки внутрь светящегося конуса (б) на одну треть его, можно тем самым удлинить конец наружного слоя пламени (а) и получить сильное окислительное пламя.

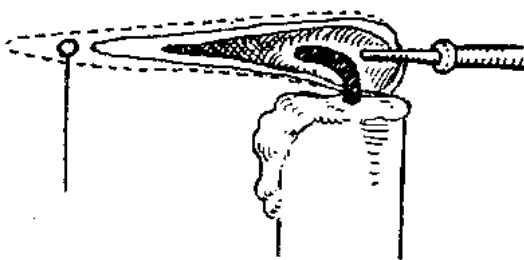


Рис. 3.2.4. Положение перла (сплавленный шарик) в окислительном пламени

При работе с ним минерал или перл (сплавленный шарик) помещается в самом конце этого почти бесцветного пламени (рис. 3.2.4). В этом пламени полезные для анализа операции выполняются в двух позициях. Наиболее горячая часть пламени находится непосредственно перед голубым конусом и называется точкой плавления. Точка с наилучшими условиями для окисления – находится непосредственно перед видимой частью пламени; помещенное в эту точку вещество, нагреваясь, поглощает кислород из воздуха и окисляется.

Если же дуть, едва касаясь трубкой светящегося конуса свечи, то удлиняется восстановительный конус (к), и получается хорошее синее восстановительное пламя.

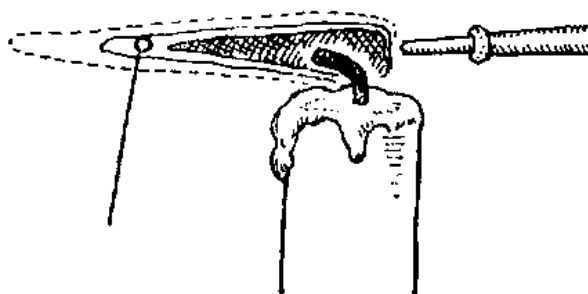


Рис. 3.2.5. Положение перла в восстановительном пламени

Минерал или перл помещается в конце синего восстановительного конуса (рис. 3.2.5), причем очень важно, чтобы он был внутри конца синего

пламени, обмывался им со всех сторон и не выдавался наружу. Если конец синего конуса или часть окислительного пламени получаются с желтыми языками, это значит, что держат конец трубки слишком близко к фитилю свечи, или же он загрязнен парафином и его нужно вытереть бумагой, а также и почистить отверстие трубки проволокой. При нагревании пробы вещества с помощью паяльной трубки необходимо удерживать пробу в определенном положении. Для этого чаще всего применяют платиновую проволоку и древесный уголь. Применение древесного угля объясняется его тугоплавкостью, низкой теплопроводностью и восстановительными свойствами. Углерод, из которого он состоит, легко соединяется с кислородом, который может содержать проба, и тем самым анализируемое вещество восстанавливается; нагреванием в восстановительном пламени на угольной пластинке могут быть восстановлены до металлов многие минералы. Например, галенит может быть восстановлен до металлического свинца.

Для проведения реакции брусок угля выбирают с ровной и гладкой поверхностью. Наиболее удобные размеры бруска 4x4x10 см. На расстоянии 0,5-1,0 см от края с помощью сверла просверливают неглубокую ямку, зерно минерала или смоченный водой порошок минерала помещают в ямку и нагревают его концом окислительного пламени паяльной трубки. Пламя не должно раскалывать уголь на расстоянии впереди пробы. Угольный брусок следует держать под углом 45° к языку пламени, чтобы выделяющиеся летучие окислы могли ложиться на холодную поверхность угля. Нагревание производится постепенно, сначала слабо, потом сильнее, так как налёты одних элементов (As, Sb) образуются при низкой температуре, других (Pb, Bi, Zn, Sn) - при высокой.

Минералы, не обладающие металлическим блеском, предварительно необходимо смешать с тройным объёмом соды.

Таблица 3.2.2. Налёты на угле, типичные для некоторых химических элементов

Химический элемент	Состав налета	Цвет налёта	Положение налёта	Дополнительные свойства
As	As ₂ O ₃	Белый	Ложится далеко от пробы	Очень летучий. Слабый дым и чесночный запах. Окрашивает восстановительное пламя в фиолетовый цвет
Sb	Sb ₂ O ₃	Белый с синеватой	Близко от пробы	Густой белый дым без запаха. Окрашивает восстановительное

		каймай		пламя в бледно-зелёный цвет. После смачивания раствором $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и прокаливания приобретает зелёный цвет
Bi	Bi_2O_3	Жёлтый, оранжево-жёлтый	Близко от пробы	Со смесью KI+S даёт бархатистый красный цвет BiI_2
Pb	PbO	Тёмно-жёлтый в горячем состоянии, желтовато-серый в холодном	Близко от пробы	По краям налета иногда появляется белая кайма. При нагревании с KI+S получается желтовато-зеленый налет PbI_2
Zn	ZnO	Желтоватый в горячем состоянии, желтовато-белый в холодном	Близко от пробы	Сильно светится при накаливании. После смачивания раствором $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и прокаливания в окислительном пламени становится зелёным. Реакция наиболее чувствительна в смеси с содой при обработке восстановительным пламенем
Sn	SnO_2	Бледно-жёлтый в горячем состоянии, белый в холодном	Близко от пробы	Налёт получается в смеси с содой при сильной обработке восстановительным пламенем. После смачивания раствором $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и прокаливания в окислительном пламени становится голубовато-зелёным
S сульфиды	SO_2	Белый	Сильно летуч, не садится	Дым и едкий запах

Следует помнить, что образующийся при сгорании угля серый или красноватый пепел в отличие от налётов не летуч. Для производства реакций необходимо иметь 2-3 зерна испытуемого минерала или одно размером 2-4 мм в поперечнике. При проведении реакции с платиновой проволокой конец ее загибают в небольшое ушко. Чтобы проволока не окрашивала пламени, её предварительно смачивают в крепкой HCl и прокаливают в окислительном пламени паяльной трубки. На часовое стекло наливают разбавленную HCl , смачивают в ней ушко прокалённой платиновой проволоки, затем проволоку опускают в порошок минерала и вводят в пламя паяльной трубки в зону испарения. Испытуемый минерал можно вводить в пламя и в виде зерна

(осколка), зажимая его пинцетом или помещая в ушко платиновой проволоки. Если никакой окраски не наблюдается, пробу переносят в восстановительную зону пламени и хорошо прокаливают, после чего повторяют смачивание HCl и прокаливание (труднолетучие элементы дают окраску пламени только после неоднократного смачивания и прокаливания).

Наблюдение за окрашиванием пламени лучше вести вдали от дневного света, в тёмной комнате или на фоне чёрной бумаги. Фиолетовый цвет пламени К сильно маскируется Na, поэтому при открытии этих элементов рекомендуется применять синее стекло, которое поглощает жёлтый цвет Na.

Диагностика минералов по налётам на угле. Некоторые элементы, входящие в состав минералов, при прокаливании на угле в восстановительном пламени паяльной трубки выделяют летучие окислы, осаждающиеся в виде тонких налётов определённого цвета и вида (форма, запах). По окраске и свойствам налёта можно определить металл, входящий в состав испытуемого минерала (табл. 3.2.2).

Для снижения $T^{\circ}C$ плавления к пробам добавляют определенные вещества, которые называют флюсами. Они очень полезны также в том случае, когда составляющие анализируемого минерала образуют с этими веществами характерно окрашенные соединения. К флюсам относятся: бура, фосфорная соль и карбонат натрия.

Водный борат натрия, бура ($Na_2B_2O_7 \times 10H_2O$) применяется главным образом для восстановления веществ до формы оксидов. По цвету и другим свойствам, которые эти оксиды придают бусинке из буры, можно в определенной степени выявить природу анализируемого вещества. Процесс заключается в выплавлении на конце платиновой проволоки маленькой бусинки буры и введении в нее небольшого количества анализируемого минерала.

Эта бусинка сначала нагревается в восстановительном пламени, при этом отличается цвет, как нагретой бусинки, так и холодной; эти цвета получаются за счет низкоокислородных соединений металла, т.к. при нагревании в восстановительном пламени часть кислорода удаляется и образуется более низкий оксид. Затем бусинка нагревается в окислительном пламени, отмечается цвета горячей и холодной бусинок. Эти цвета зависят от присутствия высших оксидов, которые содержат больше кислорода. Например, после нагревания любой соли Mn в восстановительном пламени бусинка из буры бесцветна, тогда как после нагревания в окислительном пламени цвет той же самой бусинки красновато-фиолетовый.

Таблица 3.2.3. Окраска перлов буры и фосфорной соли в химических элементах

Химический элемент	Перл буры		Перл фосфорной соли		Минерал
	Окислительное пламя	Восстановительное пламя	Окислительное пламя	Восстановительное пламя	
Mn	Красновато-фиолетовое	Бесцветное	Фиолетовое	Бесцветное	Псиломелан
Cr	Желтовато-зелёное	Изумрудно-зелёное	Зелёное	Зелёное	Хромит
Co	Синее	Синее	Синее	Синее	Смальтин
Fe	Бледно-жёлтое	Бутылочно-зелёное	Бесцветное	Бесцветное	
Cu	Голубое, синевато-	Красно-бурое непрозрачное	Голубое	Красно-бурое непрозрачное	Халькопирит
Ni	Красно-бурое	Серое непрозрачное	От жёлтого до красновато-жёлтого	От жёлтого до красновато-жёлтого	Гарниерит
Ti	Бесцветное	Буровато-фиолетовое	Бесцветное	Буровато-фиолетовое, с Fe – кроваво-красное	Рутил
W	Фиолетовый	Зеленый	Бесцветный	Серо-фиолетовый или голубовато-зеленый-	Вольфрамит, шеелит

После нагревания соединений Cu в восстановительном пламени цвет бусинки красный, в окислительном – голубой.

Диагностика минералов по окрашенным перлам с бурой и фосфорной солью. Перл - сплав буры или фосфорной соли, полученный в виде прозрачного стекла в ушке платиновой проволоки. Бура ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$) и фосфорная соль ($\text{NH}_4\text{NaHPO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$) обладают способностью растворять в себе окислы некоторых металлов, окрашиваясь при этом в различные цвета (табл. 3.2.3). По окраске перла определяют химический элемент, в нём растворённый.

Производство реакции: изогнутый в колечко (диаметр ~2 мм) конец платиновой проволоки смачивают водой или нагревают докрасна в пламени паяльной трубки, погружают в порошок буры или фосфорной соли и вносят в окислительное пламя паяльной трубки. Бура (соль) сильно вспучивается благодаря выделению кристаллизационной воды. Нагревание производят до полного удаления воды и образования прозрачного бесцветного шарика стекла - перла буры. Перл должен иметь диаметр около 2 мм, если он

получился меньше, проволоку снова следует погрузить в буру (соль) и сплавить. Если стекло непрозрачное, его нужно сбить молоточком с проволоки и приготовить новый перл. Полученный бесцветный перл смачивают водой или нагревают до жидкого состояния.

Перлом касаются порошка исследуемого минерала и нагревают в окислительном пламени паяльной трубки до получения окрашенного стекла - цветного перла. Для получения перлов в восстановительном пламени перл предварительно расплавляют в окислительном пламени, а затем, не охлаждая его, подвергают действию восстановительного пламени. Испытание на реакцию в восстановительном пламени можно производить и с новым перлом. После каждого опыта с перлом проволоку необходимо тщательно очищать путём повторного изготовления перлов из буры (соли) и стряхиванием их с проволоки. Для перлов наряду с бурой используют фосфорную соль, водный раствор фосфата натрия и аммония. Действие этого флюса аналогично действию буры.

Карбонат натрия при использовании предварительно смешивают с тонкорастертыми оксидами или сульфидами металлов и с угольным порошком. Карбонат натрия служит для восстановления анализируемого вещества до металлического состояния при нагревании на древесном угле.

Основные качественные испытания с помощью паяльной трубки.

Окрашивание пламени (табл. 3.2.4). Вещество удерживается с помощью платиновой проволоки. Некоторые сульфиды и арсениды легко восстанавливаются до металла, который сплавляется с платиной. Поэтому металлы перед нагреванием в контакте с платиной должны быть переведены посредством отжига в состояние, труднее поддающееся восстановлению. Пробу надо держать у голубого кончика пламени и отмечать окрашивание внешней части пламени. Если результата не получается, вещество надо смочить HCl или H₂SO₄. Испытание на окрашивание пламени можно вести, удерживая в пламени пинцетом небольшой осколок вещества.

Таблица 3.2.4. Окрашивание пламени

Цвет	Элемент	Минералы	Примечание
Красный, малиновый	Ca, Sr, Li,	Кальцит или гипс, Стронцианит	Грязно-зеленый через фиолетовое стекло
Изумрудный	Cu	Халькопирит, малахит	С HCl голубое пламя
Голубовато-зеленый	P	Апатит	Только с H ₂ SO ₄
Травяной	B	Бура	Только с H ₂ SO ₄
Желто-зеленый	Ba	Барит	Долго нагревать

Желто-зеленый	Zn	Сфалерит	Долго нагревать
Лазурно-синий	CuCl ₂	Малахит	Соединение с HCl
Лиловый, светло-зеленый	Sb	Арсенопирит	
Светло-голубой	As	Стибнит	
Светло-голубой	Pb	Церуссит	
Лиловый	K	Сильвин	
Желтый	Na	Галит	

Испытание на древесном угле без флюса.

Маленький осколок или порошок анализируемого вещества помещается в небольшое углубление у конца угольной пластинки, находящейся в почти горизонтальном положении. Проба нагревается сильным окислительным пламенем, направленным вдоль пластинки. Цель состоит в том, чтобы летучие оксиды, образовавшиеся во время нагревания пробы, сдувались на более холодную часть пластинки, где могли бы осадиться в виде налета.

Температуру следует поднимать постепенно, прерывая время от времени процесс, чтобы посмотреть, что происходит с пробой.

Если начинается плавление, прокаливание следует вести осторожно. Если остаток черный или окрашен, его можно использовать для испытания с бусинкой из буры.

Во время нагревания нужно отмечать следующее:

1) Изменение условий:

- а) плавление – идет легко (стибнит) или с трудом (каолинит);
- б) потрескивание и раскалывание при прокаливании (сфалерит);
- в) разбухание (бура);
- г) свечение остатка в окислительном пламени (магнезит).

Таблица 3.2.5. Изменение цвета пробы

Первоначальный налет	Цвет после нагревания		Соединения	Минералы
	Горячая проба	Холодная проба		
Голубой или зеленый	Черный	Черный	Соли Cu	Малахит
Красный	Черный	Красный	Fe ₂ O ₃	Гематит
Желтый или коричневый	Черный	Черный	FeCO ₃	Сидерит
Белый или желтый	Желтый	Белый	Соли Sn и Zn	Касситерит, сфалерит

2) Изменение запаха. Запах серы указывает на присутствие сульфида (пирит); чесночный запах на мышьяк (арсенопирит).

3) Изменение цвета (табл. 3.2.5).

4) Цвет налета надо отличать как вблизи, так и в удалении.

Все остатки и налеты белого цвета после полного охлаждения следует смочить раствором нитрата кобальта и сильно нагреть в окислительном пламени.

Таблица 3.2.6. Цвет налета на угле

Вблизи пробы		На расстоянии от пробы		Элемент	Минерал
горячей	холодной	горячей	холодной		
Белый	Белый	Голубовато-белый	Голубовато-белый	Sb	Стибнит Sb_2S_3
Белый	Белый	Серовато-белый	Серовато-белый	As	Реальгар AsS
Желтый	Желтый	Голубовато-белый	Голубовато-белый	Pb	Галенит PbS
Желтый	Белый	Белый	белый	Sn	Касситерит SnO_2
Желтый	Белый	Голубой	Белый	Mo	Молибденит MoS_2

Все остатки и налеты белого цвета после полного охлаждения следует смочить раствором нитрата кобальта и сильно нагреть в окислительном пламени.

Если проба содержит в составе минерала цинк, то появится вблизи от пробы слабый налет в горячем состоянии желтого цвета, в холодном – белого. Смоченный в растворе $Co(NO_3)_2$ и прокаленный вновь в окисленном пламене налет приобретает зеленый цвет.

В случае висмутовых минералов появляется легколетучий оранжево-желтый налет. При сплавлении вместе со смесью (KJ + S) образуется желтый налет с ярко-красной каймой BiI_3 . Если минерал в своем составе содержит теллур, то при нагревании на угольной пластинке появится белый налет вблизи пробы, серый с коричневым оттенком вдали от пробы, летучий; окрашивает восстановительное пламя в бледно-зеленый цвет.

Если в минерале содержится Se, то при нагревании на угольной пластинке вблизи от пробы появится серый и белый (SeO) налет с красноватым оттенком (Se), весьма летуч, окрашивает восстановительное пламя в голубой цвет. Характерный запах гнилой редьки. При содержании в составе минерала Tl появляется на алюминиевой пластинке или слюде налет черного цвета. Очень летуч. Восстановительное пламя окрашивает в ярко-зеленый цвет

Таблица 3.2.7. Цвет остатка при повторном нагревании

Цвет после нагревания	Элементы или соединения	Минералы
Серый	Ca, Ba, Sr	Кальцит, барит, стронцианит
Зеленый	Zn	Сфалерит
Розовый	Mg	Магнезит
Землисто-голубой	Al	Каолинит
Глянцево-синий	Плавкие силикаты, бораты, фосфаты	Бура
Желтовато-зеленый	Некоторые фосфаты и бораты	Апатит
Голубовато-зеленый	Sn	Касситерит
Темно-грязно-зеленый	Sb	Стибнит

Испытания на древесном угле с флюсом.

Берется тонкий порошок анализируемого материала и смешивается с 2-3 объемами карбоната натрия (табл. 3.2.8.). Затем смесь смачивают водой, укладывают в углубление на угольной пластинке, сильно нагревают в восстановительном пламени и отмечают, происходит восстановление металла без образования налета или с его образованием (табл. 3.2.9). Важно отмечать оттенки цвета налётов и интенсивность окраски.

Таблица 3.2.8. Металлические корольки, восстановленные с карбонатом натрия

Корольки	Элемент	Минералы
Блестящий белый металл, ковкий	Sn, Ag	Касситерит, аргентит
Желтый металл, ковкий	Au	Золото
Красные чешуйки или шарик, ковкий	Cu	Малахит, халькопирит
Серый порошок, сильно магнитный	Fe	Лимонит
Серый порошок, слабо магнитный	Co, Ni	Смальтин

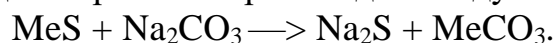
Таблица 3.2.9. Налеты, образующиеся при восстановлении с карбонатом натрия

Королек	Налет	Элемент	Минерал
Белый, ковкий, не оставляет следа на бумаге	Очень слабый	Sn	Касситерит
Белый, ковкий,	Желтый (горячий и	Pb	Галенит, церуссит

оставляет след на бумаге	холодный)		
Белый хрупкий	Белый, возле пробы	Sb	Стибнит
Нет	Желтый (горячий), белый (холодный)	Zn	Сфалерит
Нет	Белый, белый дым, запах чеснока	As	Арсенопирит, реальгар

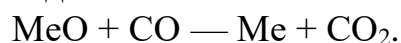
Получение корольков металлов на угле в восстановительном пламени

При получении корольков порошок испытуемого вещества смешивается с содой. При этом происходит следующее:



При дальнейшем нагревании углекислые соединения распадаются:
 $\text{MeCO}_3 \longrightarrow \text{MeO} + \text{CO}_2.$

При действии восстановительного пламени окислы восстанавливаются до свободного металла:



Корольки испытываются на ковкость, хрупкость, магнитность, растворимость в кислотах и т. д. При испытании на растворимость в кислотах металлический корольок лучше всего поместить на часовое стекло, прибавить 1—2 капли азотной кислоты, слегка подогреть и затем прибавить несколько капель воды.

Методы окрашивания минералов

При прогнозировании, разработке и добыче, промышленном извлечении и обогащении, контроле за качеством и лабораторных исследованиях часто возникает проблема экспрессного определения минералов в смеси зерен пород. Визуальная идентификация, если она возможна, имеет преимущества, обусловленные быстротой и низкой стоимостью. Диагностика минералов, основанная на применении разно окрашивающих поверхности красителей, в настоящее время выделилась в отдельную область. Хотя большинство методов окрашивания уже описаны, их применение распространено и не так широко.

Окрашивание минералов используется для экспрессной диагностики минералов, которые не различаются по внешнему виду, и минералов, определение которых трудоемко и требует много времени, а также при изучении структурно-текстурных особенностей пород, отдельных минералов (зональных) и окаменелостей, при изучении диагенеза, парагенезиса и оценки относительного содержания минералов в породе, а также для усиления видимого контраста в осадочных структурах и фотомикроскопии.

К а р б о н а т ы.

Безводные карбонаты очень трудно разделить и определять обычными макро – и микроскопическими методами. Это послужило стимулом для использования различных методов окрашивания. Существует много публикаций, начиная с классической работы Лемберга (1887г.), и до наших дней. Разработаны, по крайней мере, 4 – современных схемы окрашивания.

Схема Хьюго (1945) позволяет определить кальцит, доломит, арагонит, анкерит, сидерит и магнезит при помощи 5 реагентов.

Фридман (1959) предложил две схемы для идентификации арагонита, кальцита, магнезита с гипсом.

- I схема – два реагента: 1) ализарин красный S
2) краситель Файгеля для арагонита.
- II схема – 1) ализарин красный;
2) краситель Файгеля;
3) титан желтый;
4) гематоксилин Харриса;
5) бензидин.

Вторая схема позволяет, кроме диагностики вышеуказанных минералов определять витерит, сидерит, родохрозит, смитсонит и церуссит.

П о л е в ы е ш п а т ы

Первоначально окрашивание полевых шпатов производилось для быстрого разделения калиевых полевых шпатов, плагиоклазов и кварца. Затем эти методы стали развиваться в направлении изучения текстур пород и точного петрографического анализа.

Для диагностики калиевых полевых шпатов наиболее широко использовался метод, впервые предложенный Габриэлем, в 1929г, в который в 1961г. были внесены незначительные изменения Брохом. В результате была получена очень надежная, простая методика окрашивания.

По существу, метод включает легкое травление поверхности окрашивания (открытый шлиф, полированная поверхность образца, зернистый агрегат, или отдельные зерна) плавиковой кислотой. После тщательной промывки в дистиллированной воде и высушивания следует ненадолго поместить образец в концентрированный раствор кобальтинитрата натрия. В результате поверхность калиевого полевого шпата окрашивается в ярко-жёлтый цвет, в то время как плагиоклаз, кварц и апатит остаются полностью неокрашенными (плагиоклаз становится полностью белым и непрозрачным). Вполне очевидно, что окрашиваются не сами минералы, а остатки от травления плавиковой кислотой. С ее помощью с поверхности зерен полевого шпата удаляют кремний в виде летучего фторида, а другие

составные элементы – в виде гелеобразной пленки алюминиевого фторсиликата. В этих условиях оставшийся калий реагирует с кобальтинитратом натрия и образует желтый краситель – кобальтинитрит калия.

В случае необходимости окрашивания плагиоклаза образец после травления плавиковой кислотой и обработки кобальтинитритом натрия погружают в водорастворимый краситель, например, эозин бора или в малахитовую зелень.

Можно использовать метод Бейли и Стивенса (1960), по которому после травления плавиковой кислотой образец погружается в 5%-ный раствор хлорида бария, затем промывается и погружается в насыщенный раствор родизоново-кислого натрия. Плагиоклаз окрашивается в розовый цвет, а после промывки и высушивания становится ярко-красным. Ни один из методов окрашивания плагиоклазов не изменяет желтый цвет калиевых полевых шпатов. Это различие хорошо заметно.

Вполне понятно, что этот метод двойного окрашивания имеет значение для петрографического анализа, исследования текстур, распределения, ассоциации и даже зональности плагиоклаза.

Другой метод окрашивания плагиоклазов, включая альбит, с использованием амаранта, был предложен Норманом в 1974г.

А н о р т о к л а з ы могут окрашиваться амарантом по методу Форда и Дудетта (1968).

Разделение полевых шпатов и кварца основано на интенсивности окраски (максимальная у натриевых полевых шпатов, средняя у кальциевых и совсем слабая у калиевых). Удобные красители – фуксин, метилен, сафранин, малахитовая зелень и эозин.

С у л ь ф а т ы можно разделять, используя красители, которые по-разному воздействуют на гипс и ангидрит. Характерным для гипса является появление окрашенных в ярко-красный, розово-красный, оранжевый и голубовато-зеленый цвет поверхностей при погружении образца в метановые растворы щелочного родамина бора, эозината бария, желтого титана или цианина ализарина зеленого; или подкисленного раствора нитрата двухвалентной ртути, при котором гипс окрашивается в желтый цвет. Ангидрит при этом всегда остается бесцветным.

Б а р и т успешно определяется после покрытия соответствующим реагентом, который затем окрашивается. Образец предварительно кипятят в присутствии избытка карбоната натрия в течение нескольких минут. В результате после промывки образец погружается в теплый раствор хромата калия и барит окрашивается в желтый цвет.

Для окрашивания гидроокислов, особенно боксита и лимонита, Хоскин (1964) предложил использовать раствор малахитовой зелени.

При работе с мелкообломочными и карбонатными породами есть необходимость диагностики карбонатных минералов. Это относится в первую очередь к таким минералам группы кальцита, как кальцит, доломит, магнезит, сидерит и к минералам той же группы, но более сложного состава (анкерит, брейнерит и др.), а также к минералам группы арагонита.

Большинство названных минералов весьма сходны между собой, как по внешнему виду, так и по физическим свойствам. И что особенно важно – оптические константы различных карбонатных минералов близки между собой и зачастую перекрывают друг друга.

В связи с этим при определении карбонатных минералов приходится применять целый комплекс методов: 1) иммерсионный; 2) метод окрашивания; 3) химический анализ; 4) рентгенометрический. Наиболее широко применяемым является иммерсионный метод и метод окрашивания.

Используются реакции окрашивания. Лемберга, Гиджера, Мейгена, Роджерса. Реактивы представляют собой соли сильных кислот и слабых оснований, действующие в растворе как слабые кислоты. Применяют также для окрашивания органические соединения, предложенные Файгелем, Веденеевой, Логвиненко. При использовании солей реакции протекают при нормальной температуре и поэтому применимы как для порошка, так и для шлифов и полировок. Реакции Малера и Мейгена требуют кипячения и поэтому для шлифов не применимы.

Таблица 3.2.10. – Окрашивание глинистых минералов

Реагенты	Монтмориллонит	Каолинит	Гидрослюда	Концентрация и условия определения
Метил – виолет + 5% HCl	Цвет осадка - темно-лиловый. Цвет жидкости - прозрачный, б/ц	Цвет осадка – фиолетовый. Цвет жидкости- прозрачный, синий	Цвет осадка – зеленовато-серый. Цвет жидкости - б/ц	В пробирку с глиной + 2-3 см ³ метил-виолета + 2-3 капли HCl, взбалтывают
Паранитробезодаз орезорцин + 25 мг (1/2 л спирта + 1/2 H ₂ O) + КОН или NaOH	Цвет осадка – серый с фиолетовым оттенком. Цвет жидкости – сиреневый, прозрачный	Цвет осадка - светло-сиреневый. Цвет жидкости – фиолетовый, прозрачный	Цвет осадка – светло-серый. Цвет жидкости – сиреневый, прозрачный	В пробирку с глиной + 2-3 см ³ раствора, взбалтывают
<u>Эозин</u> 1/2 пробирки спирта, 1-2г эозина,	Цвет осадка – оранжевый. Цвет жидкости – оранжевый,	Цвет осадка – светло-розовый. Цвет	Цвет осадка – розовый. Цвет жидкости –	В пробирку с глиной + 2-3 см ³ раствора

растворяют при нагревании + 3мл 25% КОН	прозрачный	жидкости – оранжевый, прозрачный	оранжевый, прозрачный	эозина, взбалтывают
---	------------	----------------------------------	-----------------------	---------------------

Реакции являются достаточно показательными и дают в большинстве случаев однозначный ответ на вопрос, какой это минерал. Есть исключения. Кальцит и арагонит ведут себя одинаково. Это объясняется сходными химическими свойствами и почти одинаковой растворимостью. Поэтому для отличия кальцита от арагонита рекомендуется только одна реакция – Мейгена (кальцит – розовый, арагонит - сиреневый). Магнезит и брайнерит только при реакции Гиджера окрашивается в синий цвет. Сидерит при всех реакциях не окрашивается, так как имеет наименьшую растворимость.

В реакциях с органическими красителями наблюдаются иные явления. Это главным образом явление адсорбции красителей на поверхности частицы минералов. Дифенил – карбазид и эозин окрашивают магнезит и брайнерит.

Метиленовый голубой, применяется для окраски глинистых минералов и окрашивает некоторые карбонаты, но интенсивность окраски невелика (светлые сине-фиолетовые тона). Глинистые минералы тоже можно определять методом окрашивания (таблица 3.2.10).

Карбонатные минералы, которые не всегда легко определяются макроскопически, уверенно диагностируются при использовании метода окрашивания (таблица 3.2.11). Если требуется точная диагностика при изучении карбонатных пород и необходимо полное описание минералов, тогда изучают их физические свойства, используют кристаллооптические методы и простейшие химические реакции с применением соляной кислоты (таблица 3.2.12).

Таблица 3.2.11. – Окрашивание карбонатов

Реактив	Цвет окраски							Условия определения, реакции
	Кальцит <0.001мм	Доломит <0.001мм	Анкерит <0.001мм	Магнезий <0.001мм	Брейнерит т <0.001мм	Сидерит <0.001мм	Арагонит <0.001мм	
10% FeCl ₃ и (NH ₄) ₂ S	Черный	Темно-зеленый	Слегка зеленоватый	Зеленоватый	Зеленоватый	Зеленоватый	Черный	Действие FeCl ₃ в течение 20-25 сек, затем промывают (NH ₄) ₂ S. Потом промыть. Реакция Лемберга
20% K ₃ [Fe(CN) ₆] и 1% HCl	Темно-синий	Бледно-голубой	-	Почти не окрашен	Почти не окрашен	Зеленоватый	Синяя, неравномерная окраска	Сначала смочить раствором K ₃ [Fe(CN) ₆] на 20-30 сек, затем слив реактив, добавить несколько капель HCl (7-8 сек). Хорошо промыть. Реакция Гиджера
10% AgNO ₃ и K ₂ CrOH	Красно-бурый	Слегка окрашен в бурый цвет	Слегка окрашен	Слегка окрашен	Слегка окрашен	Не окрашен	Красно-бурый	В подогретой AgNO ₃ погрузить зерна на 3-4 мин. Промыть, затем действие K ₂ CrOH – несколько секунд. Смыть. Реакция Лемберга
5% Cu(NO ₃) ₂	Ярко-зеленый	Бледно-зеленый	Салатный	Бледно-голубой	Не окрашен	Не окрашен	Ярко-зеленый	Кипятить в растворе в течение 2-3 минут, затем слить, зерна промыть. Реакция Малера
5% Cu(NO ₃) ₂ NH ₄ OH	Сине-голубой	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Сине-голубой	Зерна погружают в раствор Cu(NO ₃) ₂ на 5 часов, затем без промывки обрабатывают NH ₄ OH. Промыв, сушат. Реакция Роджера

Продолжение таблицы 3.2.11

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	Розоватый	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Фиолетовый	Зерна кипятят 5-6 минут в концентрированном растворе. Реакция Мейгона
Органические красители								
Дифенил-карбазид ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NHNH}$) ₂ CO_2	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Сиреневый	Розовый	Темно-серый	Не окрашен	1-2г дифенил-карбазида растворяют в 15г спирта, добавляют 3 мл 25% NaOH или KOH. Кипит 2-3 мин с порошком. Смывают. Реакция Фойгеля и Лейтмейда
Эозин (тетрабромфлюоресцеин) $\text{C}_{20}\text{H}_8\text{O}_5\text{Br}_4$	Не окрашен	Не окрашен	Не окрашен	Ярко-розовый	Бледно-розовый	Серая окраска, темная	Не окрашен	½ пробирки спирта в нем при нагревании растворяют 1-2 г эозина, добавляют 3мл 25% KOH. Кипятят 5 мин. Реакция Логвиненко
Метиленовый голубой	Раствор - бесцветный, осадок – светло-голубой	Раствор - бесцветный, осадок – светло-голубой	Раствор - светло-голубой, осадок – сиреневый	Раствор - светло-голубой, осадок – сиреневый	Раствор – мутно-белый, осадок – светло-голубой	Раствор - бесцветный, осадок – серый	Раствор - светло-голубой, осадок – светло-фиолетовый	В пробирку наливают 2-3см метилена с 2-3см дистиллированной воды. Взбалтывают. Половину отливают, в оставшуюся часть добавляют 2-3 капли KCl. Реакция Веденеевой и Викуловой

Таблица 3.2.12. – Диагностика карбонатных минералов

Минерал	Формула	Удельный вес	Тверд.	Сингония	Показатели преломления	Растворимость в 100 весовых частиц холодной воды	Реакции с HCl
Кальцит	CaCO_3	2.715	3	Тригональная	$n_o = 1.658$ $n_e = 1.486$ $n_o - n_e = 0.172$	0.0014 при 25°C	С холодной HCl бурно вскипает
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2.87	3.5-4	Тригональная	$n_o = 1.679$ $n_e = 1.501$ $n_o - n_e = 0.178$	0.082 при 18°C	С холодной HCl слабо вскипает, или не вскипает. Зерна 0.01-0.001мм реагируют как кальцит
Анкерит	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$	2.99-3.12	3.5	Тригональная	$n_o = 1.698-1,741$ $n_e = 1.513-1,536$ $n_o - n_e = 0.187-0.205$	-	С холодной HCl не вскипает
Магнезит	MgCO_3	2.96	4-4.5	Тригональная	$n_o = 1.700$ $n_e = 1.509$ $n_o - n_e = 0.191$	0.0106	С холодной HCl не вскипает
Брейнерит	$(\text{Mg,Fe})\text{CO}_3$	3.0-3.10	4-4.5	Тригональная	$n_o = 1.707$ $n_e = 1.517$ $n_o - n_e = 0.190$	-	С холодной HCl не вскипает
Сидерит	FeCO_3	3.89	3.5-4.5	Тригональная	$n_o = 1.875$ $n_e = 1.633$ $n_o - n_e = 0.242$	Слабо растворяется	С холодной HCl не вскипает
Арагонит	CaCO_3	2.94	3.5-4	Ромбическая	$n_g = 1.685$ $n_m = 1.681$ $n_p = 1.530$ $n_g - n_p = 0.155$	0.0012 при 20°C	С холодной HCl бурно вскипает

Методы химических исследований

Наряду с оптическими методами в минералогическом анализе широко применяются химические методы. В большинстве случаев химические испытания производятся на отдельных минералах, реже химическими методами исследуется общая масса фракции или пробы. Установление качественного химического состава минерала способствует его определению.

Различаются химические методы с полным разложением минерала и пленочные реакции, при которых на поверхности минерала образуется характерная пленка, способствующая его определению.

Методы с полным разложением минерала разделяются на мокрые и сухие. Принцип анализа мокрым путем состоит в том, что минерал растворяют в кислоте или щелочи и к раствору минерала прибавляют растворы известных веществ для получения реакции на исследуемые элементы. О присутствующих в минерале химических элементах судят по характеру растворения, окраске раствора, выпадению осадка, выделению газовых пузырьков. В случае нерастворимых минералов их сплавляют с плавнями, например, с содой, кислым серноокислым калием или щелочами, а полученные сплавы растворяют в воде или кислотах и открывают те или иные химические элементы в полученных растворах.

Преимущество мокрых реакций заключается в том, что они выполняются на предметном или часовом стекле с очень малым количеством вещества, выражаемым в тысячных долях грамма. В группу сухих реакций входят методы определения минералов с паяльной трубкой: окрашивание пламени, получение окрашенных перлов на платиновой проволочке, налетов и металлических корольков на угле, возгонов на стеклянной трубке. В общем эти методы менее однозначны и чувствительны и требуют значительно большего количества вещества.

Различные способы мокрых реакций зависят от того, какие элементы определяются, в каком количестве имеется испытуемое вещество и при каких условиях происходит наблюдение – простым глазом, под биноклем или под микроскопом. Чаще применяют простейшие качественные химические реакции, во время которых простым глазом или под биноклем наблюдают характер растворения минералов и образование характерных окрашенных растворов и осадков. Значительно реже приходится прибегать к более сложным микрокристаллическим реакциям с получением осадков солей в хорошо образованных кристаллах. При помощи этих реакций определяют под микроскопом: цвет и оптические константы – изотропность и анизотропность, плеохроизм, угасание, показатели преломления, дупреломление и оптический знак, а также размер и форму кристаллов, и характер двойников.

Растворение минералов или их сплавов производят в часовых стеклах или в фарфоровых чашечках. Чтобы наблюдать характер растворения минералов,

чаще применяют концентрированные минеральные кислоты (соляную и азотную) в которых быстрее происходит растворение или разложение минералов. Растворение минералов может происходить спокойно или с выделением газовых пузырьков, т.е. может быть медленным или бурным с шипением или вскипанием. С выделением газовых пузырьков растворяются карбонаты. С шипением растворяются в соляной кислоте кальцит и базобисмутит, мелкие зерна которых при этом быстро двигаются в капле реактива. При растворении минералов наблюдают также характер окраски раствора. Растворы различают бесцветные и окрашенные.

Окрашенные растворы получают при растворении минералов, содержащих красящие элементы (Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Co, V). Кроме того, иногда при растворении минералов выпадают осадки. В этом отношении примером могут служить свинцовые минералы (вulfенит, ванадинит, пироморфит) и медный минерал куприт. Обычно осадки выпадают при взаимодействии кислотных растворов вещества минералов с растворами минеральных солей или при непосредственном прибавлении к первым кристалликов солей. Осадки различают кристаллические и аморфные. Преобладают первые. Кроме того, осадки различают по цвету: белые и окрашенные. Окрашенные осадки и растворы наблюдаются при растворении минералов, содержащих красящие элементы.

Во многих случаях раствор, полученный после растворения минерала или его сплава, требуется отфильтровать по способу Геммеса, который заключается в следующем: на часовое стекло выше уровня жидкости, помещают вчетверо сложенный кусочек фильтровальной бумаги, один конец которой погружают в раствор, и бумага начинает всасывать раствор; устанавливают вертикально к бумаге и плотно прижимают к ней капиллярную трубочку или пипетку, в которую затягивают раствор осторожным вытягиванием из трубочки воздуха при помощи губ. Каплю чистого раствора капилляром переносят на чистое предметное стекло, и к ней прибавляют требуемый реактив для получения кристаллов солей.

Однако отбор мелких зерен минералов из шлиха для химических реакций часто представляют большие трудности. Значительно более удобно пользоваться пленочными реакциями, позволяющими проводить определение минерала без предварительного выделения его из шлиха.

Пленочные реакции

Применение пленочных реакций основано на образовании на поверхности минерала тонкой окрашенной пленки при обработке его определёнными реактивами.

Особенно следует остановиться на методике получения пленочных реакций на минеральных зернах. Пленочные реакции применяют как для определения

отдельных минеральных зерен, так и для количественной оценки содержания тех или иных минералов в шлихах и рудных концентратах. Различные виды пленочных реакций зависят от характера определяемого минерала и употребляемых при этом реактивов. Наиболее часто применяются следующие пленочные реакции:

1) Реакции восстановления при помощи цинковой пластинки или цинковой пыли;

2) Реакции, при которых на зернах образуются окрашенные пленки.

Реакции восстановления. При помощи цинковой пластинки на зернах касситерита и ряда свинцовых минералов из зоны окисления: на зернах касситерита при этом образуется оловянная пленка; на свинцовых минералах, как церуссит, вульфенит, ванадинит и пироморфит – пленка металлического свинца.

Ход реакций следующий. На цинковую пластинку помещают каплю концентрированной соляной кислоты и в эту каплю погружают испытуемое минеральное зерно. Цинк растворяется в соляной кислоте с выделением водорода и образованием раствора хлористого цинка. Освобождающийся водород действует восстанавливающим образом на касситерит и указанные выше минералы свинца, на которых появляется соответствующая металлическая пленка.

При количественной оценке пробы на пластинку высыпают общую массу зерен и заливают соляной кислотой. Покрывшиеся пленкой зерна подсчитывают или отбирают под бинокуляром. В первом случае получают содержание полезного минерала в объемных процентах, а во втором, после взвешивания отобранного материала – в весовых процентах. Выделение зерен полезного минерала обычно производят для классов $>0,5\text{мм}$, а подсчет $<0,5\text{мм}$. Характерные окрашенные пленки получают на минеральных зернах при отработке их кислотами, щелочами и растворами различных солей. В результате действия соляной кислоты при комнатной температуре на минералах свинца (вульфените, пироморфите, чиллагите и др.) образуется белая пленка хлористого свинца. Этой реакцией пользуются как при определении отдельных зерен, помещая их на предметное стекло в каплю соляной кислоты, так и при количественной оценке шлиха или рудного концентрата, помещая пробу на часовом стекле и заливая кислотой.

На антимоните в КОН появляется на холоде характерная оранжевая пленка. При погружении минерала свинца (англезита, церуссита, вульфенита, пироморфита, крокоита и др.) в водный раствор йодистого калия (5%), на нем получается окрашенная пленка. При этом реакция англезита с раствором йодистого калия происходит на холоде с образованием золотисто-желтой пленки двыйодистого свинца. Церуссит, вульфенит, ванадинит и пироморфит подвергают предварительной обработке на холоде серной кислотой (1:1), чтобы

получить на них пленку сульфата свинца: в водном растворе йодистого калия последняя, как и англезит, образует золотисто-желтую пленку двуйодистого свинца. Крокоит является еще более устойчивым минералом; чтобы получить на нем пленку сульфата свинца, его несколько минут кипятят в разведённой серной кислоте (1:10), а затем уже на него действуют раствором йодистого калия.

Для получения подобных же пленок на сульфидах свинца берут насыщенный раствор йодистого калия: при кипячении в этом растворе галенита, буланжерита, а также и металлического свинца на них образуется желтовато-зеленая пленка. При обработке на холоде раствором йодистого калия (5%) в серной кислоте минералы висмута (базобисмутит, бисмит, бисмутит и др.) окрашиваются в черно-бурый цвет с образованием пленки йодистого висмута; последняя обесцвечивается при действии аммиака.

Для определения шеелита шлик, на предметном стекле смачивают соляной кислотой и прибавляют незначительное количество хлористого олова. Шеелит при такой обработке покрывается синей пленкой, отличающей его от других минералов.

Наиболее надежным методом определения танталита и колумбита в шлихах является пленочная реакция, основанная на выделении голубовато-серой пленки, на поверхности тантало-ниобатов при обработке их расплавленным пиросульфатом калия; при последующем кипячении с серноокислым раствором танина голубовато-серая пленка превращается в оранжево-желтую.

Реакция на танталит-колумбит проводится следующим образом. Шлик всыпают в фарфоровый тигель и прибавляют такое количество кристаллического пиросульфата калия, чтобы после его расплавления все зерна шлика свободно плавали в жидкости. Осторожно нагревают тигель на горелке до полного расплавления, чтобы все зерна шлика свободно плавали в жидкости. Осторожно нагревают тигель на горелке до полного расплавления $K_2S_2O_7$. После этого продолжают нагревание еще несколько минут до тех пор, пока расплав не приобретает отчетливое желтое окрашивание вследствие частичного разложения исследуемых минералов. Сплав охлаждают и растворяют в горячей разбавленной H_2SO_4 . Кислоту сливают, несколько раз промывают шлик водой и осторожно высушивают. Танталит-колумбит покрывается голубовато-серой пленкой, отчетливо выделяющейся на черной поверхности этих минералов.

При такой обработке расплавленным пиросульфатом калия ильменит приобретает сероватую побежалость, резко отличающуюся от пленки

Таблица 3.2.13. Плёночные реакции

Минерал	Реактивы	Результат реакции
Восстановление до металла Минералы олова		

Касситерит	Соляная кислота + цинк	Светло-серый металлический налёт - «оловянное зеркало»
Минералы свинца		
Церуссит Англезит Вульфенит Пироморфит Ванадинит	Соляная кислота + цинк	Тёмно-серая, синевато-серая плёнка, которая при нагревании с раствором йодистого калия окрашивается в жёлтый цвет (Pb ₂ I)
Минералы висмута		
Висмутин	Соляная кислота + цинк	Свинцово-серая плёнка, которая при нагревании с раствором йодистого калия чернеет (BiI ₃)
Минералы меди		
Азурит Малахит	Соляная кислота + цинк	Медно-красная плёнка, часто с синевато-чёрной побежалостью
минералы сурьмы		
Антимонит	Соляная кислота + цинк + + платина	Чёрный рыхлый налёт металлической сурьмы
Образование трудно растворимых окрашенных соединений		
Минералы вольфрама		
Вольфрамит	Пиросульфат калия K ₂ S ₂ O ₇ в расплавленном состоянии	Серая плёнка
Шеелит	Соляная кислота при кипячении	Жёлтый налёт вольфрамовой кислоты, растворяющийся в NH ₄ OH
	Соляная кислота + металлическое олово или хлористое олово при нагревании	Синяя плёнка низшего окисла вольфрама
	Сплавление со смесью хлористого кальция и хлористого натрия	Плёнка CaWO ₄ , ярко люминесцирующая в катодных лучах голубым цветом
	Насыщенный раствор КОН и Ва(ОН) ₂ при кипячении	Серая плёнка вольфрамата бария
Вольфрамит Гюбнерит	Пиросульфат калия (K ₂ S ₂ O ₇) при кипячении	Серая пленка
Минералы молибдена		
Молибденит	Сплавление со смесью хлористого кальция и хлористого натрия	Плёнка CaMoO ₄ , ярко люминесцирующая в катодных лучах жёлтоватым или зеленовато-жёлтым цветом
Минералы молибдена		
Повеллит Молибденит Вульфенит	Соляная кислота + металлическое олово	Малоустойчивая зеленовато-синяя плёнка
Вульфенит	Насыщенный раствор фенил-гидразина в разбавленной серной кислоте (1:10) при кипячении	Синевато-серая плёнка
Повеллит Молибденит	То же, без нагревания в течение 5-10 мин.	Синяя плёнка
Минералы сурьмы		
Антимонит	Едкий калий, 5% раствор	Оранжево-красная плёнка сульфосоли сурьмы

Минералы свинца		
Англезит	Йодистый калий, 5% раствор без нагревания	Жёлтая плёнка йодида свинца
Церуссит Вульфенит Ванадинит	Серная кислота (1:1) при нагревании, затем 5% раствор йодистого калия	Жёлтая плёнка йодида свинца
Пироморфит Крокоит	Соляная кислота при комнатной температуре	Белая пленка хлористого свинца
Галенит Буланжерит	Насыщенный раствор йода в 5% растворе йодистого калия	Жёлтая плёнка в 5% растворе йодистого калия
Минералы висмута		
Бисмутит Базобисмутит	5% раствор йодистого калия в серной кислоте (1:10)	Чёрно-бурая плёнка йодистого висмута, обесцвечивающаяся при добавлении аммиака
	Кислый раствор цинхонина или хинина с йодистым калием (1 г цинхонина растворяют в 100 мм HNO ₃ (1:150) при нагревании; после охлаждения прибавляют	Оранжевая плёнка
Минералы ванадия		
Ванадинит	Смесь анилина с равным объёмом концентрированной соляной кислоты	Чёрная плёнка
Минералы титана		
Ильменит	Пиросульфат калия (K ₂ S ₂ O ₇) в расплавленном состоянии	Сероватая побежалость
Минералы тантала и ниобия		
Танталит - колумбит	Пиросульфат калия (K ₂ S ₂ O ₇) в расплавленном состоянии	Голубовато-серая плёнка, окрашивающаяся в оранжево-жёлтый цвет в растворе танина в 5% серной кислоте
Минералы бериллия		
Берилл	Расплавленный Na ₂ CO ₃ , затем раствор хинализарина в воде	Ярко-синяя плёнка

тантало-ниобатов; вольфрамит и гюбнерит покрывается тонкой сероватой пленкой, иногда трудно отличимой от пленки колумбита.

Для отличия пленок, образующихся на колумбите и вольфрамите, шлих, содержащий покрытые пленкой минералы, помещают в тигель и заливают горячим 1%-ным раствором танина и 5%-ной H₂SO₄. Нагревают раствор до кипения, сливают, промывают шлих разбавленной H₂SO₄ и затем несколько раз горячей водой и осторожно высушивают. Голубовато-серая пленка тантал-ниобатов после обработки превращается в оранжево-жёлтую или красноватую. Иногда эта пленка располагается на поверхности минерала неравномерным слоем, образуя местами более интенсивно окрашенные участки. Вольфрамовое соединение танина окрашено в буро-черный цвет. При обработке вольфрамита раствором танина серая пленка превращается в буро-черную совершенно не

заметную на поверхности вольфрамита. После обработки вольфрамит резко отличается от колумбита и других тантало-ниобатов.

Химическая природа пленочных реакций различна. Наиболее часто пленка появляется при восстановлении некоторых химических соединений до металла (при обработке минерала соляной кислотой на цинковой пластинке) или при образовании труднорастворимых окрашенных соединений на поверхности минерала.

Капельные химические реакции

Для химического определения шлиховых минералов обычно пользуются капельными реакциями, позволяющими проводить анализ при наличии одного – двух зерен минерала диаметром 0,1-0,2мм. Капельные реакции при аккуратном и точном их проведении и соблюдении предосторожностей, уничтожающих вредное влияние посторонних примесей, являются наиболее удобным методом химического анализа при малых количествах минерала.

Капельные реакции могут выполняться двумя различными способами. По первому способу капля испытуемого раствора смешивается с каплей реактива на белой фарфоровой пластинке или в маленькой фарфоровой чашке. По второму способу капли двух растворов смешиваются на куске фильтровальной бумаги.

Учитывая большую чувствительность капельных реакций, для проведения их необходимо употреблять, возможно, более чистые реактивы и посуду и перед определением всегда проверять чистоту реактивов. Для капельных реакций на бумаге пользуются обеззоленными фильтрами. Для проведения химического анализа минерал переводят в растворимое состояние. Если минерал растворяется в кислотах, то обычно растворителем служит кислота или царская водка (смесь трех объемов HCl и одного объема HNO₃). Для растворения несколько зерен минерала помещают на предметное стекло или в маленькую фарфоровую чашку, прибавляют 3-4 капли кислоты и осторожно подогревают на спиртовой горелке. Сульфиды обычно растворяют в HNO₃, так как в HCl они растворяются.

Если минерал не растворяется в кислотах, его сплавляют с содой (Na₂CO₃), пиросульфатом калия (K₂S₂O₇) или со смесью соды и селитры (5 частей NaCO₃ + 1 часть KNO₃). Перед сплавлением минерал растирают в маленькой агатовой ступке вместе с плавнем. Сплавление с содой или со смесью соды и селитры проводят в платиновой ложке или в спирали толстой платиновой проволоки. Для получения спирали платиновую проволоку обматывают 3-4 раза вокруг спички или острия карандаша. Сплавление с пиросульфатом калия можно проводить не только в платиновой, но также в фарфоровой или стеклянной посуде. Для сплавления с КОН или NaOH удобнее всего пользоваться стеклянными пробирками, т.к. платина сильно разрушается в процессе плавки

со щелочами. Количество плавня должно превышать количество минерала в 5-6 раз. Если минерала очень мало, то во избежание потерь его можно не растирать в ступке.

Процесс предварительной подготовки минерала к реакции имеет большое значение для точности определения, т.к. часто позволяет подобрать оптимальные условия и удалить элементы, мешающие определению. Особенно часто для этой цели применяют сплавление со смесью соды и селитры и выщелачивание сплава водой. После такой обработки в водный раствор переходит As, P, Mo, Cr, V, W, Mn. В нерастворимом остатке находятся Fe, Ni, Co, Ti, Bi, Cu, Pb, Ag, Au, Sn, Ta, Nb, частично Mn. Таким образом, в процессе предварительной подготовки к анализу разделяются элементы, мешающие определению при совместном присутствии в растворе.

Соляная кислота применяется обычно для диагностики карбонатов. Однако этот простой, имеющийся в каждой лаборатории реактив, с успехом можно использовать для обнаружения большого числа различных минералов. Для изучения поведения минерала в соляной кислоте требуется минимальное количество его. Несколько мелких зерен помещают на предметное стекло и прибавляют одну каплю концентрированной соляной кислоты. Результаты реакции при необходимости можно наблюдать под лупой.

По изменениям минерала в процессе растворения судят о его химическом составе. Так, густые темно-бурые подтеки вокруг минерала указывают на присутствие в его составе окисленного марганца; минералы, содержащие железо, окрашивают раствор в желтый цвет; при растворении ванадатов появляется густая вишнево-красная окраска, которая постепенно бледнеет и становится зеленоватой; минералы свинца вспучиваются и покрываются белой пленкой хлористого свинца; молибдаты после выпаривания капли кислоты оставляют синие разводы.

3.3. Исследование физических и оптических свойств минералов

Зерна минералов или их обломки, слагающие шлихи, бывают мелкими (размеры их в среднем колеблются от 1,5-1,0мм до долей мм) и рассмотреть их невооруженным глазом обычно не удастся. Поэтому для изучения минералов шлихов пользуются бинокулярным стереоскопическими микроскопами марок МБС-1 и МБС-9. Для этой же цели могут быть использованы бинокулярные лупы

Для наблюдения шлих рассыпают на стекле размером 9×12см в виде длинной узкой полосы (при большом количестве шлиха таких полос делается несколько). Под стекло подкладывается белый или черный лист бумаги, что облегчает изучение прозрачных минералов. Тонкую полоску шлиха внимательно рассматривают, передвигая под объективом стекло и перебирая

зерна минералов тонкой иглой или остро отточенным карандашом. Некоторые минералы настолько характерны по своему внешнему виду, что диагностика их проводится без труда. Другие минералы требуют для своего определения всесторонних исследований. Зерна таких минералов отделяют иглой от общей массы шлиха и затем изучают. Обычно у минералов наблюдают и изучают следующие основные физические свойства:

- 1) Форму зерен и степень их окатанности;
- 2) Характер поверхности зерен;
- 3) Излом и спайность;
- 4) Прозрачность;
- 5) Блеск;
- 6) Цвет;
- 7) Твердость.

Форма зерен и степень их окатанности. По форме различаются зерна изометричные, пластинчатые, призматические, игольчатые и т.д. Форма зерен оказывает существенное влияние на способ их переноса в поверхностных потоках, а это в свою очередь влияет на степень окатанности минералов. Минералы изометричного облика перекачиваются по дну потока и при этом сильно истираются. Минералы пластинчатой и игольчатой формы хорошо плавучи, а поэтому переносятся в поверхностных потоках во взвешенном состоянии и значительно меньше окатываются. В зависимости от степени окатанности все зерна разбивают на три группы:

- а) слабоокатанные – имеют резкие угловатые, нередко оскольчатые очертания, кристаллографические формы хорошо различимы;
- б) среднеокатанные – очертания таких зерен несколько сглажены, редкие ребра, углы, сколы отсутствуют, кристаллографические формы почти различимы не всегда;
- в) сильноокатанные – по форме округлы или овальны, все ребра, углы и сколы почти не различимы, поверхность зерен обычно матовая.

Характер поверхности зерен. В зависимости от химической стойкости минерала, а также от длительности его транспортировки поверхностными потоками на зернах остаются различные следы растворения, царапания, истирания или скалывания. Поверхность зерен выглядит вследствие этого ямчатой, бугорчатой, штрихованной, ступенчатой, гладкой или матовой. На основании формы зерен, степени их окатанности и характера поверхности делаются выводы о длительности транспортировки материала поверхностными потоками от их материнских пород.

Излом и спайность минералов. Обычно на зернах шлиховых минералов характер излома или спайность наблюдаются внешне довольно трудно, так как этому мешает окатанность зерен. Поэтому для исследования этих свойств минералы обычно раздавливают и рассматривают характер его получившихся

осколков. Для этого отбирают 1-2 зерна минерала, помещают их отдельно от других, накрывают толстым предметным стеклом и, наблюдая в бинокляр, раздавливают. В зависимости от наличия или отсутствия у минерала спайности, а также от характера его излома, получаются осколки той или иной формы. Минералы, обладающие спайностью, при раздавливании дают правильные, удлиненные осколки, ограниченные равными, гладкими спайными поверхностями, которые сильно блестят при поворачивании осколков иглой. Минералы с весьма совершенной спайностью в одном – двух направлениях нередко рассыпаются на тонкие игольчатые обломки (например, амфиболы). Минералы, не имеющие спайности, при раздавливании дают осколки неправильной формы, характерные типы изломов.

Прозрачность минералов. Прозрачность минералов устанавливается по их просвечиванию или по характеру порошка. Для определения является ли минерал прозрачным, его помещают на стекле на столик биноклярного микроскопа и, просвечивая снизу с помощью лампочки и зеркала, исследуют. По степени прозрачности минералы разделяют на: а) прозрачные, б) полупрозрачные и в) непрозрачные.

У прозрачных минералов порошок обычно белый или светлоокрашенный в различные оттенки, которые зависят от густоты и характера окраски минералов. Следует учитывать так же, что темноокрашенные прозрачные минералы в хрупких зернах не всегда просвечивают, а раздробленные в порошок не так сильно окрашены и просвечивают лучше.

Непрозрачность минералов устанавливается по темному, совершенно не просвечивающему порошку.

Легкая фракция состоит из прозрачных неокрашенных минералов, исключение составляет графит. В тяжелой неэлектромагнитной фракции непрозрачные минералы представлены сульфидами или самородными минералами. Электромагнитная фракция содержит как прозрачные, так и непрозрачные минералы. Магнитная фракция представлена исключительно непрозрачными рудными минералами.

Блеск минералов. Блеск минералов в шлихах исследуется довольно трудно вследствие того, что при искусственном освещении под бинокляром все минералы приобретают несвойственный синеватый или фиолетовый отблеск. Поэтому не удастся различать тонкие переходы в характере блеска минералов. Чаще всего наблюдается стеклянный, алмазный и металлический блеск. Причем характерно, что металлический блеск минералов под бинокляром воспринимается иначе, чем в обычных условиях в штуфах, поэтому при определении металлического блеска приходится прибегать к исследованию цвета черты минерала как к вспомогательному средству. Минералы магнитной фракции имеют металлический блеск. В

электромагнитную и тяжелую неэлектромагнитную фракции входят минералы с металлическим, стеклянным, алмазным блеском. Минералы легкой фракции обладают преимущественно стеклянным или перламутровым блеском.

Цвет минералов. Проявление характера окраски минералов в шлихах несколько отличается по сравнению со штучным образцом. Чистые, типичные цвета отдельных минералов удается наблюдать не всегда. Чаще минералы шлихов имеют несколько отличные окраски. Это связано с тем, что минералы бывают поцарапаны и поверхность их представляется матовой; кроме того, нередко они бывают показаны тонкими пленками вторичных продуктов, что придает минералу совершенно иной цвет. Поэтому определению окраски минерала не всегда приходится доверять. Гораздо надежнее и удобнее бывает определение цвета минералов в порошке (цвет черты минерала). Для этого 1-2 зерна минерала кладут на бисквит и вместе с ним помещают на столик бинокля. Затем вдавливают зерно в обратный конец деревянной ручки препарировальной иглы, закрепив его таким образом, прочерчивают по бисквиту. Окраску получившейся черты изучают под биноклем в силу того, что невооруженным глазом она не всегда различима. Наиболее светлой окраской обладает легкая и тяжелая неэлектромагнитная фракции. В легкой фракции, при общем преобладании белых и светлых минералов, могут встречаться из неокрашенных минералов хлориты, серпентин, нонтронит, берилл. В тяжелой неэлектромагнитной фракции к наиболее окрашенным минералам обычно относятся рутил, реже касситерит, сульфиды и самородные металлы.

Магнитная и сильно электромагнитная фракции представлены непрозрачными темноокрашенными железосодержащими минералами. Средне и слабо электромагнитные фракции по окраске несколько светлее магнитной и наличие в них прозрачных темноокрашенных порообразующих минералов (амфиболов, пироксенов, гранатов и др.) или даже светлоокрашенных, как эпидот, цоизит, актинолит, диопсид, оливин.

Твердость определяют для мелких минеральных зерен (не меньше 0,5мм), прочерчивая зернами по стеклянной пластинке или по пластинкам минералов набора по шкале Мооса. Обычно для этой цели пользуются предметным стеклом, на которое помещается испытуемое зерно. Если минерал тверже стекла, плоской стороной пинцета или шпателя нажимают на зерно и получают на стекле черту. Чем тверже минерал, тем тоньше и глубже получается черта. Характер черты обычно исследуют под биноклем.

Твердость определяют также, раздавливая минеральные зерна на предметном стекле стеклянной палочкой (с плоским основанием) или плоской частью пинцета; по силе нажима, звуку растрескивания и характеру нарушения стекла. По этим признакам твердости минералов грубо разделяют на мягкие, средние и твердые.

а) Минералы мягкие (твердость их меньше 3) – беззвучно рассыпаются при легком нажатии и не оставляют следа на стекле;

б) Минералы средней твердости (от 3 до 5) раздавливаются при значительном усилии нажима с глухим звуком растрескивания, на стекле почти не оставляют следа;

в) Минералы твердые (твердость >5) раздавливаются при очень большом усилии нажима с резким звуком растрескивания и оставляют следы нарушения на стекле в виде микротрещин, ямок или выбоинок.

Исследование оптических свойств минералов

В ряде случаев на основании определения только физических свойств минералов диагностировать его не удастся, так как имеется довольно значительное число минералов, близких между собой по внешнему виду и физическим свойствам. В наибольшей степени это относится к прозрачным минералам, которые по своему внешнему виду диагностируются трудно. Такие минералы часто легко различаются между собой по их оптическим константам. Исследование оптических свойств минералов производится с помощью поляризационного микроскопа.

Для того, чтобы зерна шлиховых минералов можно было изучать под поляризационным микроскопом, из прозрачных минералов шлиха изготавливают цементный шлиф.

Удобно пользоваться препаратами минералов, изготовленными на глицерине, которые можно изучать в поляризованном свете так же, как и шлифы. Изготовление этих препаратов несложно и требует весьма мало времени. Для изготовления такого препарата из шлиха определяют 1-2 зерна исследуемого минерала, причем важно, чтобы эти зерна исследуемого минерала не имели включений и не представляли собой сростков с другими минералами. Отобранные зерна помещают на предметное стекло, покрывают сверху вторым предметным стеклом и раздавливают. Раздавливать зерна минералов нужно так, чтобы получились осколки величиной в доли мм (в пыль растирать не следует) Затем верхнее предметное стекло снимают, на осколки минерала помещают каплю глицерина и осторожно покрывают препарат тонким покровным стеклом. Покровное стекло следует накладывать так, чтобы под ним не осталось пузырьков воздуха. Для этого стекло одним краем прикладывают к капле глицерина, затем прижав плотно этот край, осторожно опускают стекло до его горизонтального положения.

В подобных препаратах можно определять целый ряд оптических констант минералов. Необходимо только иметь в виду, что в таких препаратах на глицерине приходится иметь дело не с плоскопараллельными срезами минералов, как в шлифах, а с неправильными объемными осколками зерен. Поэтому проявление некоторых оптических свойств минералов в этих

препаратах несколько своеобразно, однако, при достаточном навыке определение основных оптических констант в зернах не вызывает затруднений.

Из числа общеизвестных оптических констант в препаратах на глицерине для минералов легко определяются следующие:

- а) окраска минералов и плеохроизм;
- б) относительный показатель преломления (по отношению к глицерину – $N_{\text{гл}} = 1.40$);
- в) отношение минерала к поляризованному свету (изотропный, анизотропный);
- г) угол погасания по отношению к трещинам спайности или удлинению минерала;
- д) относительная величина двупреломления – по характеру интерференционной окраски; здесь нужно соблюдать известную осторожность и помнить, что толщина зерна в его центре значительно больше, чем по периферии;
- е) осность минерала, а нередко и его оптический знак.

На основании определения перечисленных выше свойств прозрачные минералы диагностируются без особого труда и легко могут быть отличены друг от друга при сходстве их внешнего облика. В случае необходимости весьма точной диагностики минерала прибегают обычно к более сложному и трудоемкому методу – к измерению его показателей преломления с помощью иммерсионных жидкостей.

Иммерсионный метод

Иммерсионный метод применяют в анализе шлихов как главный метод диагностики прозрачных минералов, не определяемых под биноклем по внешнему виду. Иммерсионным методом устанавливают следующие оптические константы: осность, знак, показатели преломления, двупреломление, удлинение.

Иммерсионный препарат готовят следующим способом. Отобранное под биноклем зерно, размером не $< 0,3\text{мм}$, помещают на предметное стекло в каплю чистой воды и раздавливают, нажимая плоским основанием стеклянной палочки. Толщина препарата должна соответствовать приблизительно толщине петрографического шлифа. Раздавленный материал равномерно размешивают в капле воды палочкой и осторожно просушивают на пламени спиртовки, причем осколки зерна приклеиваются к стеклу солями, содержащимися в воде. После просушивания препарат охлаждают и накрывают покровным стеклом размером $5 \times 5\text{мм}$. Под покровное стекло осторожно подводят иммерсионную жидкость с соответствующим показателем преломления при помощи пробочки, закрывающей флакончик с жидкостью. Пробочкой с каплей жидкости прикасаются к контакту покровного стекла с предметным.

Закрепление зерна позволяет вести все исследования с одним препаратом, меняя в нем жидкости.

Точность определения показателей преломления иммерсионным методом без применения монохроматического света не превышает 0,002-0,003 и зависит от диапазона между жидкостями в наборе. Показатели преломления минералов определяются путем сравнения с показателями преломления жидкости по полоске Бекке, края наблюдаются на границе минерала и жидкости.

Для наблюдения полоски Бекке препарат помещают таким образом, чтобы линия раздела исследуемого зерна и жидкости приходилась вблизи центра поля зрения. Точно сфокусировав при выдвинутом анализаторе микроскоп, затем слегка нарушив фокусировку, медленно опуская или поднимая столик в таких пределах, чтобы исследуемое зерно оставалось заметным. При этом на границе минерала и жидкости устанавливается тонкая светлая полоска (полоска Бекке), которая при опускании столика перемещается в сторону минерала, если его показатели преломления больше, чем у жидкости, и в сторону жидкости, если показатель преломления минерала меньше.

Наряду с полоской Бекке, показатели преломления жидкости и минерала сравниваются также по дисперсионному эффекту, особенно если показатели близки. Дисперсионный эффект заключается в том, что у линии раздела среда с меньшим показателем кажется окрашенной в золотисто-желтый цвет, а с большим – в бледный синевато-зеленый. Наблюдения производят при среднем или сильном увеличении с слегка закрытой диафрагмой.

С помощью иммерсионного метода определяют главные показатели преломления: для одноосного минерала N_g , N_m или N_p , N_m , а для двуосного минерала N_g , N_m , N_p .

В случае одноосного минерала, как оптически положительного, так и оптически отрицательного, средний показатель преломления N_m определяется в любом сечении в одном из положений угасания. N_g (у положительных) и N_p (у отрицательных) определяется лишь в разрезах параллельно оптической оси.

Изотропное сечение одноосного кристалла, перпендикулярно оптической оси, дает в сходящемся свете фигуру темного креста, который остается неподвижным при повороте столика микроскопа. В этом сечении определяют оптический знак минерала и его показатель преломления N_m . На разрезе, параллельном оптической оси, одновременно определяют оба показателя преломления одноосного минерала: N_g и N_m для положительных и N_p и N_m для отрицательных.

Эти разрезы, параллельные оптической оси, характеризуются наивысшей интерференционной окраской и также дают в сходящемся свете при определенном положении столика микроскопа фигуру темного креста, который

распадается при повороте столика на две быстро выходящие из поля зрения гиперболы.

Для определения в этом сечении обоих показателей преломления зерно минерала устанавливают в положение угасания. При одном угасании с направлением колебаний поляризатора совмещается ось N_m , при другом – N_g или N_p , в зависимости от того, является ли минерал оптически положительный или отрицательный. Определение показателя преломления N_m можно проверить на любом сечении, но обязательно ставить зерно минерала на угасание, т.е. колебаний поляризатора. Таким образом, определение показателя преломления N_m в одноосном минерале не представляет затруднений.

В двуосном минерале имеется три главных сечения: первое перпендикулярно острой биссектрисе, второе перпендикулярно тупой биссектрисе и третье перпендикулярно оптической нормали или параллельно плоскости оптической оси. В первом и во втором случае определяют средний показатель преломления N_m и одни из двух других – N_g или N_p , а в третьем – определяют N_g и N_p . Имеется еще изотропное сечение, перпендикулярное оптическим осям, в плоскости которого определяются только N_m и N_p , у отрицательных N_m и N_g .

Сечение, перпендикулярное острой биссектрисе, в сходящемся свете дает темный четкий крест, который распадается при повороте столика на две гиперболы, выходящие при большом $2V$ из поля зрения. При малом $2V$ крест также распадается на две гиперболы, но они лишь слегка расходятся и затем опять сходятся.

Сечение, перпендикулярное тупой биссектрисе дает темный расплывчатый крест, который распадается при повороте столика микроскопа на две гиперболы, исчезающие из поля зрения.

Для определения в двуосном минерале главных показателей преломления N_g , N_m , N_p лучше пользоваться сечением, параллельном плоскости оптических осей, в зернах с яркими цветами интерференции и изотропным сечением, т.к. эти сечения дают в сходящемся свете более ясные и определенные фигуры. В первом случае получаем фигуру широкого расплывчатого креста, при повороте столика распадающегося на две гиперболы. В случае изотропного сечения наблюдается четко одна изогира.

При отсутствии в минералах главных сечений определяют промежуточные показатели преломления N_g' и N_p' .

Необходимо учитывать, что при определении минералов иммерсионным методом количество сечений ограничено. Характер сечений получаемых при дроблении минеральных зерен находится в прямой зависимости о спайности минералов. При наличии у минерала хорошо выраженной спайности осколки большей частью ориентированы по спайности. Направление же спайности

имеет строго определенную оптическую ориентировку, которую при определенных препаратах необходимо знать и учитывать.

Определение положения оптических осей минерала. При определении положения оптических осей минерала в препарате с иммерсионной жидкостью необходимо учитывать, что при дроблении минерала часто получаются осколки различной толщины и вследствие этого интерференционная окраска минерала в препарате может существенно отличаться от окраски в шлифе. Рекомендуется пользоваться очень мелкими осколками минерала. Для определения потребуется кварцевый клин или кварцевая пластинка.

Порядок работы по определению положения оптических осей минерала:

1) выбираем удлиненное зерно с максимальной интерференционной окраской и ставим его на крест нитей;

2) ставим зерно на полное погасание;

3) поворачиваем столик микроскопа от момента погасания на 45° против часовой стрелки (полное просветление минерала). Определяемая ось стала параллельна прорези микроскопа, в которую вставляем кварцевый клин или кварцевую пластинку (случай, когда интерференционные цвета серые, белые).

Если при введении пластинки зерно становится синим, происходит увеличение интерференционной окраски, то есть N_p кварцевой пластинки параллельна N_p минерала (прямая параллельность компенсатора и минерала).

Если зерно окрашивается в жёлтый цвет, происходит понижение интерференционной окраски, то есть N_p кварцевой пластинки параллельна N_g минерала (обратная параллельность компенсатора и минерала).

При работе с кварцевым клином (интерференционные цвета от жёлтого I порядка и выше) компенсация наступает при окрашивании зерна в тёмносерый цвет - разности хода в клине и минерале равны, N_g минерала совпадает с N_p клина (обратная параллельность). При уменьшении интерференционной окраски - появление жёлтого цвета, параллельно ходу клина (по удлинению минерала) расположена ось N_g . При увеличении интерференционной окраски - появление синего цвета, параллельно ходу клина (по удлинению минерала) расположена ось N_p .

Иммерсионный метод позволяет также использовать для определения положения осей в минерале метод «бегущих полосок». Сущность метода сводится к следующему: в краевых частях тонких осколков часто наблюдаются цветные полосы, представляющие собой последовательную смену цветов интерференции: от низших (I порядка) в периферийной части к более высоким во внутренней части. Если при продвижении клина вперед полосы

перемещаются внутрь зерна, значит, интерференционные цвета уменьшаются: параллельно ходу клина лежит ось N_g . Если при продвижении клина вперед полосы перемещаются к периферии зерна, значит, интерференционные цвета увеличиваются, параллельно ходу клина лежит ось N_p .

Определение двупреломления минерала. Двупреломление или сила двойного лучепреломления равняется разности ($N_g - N_p$). Для определения двупреломления необходимы кварцевый клин и номограмма Мишель-Леви.

Порядок работы по определению двупреломления:

1) зерно с наивысшей интерференционной окраской ставим на крест нитей и вращением столика микроскопа добиваемся его полного погасания;

2) поворачиваем столик микроскопа от положения полного погасания на 45° в любую сторону, т. е. добиваемся полного просветления минерала;

3) вставляем в прорезь микроскопа кварцевый клин и медленно вдвигаем его в тубус до появления компенсации;

4) если вместо компенсации происходит повышение цветов интерференции, поворачиваем столик микроскопа на 90° (до следующего полного просветления);

5) добившись компенсации, определяем разность хода в минерале, для этого снимаем шлиф со столика и, медленно выдвигая клин, наблюдаем, сколько раз появится компенсационный цвет (для синего и зелёного цветов порядок на единицу больше числа повторений, т. к. эти цвета в первом порядке отсутствуют). Например, минерал имеет интерференционную окраску жёлтого цвета. При выдвигании кварцевого клина от момента компенсации жёлтый цвет только несколько другого оттенка появился ещё раз - по таблице Мишель-Леви жёлтый цвет принадлежит II порядку и отвечает разности хода ~ 850 мкм;

б) определяем силу двупреломления ($N_g - N_p$) по таблице Мишель-Леви. Находим полосу окраски, соответствующую интерференционной окраске минерала, пересекаем эту полосу горизонтальной линией, примерно отвечающей толщине зерна минерала, и через точку пересечения по наклонной прямой следуем до края таблицы, где и будет дана сила двупреломления.

Определение плеохроизма минералов. Плеохроизмом называется способность анизотропных минералов изменять свою окраску в зависимости от направления световых колебаний проходящего света. У некоторых минералов плеохроизм отчетливо прослеживается при изучении шлихов под биноклем (турмалин). В иммерсионном препарате плеохроизм прослеживается при одном никеле при вращении столика микроскопа по направлениям осей оптической

индикатрисы. Для двuosных минералов (ромбическая, моноклинная и триклинная сингонии) - это оси Ng, Np, Nm, а для одноосных (тригональная, тетрагональная и гексагональная сингонии) - оси Ne, No.

Плеохроизм может быть трёх видов:

- при вращении столика микроскопа минерал изменяет окраску (например, с зелёной на жёлтую, бурую и т. д.);
- минерал сохраняет окраску, изменяется интенсивность (густота);
- изменяется интенсивность и окраска.

Порядок исследования плеохроизма:

1) зерно, в котором определяли положение оптических осей, ставим в положение погасания относительно оси Ng;

2) выключаем анализатор и смотрим окраску минерала, например, тёмно-зелёная;

3) поворачиваем столик микроскопа на 90°, т. е. совмещаем с направлением колебаний поляризатора ось Np. Отмечаем окраску, например, жёлтая;

4) если минерал одноосный, записываем схему плеохроизма: Ng(e) >Np(o)

5) для двuosных минералов определяем положение Nm. Ищем в иммерсионном препарате зерно с минимальной интерференционной окраской или сечение, перпендикулярное оптической оси (изотропное сечение). Включаем анализатор и определяем окраску минерала (например, светло-зелёная), сравниваем её с ранее определёнными по Ng и Np и составляем схему плеохроизма: Ng >Nm >Np;

6) определяем знак удлинения минерала: если окраска по Nm идентична или близка к окраске по Ng - минерал положительный, если по Np - отрицательный.

Для удобства диагностики шлиховых концентратов составлены таблицы 3.3.1 и 3.3.2, в которые сведены наиболее часто встречающиеся минералы с учётом их оптических свойств.

Таблица 3.3.1 - Изотропные минералы

Окраска	n < 1.55	n > 1.70
Бесцветные	Опал	Алмаз
	Флюорит	Шпинель

Окрашенные	Флюорит Янтарь	Алмаз Гранаты Красная шпинель Малакон Ортит	Перовскит Пикотит Пироксенолор Сфалерит
------------	-------------------	---	--

Таблица 3.3.2. - Анизотропные минералы

Оптический знак	$n < 1,60$	$n 1,60-1,70$	$n 1,70-1,78$	$n > 1,78$
Бесцветные и белые				
Одноосные положительные	Кварц	Фенакит	Ксенотим	Касситерит Циркон Шеелит
Одноосные отрицательные	Берилл Доломит (n_e) Кальцит (n_e) Магнезит (n_e) Скаполит	Апатит Доломит (n_o) Кальцит (n_o) Сидерит (n_e) Смитсонит (n_e) Турмалин	Корунд Магнезит (n_o)	Сидерит (n_o) Смитсонит (n_o)
Двуосные положительные	Альбит Ангидрит (n_p)	Ангидрит (n_g) Барит Диопсид Оливин Силлиманит Сподумен Топаз Целестин Энстатит	Диаспор Цоизит	Англезит Клиноцоизит Монацит
Двуосные отрицательные	Лепидолит Микроклин Мусковит Ортоклаз Стронцианит (n_p)	Аксинит Андалузит Волластонит Стронцианит Тремолит (n_p)	Кианит	Бадделеит Фаялит Церуссит
Зелёные и синие				
Одноосные положительные				Касситерит Циркон
Одноосные отрицательные	Берилл	Апатит Смитсонит (n_e) Турмалин	Везувиан Корунд (сапфир)	Анализ Вульфенит Смитсонит (n_o)

Двуосные положительные	Хлорит	Антофиллит Барит Диопсид Жадеит Оливин Силлиманит Сподумен Топаз Энстатит	Авгит Геденбергит Хлоритоид Хризоберилл Цоизит	Азурит Клиноцоизит Монацит Скародит
Двуосные отрицательные	Биотит Кордиерит Серпентин Хлорит	Аксинит Актинолит Андалузит Аннабергит Глаукофан Лазулит Малахит (пр) Оливин Роговая обманка	Гиперстен Кианит Эгирин Эпидот	Малахит (ng)
Двуосные положительные		Антофиллит Барит Оливин Силлиманит Сподумен Топаз Энстатит	Авгит Диаспор Ставролит	Аурипигмент Брукит Клиноцоизит Монацит Сфен
Двуосные отрицательные	Биотит Кордиерит Лепидолит Мусковит Флогопит	Аксинит Андалузит Биотит Волластонит Оливин Лепидомелан Роговая обманка	Гиперстен Ортит Эпидот	Бадделеит Фаялит Церрусит
К р а с н ы е , р о з о в ы е и ф и о л е т о в ы е				
Одноосные положительные	Кварц (аметист)	Фенакит	Ксенотим	Касситерит Киноварь Рутил Торит Циркон
Одноосные отрицательные		Апатит Турмалин	Везувиан Корунд (рубин)	Анагаз Ванадинит
Двуосные положительные	Хлорит	Барит	Цоизит	Клиноцоизит Крокоит Монацит Сфен

Двуосные отрицательные	Лепидолит	Аксинит Андалузит Волластонит	Родонит	Реальгар
Жёлтые и бурые				
Одноосные положительные		Фенакит	Бастнезит (По) Ксенотим	Бастнезит (n _e) Касситерит Рутил Торит Циркон Шеелит
Одноосные отрицательные	Берилл	Сидерит (n _e) Смитсонит (n _e) Турмалин	Везувиан Корунд	Анализ Ванадинит Вульфенит Пироморфит Сидерит (n _o) Смитсонит (n _o)

Определение радиоактивных минералов

Для обнаружения радиоактивных минералов, встречающихся в шлихах, применяют радиометрический и радиографический методы.

Радиометрические методы основаны на измерении интенсивности α - β и γ -излучений, испускаемых радиоактивным веществом в единицу времени. Для излучения радиоактивностей применяют радиометры различных типов. Радиоактивность определяют сравнением интенсивностей излучения навески минерала или концентрата и стандартных эталонов, измеряемых в одинаковых условиях на тех же приборах.

Радиографический метод основан на способности радиоактивных веществ действовать на фотоэмульсию подобно свету и вызывать почернение пленки после проявления. Метод этот применяется гл. обр. для выяснения характера распределения радиоактивности в рудах и горных породах. При использовании его для шлихов зерна минералов закрепляют на столе с помощью желатина или клея. Для этого на чистое предметное стекло, размеры которого определяются количеством анализируемого шлиха (9×12см) наносят тонкий слой раствора желатина высыпают на стекло шлик и разравнивают его тонким слоем, по возможности в одно зерно. Полученный препарат покрывают фотопластинкой такого же размера, обращенной светочувствительным слоем вниз, и осторожно зажимают зажимами. Препарат с фотопластинкой выдерживают в темноте определенное время – от нескольких часов до 15-20 суток, в зависимости от радиоактивности минерала и чувствительности пластинки. Затем фотопластинку снимают и проявляют. Зерна радиоактивных минералов

оставляют черный след на радиограмме и при повторном совмещении ее с препаратом легко могут быть обнаружены и выделены для определения.

4. ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ ШЛИХОВ

Описание минералов, наиболее часто встречаемых в шлихах и протолочках, даны в ряде опубликованных работ по шлиховому анализу (Копченова, 1940; Захарова, 1960; Родыгина, 1999; Бакулина, 2014). В данном пособии использованы данные по описанию минералов частично заимствованные из книг Л.П. Бакулиной и В.Г. Родыгиной. Фотографии некоторых минералов и образцов взяты из интернета, часть из книги С.А. Репиной (Репина, 2016).

Фотографии минералов приведены в приложении.

Авгит $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$. Разновидности: титанавгит (содержит до 4-5% TiO_2); хромавгит, ярко-зелёная разновидность, содержащая до 3% Cr_2O_3 и до 7% Al_2O_3 . Короткопризматические кристаллы в различной степени окатанные; неправильной формы зёрна. Обычно обнаруживает признаки разложения и с поверхности становится мутным (рис. П.1). Часто содержит тёмные железистые включения. Цвет чёрный, зелёный, чёрно-зелёный, реже коричневый или желтовато-серый. Блеск стеклянный, иногда жирный. Спайность ясная. Излом неровный. Плотность 3.2-3.6; твёрдость 5-6.

Показатель преломления высокий: $n_g = 1.710 - 1.724$; $n_m = 1.692 - 1.706$; $n_p = 1.682 - 1.700$; $n_g - n_p = 0.024 - 0.026$. Двуосный, положительный, $2V = 50 - 61^\circ$. Плеохроизм зависит от содержания железа и титана: n_p - зеленовато-жёлтый или красноватый; n_m - буровато-красный или фиолетовый; n_g - зеленовато-жёлтый или красноватый. В кислотах не растворяется.

Материнские породы - средние и основные изверженные породы, метаморфизованные известняки и другие метаморфические породы. Спутники в шлихах - другие пироксены и оливин. Если генетически связаны с метаморфическими породами, то сопровождаются амфиболами, скаполитом, везувианом, гранатом, апатитом.

Группа амфиболов. Основными минералами группы амфиболов являются: актинолит, тремолит, антофиллит, глаукофан, роговая обманка.

Актинолит $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ - известково-магнезиально-железистый амфибол. Сингония моноклинная. Тонкопризматические или столбчатые кристаллы (рис. П.2) с явно выраженной спайностью по удлинению, волокнистые агрегаты, неправильные зёрна различной степени окатанности. Цвет от ярко-зелёного до серовато-зелёного, редко желтоватый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом неправильный, занозистый.

Плотность 3.1-3.3; твёрдость 5-6. При аккуратном раздавливании на предметном стекле дробится на тонкие иголки. Показатели преломления: $n_g = 1.638 - 1.677$; $n_m = 1.630 - 1.650$; $n_p = 1.614 - 1.658$; $n_g - n_p = 0.024 - 0.027$; $cN_g = 10 - 20^\circ$.

Оптически двуосный, отрицательный. Плеохроизм ясный, усиливается с повышением содержания железа; n_g - зелёный; n_m - желтовато-зелёный; n_p - бледно-жёлтый. В кислотах не растворяется. В катодных лучах иногда люминесцирует жёлтым цветом.

Тремолит $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2[OH]_2$ - известково-магнезиальный амфибол. Иногда Mg замещается Fe^{2+} , и тогда тремолит превращается в актинолит. Сингония моноклинная. Призматические, столбчатые или волокнистые кристаллы (рис. П.3) с явно выраженной спайностью по удлинению; неправильные зёрна различной степени окатанности. Цвет белый, серый; часто встречаются бесцветные тремолиты. Блеск стеклянный, шелковистый. Спайность совершенная. Излом неровный, полураковистый. Плотность 2.9-3.0; твёрдость 5-6. При аккуратном раздавливании зерна между двумя предметными стеклами оно распадается по спайности на мелкие тонкие иголки. В ультрафиолетовых, рентгеновских и катодных лучах люминесцирует жёлтым, красным или фиолетовым цветом.

Показатели преломления для чистого тремолита: $n_g = 1.624 - 1.640$; $n_m = 1.613 - 1.625$; $n_p = 1.600 - 1.611$; $n_g - n_p = 0.024 - 0.029$; $cN_g = 14 - 20^\circ$. Показатель преломления повышается с увеличением Fe^{2+} . Оптически двуосный, отрицательный; $2V = 81 - 88^\circ$. В окрашенных разностях наблюдается плеохроизм. В кислотах не растворяется. Определяется по «роговообманковому» внешнему виду, светлой окраске и хорошей спайности. Определяется по оптическим свойствам.

Часто содержит унаследованные включения, содержащиеся в первичном минерале, представленные кварцем, акцессорными минералами, углистым веществом, биотитом.

Типичный эпимагматический минерал, нередко образующийся по кальциево-магнезиальным пироксенам.

Антофиллит $(Mg,Fe)_7[Si_4O_{11}]_2[OH]_2$. Часто содержит значительные количества Al (жедрит). Сингония ромбическая. Призматические или таблитчатые кристаллы с резко выраженной спайностью по призме, волокнистые, лучистые или шестоватые агрегаты. Цвет бурый различных оттенков, зелёный (рис. П.4). Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом неровный. Плотность 2.8-3.2 (увеличивается с повышением содержания железа); твёрдость 5-6.

Прозрачный. Показатели преломления для магнезиальной разности: $n_g = 1.626 - 1.698$; $n_m = 1.615 - 1.668$; $n_p = 1.605 - 1.660$; $n_g - n_p = 0.020 - 0.038^\circ$. Оптически двуосный, положительный; $2 V = 90^\circ$. Некоторые разности плеохроируют: n_g - бледный желтовато-зелёный; $n_m = n_p$ - буроватый. В кислотах не растворяется.

Глаукофан $\text{Na}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH,F}]_2$ - щелочной амфибол непостоянного состава. Призматические кристаллы или волокнистые агрегаты. Цвет синеватый, фиолетово-серый (рис. П.5). Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом неровный. Плотность 3.1-3.2 (увеличивается с повышением содержания железа); твёрдость 5-6. В кислотах не растворяется.

Прозрачный. Показатели преломления для магнезиальной разности: $n_g = 1.626 - 1.698$; $n_m = 1.615 - 1.668$; $n_p = 1.605 - 1.660$; $n_g - n_p = 0.020 - 0.038$. Оптически двуосный, положительный; $2 V = 90^\circ$. Некоторые разности плеохроируют: n_g - бледный желтовато-зелёный; $n_m = n_p$ - буроватый.

Роговая обманка $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4(\text{Al,Fe}^{3+})[(\text{Si,Al})_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$. Сингония моноклинная. Призматические или шестоватые кристаллы с явно выраженной спайностью по удлинению (рис. П.6); неправильные зёрна различной степени окатанности. Цвет зелёный, бурый, чёрный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом неровный, полураковистый, занозистый. Плотность 3.1-3.3; твёрдость 5.5-6. В роговой обманке часто встречаются включения апатита, циркона, ортита, сфена. Уралит – псевдоморфоза роговой обманки по пироксену. Роговая обманка чаще всего замещается хлоритом (частично или полностью, с нарушением формы), иногда в ассоциации с эпидотом, карбонатами, кварцем, сфеном. Реже по ней развивается биотит, тальк, антигорит или эпидот.

При аккуратном раздавливании зёрна роговой обманки между двумя предметными стеклами оно распадается по спайности на мелкие тонкие иголочки. В кислотах не растворяется. Прозрачная до просвечивающей. Показатели преломления для магнезиальной разности: $n_g = 1.653 - 1.697$; $n_m = 1.647 - 1.685$; $n_p = 1.635 - 1.670$; $n_g - n_p = 0.018 - 0.027$; $cN_g - 15 - 25^\circ$. Оптически двуосная, отрицательная; $2 V = 90^\circ$. Плеохроизм меняется; максимальная абсорбция в направлении, параллельном n_g ; n_p - жёлтый или бледно-зелёный; n_m - соломенно-жёлтый; n_p - бурый или тёмно-зелёный.

Алмаз С. Сингония кубическая. Кристаллы ромбододекаэдрического и октаэдрического габитуса с закруглёнными рёбрами и выпуклыми гранями с характерной штриховкой и различными фигурами травления (рис. П.7), двойники, остроугольные обломки с сильным алмазным блеском. Спайность

совершенная, излом неровный, ступенчатый, раковистый. Бесцветный, реже бледно-окрашенный в жёлтый, оранжевый, красный, зелёный или синий цвета; иногда бурый, чёрный (борт, карбонадо). Плотность 3.2-3.52, твёрдость 10. Хрупок. Показатель преломления 2.41-2.48, обычно изотропный, но иногда обладает аномальным двупреломлением и даёт одноосную интерференционную фигуру. Люминесцирует в ультрафиолетовых и рентгеновских лучах голубым цветом. Определяется по характерному блеску, высокой твёрдости, оптическим свойствам. От бесцветных шпинелей отличается плотностью.

Коренные месторождения алмазов связаны с кимберлитовой формацией Сибирской алмазоносной провинции.

Россыпные месторождения известны в Сибири, на Урале, где первые алмазы были найдены в 1889 году.

Ангидрит CaSO_4 . Содержит примесь Sr . Сингония ромбическая. Толстотаблитчатые или призматические кристаллы со штриховкой на гранях, их обломки, неправильные зёрна без следов окатанности. Цвет белый с голубоватым, сероватым или красноватым оттенком (рис. П.8); часто встречаются бесцветные прозрачные кристаллы. Цвет порошка белый. Спайность совершенная. Блеск стеклянный, перламутровый. Излом неровный, ступенчатый. Плотность 2.8-3.0, твёрдость 3-3.5, хрупкий.

Не люминесцирует, прозрачный. Показатели преломления $n_g = 1,614$; $n_m = 1,575$; $n_p = 1,570$; $n_g - n_p = 0,044$. Двуосный, положительный, $2V = 42^\circ$.

В HCl растворяется слабо, в H_2SO_4 растворяется в порошок. Внешне сходен с баритом и целестином, от которых отличается оптическими свойствами.

Анализ TiO_2 (октаэдрит). Полиморфная модификация рутила. Содержит небольшое количество FeO . Сингония тетрагональная. Кристаллы (остродипирамидальные с сильно развитыми гранями дипирамиды и подчинёнными гранями призмы (рис. П.9); таблитчатые, образованные комбинацией граней пинакоида и резко подчинённых им граней пирамиды; дипирамидально-призматические и октаэдрические обломки. В шлихах часто встречаются зёрна неправильной формы в различной степени окатанные.

На гранях дипирамиды обычна характерная резкая штриховка. Поверхность неровная, ямчатая, грубо шероховатая, обусловленная ступенчато-раковинчатым изломом анатаза. Цвет синий различных оттенков и интенсивности (голубовато-синий, тёмно-синий, чёрновато-синий), буровато-жёлтый, голубовато-зелёный, серовато-зелёный, бурый, охристо-жёлтый, чёрный. Синяя и зелёная окраски обычно распределены зонально, параллельно контурам граней. Цвет в порошке белый, реже голубоватый, желтоватый.

Блеск алмазный, на гранях тёмно-окрашенных кристаллов - металловидный. Спайность совершенная. Плотность 3.9-4.0; твёрдость 5.5-6.0; хрупок. Бледно окрашенные разности прозрачны, чёрные и жёлто-бурые - непрозрачны. Показатели преломления $n_o = 2.554 - 2.564$; $n_e = 2.489 - 2.497$; $n_o - n_e = 0,04 - 0,07$.

Одноосный, отрицательный; иногда аномально двуосный с небольшим углом оптических осей. Пластинчатые кристаллы, параллельные (001), изотропны. Погасание прямое. Плеохроизм наблюдается только в толстых зёрнах: для жёлтых кристаллов n_o - тёмно-синий или оранжевый, n_e - бледно-голубой или жёлтый. В кислотах не растворяется. Определяется по форме кристаллов, окраске, твёрдости. Микрохимическая реакция на Ti.

Переход анатаза в рутил зависит от температурного режима. В присутствии воды температура ниже 400°C, в присутствии плавней близка к этой температуре; без плавня 915 °C. Как и рутил встречается в гранитах и пегматитах. Основное количество связано с метаморфическими процессами. Это обычный минерал многих вторичных кварцитов.

Андалузит $Al_2[SiO_4]O$. Содержит примесь Mn, Fe и С. Сингония ромбическая. Неправильные угловатые или слабоокатанные зерна, призматические кристаллы различной степени окатанности. Цвет розовый различных оттенков, бледно-жёлтый, зеленоватый, бурый, серый (рис. П.10), тёмно-серый (от обилия включений углистых частиц, битумов, глинистого материала). Блеск стеклянный. Спайность ясная. Излом неровный, мелко раковинчатый. Плотность 3.1-3.2; твёрдость 7.5, раздавливается с трудом. В ультрафиолетовых лучах слабо люминесцирует белым, желтоватым или розовым цветом.

Прозрачный; разности, содержащие большое количество включений, непрозрачны. Показатели преломления $n_g = 1.639 - 1.647$; $n_m = 1.638 - 1.644$; $n_p = 1.629 - 1.640$; $n_g - n_p = 0.007 - 0.011$. Двуосный, отрицательный, $2V = 75- 86^\circ$. Некоторые зёрна плеохроируют: n_p - розовый до кроваво-красного; n_m и n_g - бесцветный или бледно-жёлтый. В кислотах не растворяется.

Антимонит (стибнит, сурьмяный блеск) Sb_2S_3 . Содержит примеси Au и Ag. Сингония ромбическая. В шлихах встречается в виде мелких шестоватых и спутанно-волокнистых агрегатов (рис. П.11), реже в виде неправильных вытянутых пластинок. Спайность весьма совершенная (при раздавливании на предметном стекле дробится на тонкие иголки), излом несовершеннораквинчатый. Цвет свинцово-серый, с поверхности обычно покрывается чёрной, реже радужной побежалостью. Блеск металлический. Плотность 4.5-4.6,

твёрдость 2 (легко режется ножом).

Растворяется в HCl с выделением H₂S, в HNO₃ - с выделением Sb₂O₅. Внешне сходен с висмутином, арсенопиритом и галенитом, от которых отличается микрохимической реакцией на сурьму (Sb).

Апатит Ca₅(PO₄)₃F,Cl (фторапатит, хлорапатит). Содержит примеси (OH), Mn, Nd, Ce, La и др. Сингония гексагональная. Угловатые и окатанные яйцевидные или шаровидные зёрна; частицы тонкозернистого сахаровидного и скрытокристаллического сложения (коллофан); призматические кристаллы, имеющие в поперечном сечении правильные или неравносторонние шестиугольники. Цвет молочно-белый, голубоватый, синевато-зелёный (рис. П.12), зеленоватый, розовато-лиловый, буроватый. Блеск слабый стеклянный, смолистый или перламутровый. Спайность отсутствует, часто обнаруживается отдельность. Излом неровный или раковинчатый. Плотность 3.0-3.2, твёрдость 5, хрупкий, раздавливается средне.

В ультрафиолетовых, рентгеновских и катодных лучах ярко люминесцирует. Интенсивность и окраска зависят от примесей.

Показатели преломления: $n_o = 1.632 - 1.667$; $n_e = 1.630 - 1.664$;

$n_o - n_e = 0.002 - 0.005$. Одноосный, отрицательный, иногда даёт псевдодвуосную фигуру. Тёмноокрашенные разности слабо плеохроируют. Растворяется в HCl или HNO₃. При растворении в H₂SO₄ выделяет осадок CaSO₄, препятствующий дальнейшему растворению минерала. Микрохимическая реакция на фосфор (P).

Арсенопирит FeAsS (мышьяковый колчедан). Иногда часть железа (Fe) замещена кобальтом (Co). Сингония моноклинная. Спайность ясная, излом неровный (рис. П.13). Блеск металлический. Цвет серебристо-белый до стально-серого. Часто на поверхности отмечается чёрный налёт (такие зёрна иногда попадают в электромагнитную фракцию). Плотность 5,9-6,2, твёрдость 5,5-6. Растворяется в HNO₃ с выделением S. Внешне похож на галенит, антимонит, висмутин; отличается микрохимической реакцией на мышьяк (As). Встречается в виде пластинчатых кристаллов или вытянутых псевдоромбоэдров с поперечной штриховкой на гранях, неправильных зёрен, редко крестообразных двойников. Часто наблюдаются радиально лучистые сростки.

Один из наиболее распространенных рудных минералов, ассоциирует с сульфидами, оксидами, арсенидами. Является хорошим осадителем золота из гидротермальных растворов, часто содержит микровростки золота (Сафина, Новоселов, 2013).

Аурипигмент As₂S₃. Сингония моноклинная. Встречается в виде тонких чешуйчатых кристаллов или мягких листочков с неровными краями (рис. П.14).

Цвет лимонно-жёлтый, красноватый в плотных радиально-лучистых корках. Спайность весьма совершенная. Спайные плоскости часто волнисто изогнутые. Блеск жирный до алмазного, на плоскостях спайности перламутровый, полупрозрачный до прозрачного. Плотность 3.4-3.5, твёрдость 1.5-2. Оптически двуосный, положительный. Показатели преломления $n_g = 3.0$, $n_m = 2.8$, $n_p = 2.4$; $n_g - n_p = 0.06$; $2V = 70^\circ$.

Растворяется в HNO_3 и KOH . Микрохимическая реакция на мышьяк (As).

В шлихах встречается редко, поскольку в гипергенных условиях истирается и окисляется.

Барит $BaSO_4$ (тяжёлый шпат). Содержит примесь Sr. Сингония ромбическая. Таблитчатые или призматические кристаллы и их обломки; неправильные зёрна; частицы тонкозернистого сложения; субпараллельные сростки таблитчатых или дощатых кристаллов; гребенчатые и пластинчато-лучистые агрегаты (рис. П.15). В кристаллах барит бесцветен или окрашен в молочно-белый, серый, зеленоватый, голубоватый и буроватый цвета. В не окристаллизованных агрегатах - белый, серый, коричнево-красный, бурый (окраска зависит от примесей).

Цвет порошка белый. Спайность совершенная. Блеск стеклянный, перламутровый, иногда матовый. Излом неровный. Плотность 4.3-4.7, твёрдость 2.5-3.5, хрупкий. В катодных лучах люминесцирует фиолетовым, в рентгеновских - зелёным, в ультрафиолетовых - фиолетовым, жёлтым или розовым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_g = 1.648$; $n_m = 1.637$; $n_p = 1.636$; $n_g - n_p = 0.012$. Двуосный, положительный, $2V = 37^\circ$. Призматические зёрна дают прямое погасание. В кислотах не растворяется, смоченный HCl окрашивает пламя в зелёный цвет. Микрохимическая реакция на Ba. Определяется по форме зёрен, блеску, высокой плотности, оптическим свойствам. От кальцита отличается поведением в кислотах.

Берилл $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$. В шлихах достаточно редкий минерал, встречается в районе распространения некоторых интрузий лейкократовых гранитов и сопровождающих последние пегматитовых жил, грейзенов и высокотемпературных пневматолитово-гидротермальных месторождений. В качестве примеси часто устанавливаются Li, Rb, Cs, Na, Ca, Mg, Fe, Cr, H_2O . Сингония гексагональная, кристаллы призматического облика, обычно без конечных граней (рис. П.16), чаще всего встречаются в виде неправильных осколков, угловатых или слабоокатанных зерен, реже удаётся наблюдать кристаллы в виде гексагональных призм с грубой вертикальной штриховкой на гранях.

Цвет - обычно бесцветен или слабо окрашен в светлые зеленоватые, желтоватые и голубоватые тона. Нередко вторичные продукты разрушения берилла придают ему мутноватый характер. Спайность отсутствует. Блеск стеклянный. Излом раковистый. Плотность 2.6-2.9; твёрдость 7.5-8.0 раздавливается с большим трудом. По внешнему виду под биноклем берилл почти неотличим от кварца, поэтому его наличие в легкой фракции устанавливается на основании оптических исследований или микрохимических испытаний отдельных зерен. Показатели преломления $n_g = 1.568-1.602$; $n_p = 1.564-1.595$; $n_g - n_p = 0.004 - 0.008$. Одноосный, отрицательный. От кварца отличается по наличию слабого плеохроизма в желто-бурых тонах, с небольшим показателем преломления и оптическим знаком.

Биотит $K(Fe,Mg)_3[(Al,Si)_4O_{10}(OH, F)_2]$. В шлихах сохраняется редко, при промывке проб в лотке вследствие своей пластинчатости и плавучести они уходят в хвосты. Биотит в шлихах наблюдается в виде пластинок неправильной, округлой, реже шестиугольной формы с некоторыми извилистыми краями (рис. П.17). Цвет черный, у измененных разновидностей бурый, золотистый.

Блеск перламутровый. Твердость около 2, плотность 2.7-3.1. Спайность весьма совершенная. Оптически двуосный, отрицательный. Показатели преломления $n_g = 1.630-1.677$, $n_m = 1.630-1.676$, $n_p = 1.580-1.623$.

Борнит Cu_5FeS_4 . Сингония кубическая. Неправильные зёрна, угловатые или слабо окатанные. В свежем изломе - медно-красный, с поверхности часто наблюдается яркая пёстрая побежалость (рис. П.18). Блеск полуметаллический. Спайность неотчётливая, излом мелко раковистый. Плотность 4.9-5.2; твёрдость 3.

Растворяется в HNO_3 с выделением S. Микрохимическая реакция на Cu, Fe.

Брукит TiO_2 . Полиморфная модификация рутила. Сингония ромбическая. Таблитчатые и пластинчатые кристаллы с тонкой или грубой, иногда ступенчатой штриховкой на гранях (рис. П.19). Штриховка, обычно параллельная удлинению кристалла, сохраняется даже при длительном окатывании (брукит - абразивно устойчивый минерал, в процессе переноса сохраняет не только штриховку, но и первоначальную кристаллографическую огранку).

Цвет янтарно-жёлтый, светло-жёлтый, коричневый, буро-коричневый, тёмно-бурый до чёрного и зеленовато-бурый. Часто наблюдается зональная окраска, обычно пятнистая, с неправильным распределением цветов (чаще всего светло-жёлтого и чёрно-бурого) или полосчатая. Цвет в порошке белый, бледный желтоватый. Блеск алмазный, жирный. Спайность не заметна.

Плотность 3.9-4,2, твёрдость 6, хрупок, но раздавливается подобно рутилу с трудом. Показатели преломления $n_g = 2.644 - 2.827$; $n_m = 2.586$; $n_p = 2.541 - 2.681$; $n_g - n_p = 0.103 - 0.146$. Двуосный, положительный. В кислотах не растворяется. Брукит - вторичный минерал, образуется за счёт ильменита и других титанистых минералов. Определяется по форме кристаллов, штриховке, окраске, оптическим свойствам. Реакция на титан (Ti).

Везувиан $Ca_{10}Al_4(Mg,Fe)_2[(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH,F)_4]$. Могут присутствовать Ti и бор (B). Сингония тетрагональная. Призматические или неправильные окатанные зёрна, шестоватые и радиально-лучистые образования. Цвет бурый, коричневый, зелёный, красный, голубой, синий, реже жёлтый (рис. П.20).

Спайность неясная. Блеск стеклянный. Излом раковистый. Плотность 3.34-3.44. Твёрдость 6.5. Полупрозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_o = 1.705 - 1.732$; $n_e = 1.701 - 1.726$; $n_o - n_e = 0.001 - 0.006$. Одноосный, отрицательный, иногда положительный. Плеохроизм изменчивый: в зелёных разностях - от жёлто-зелёного до бесцветного; в коричневых - от жёлто-бурого до буровато-серого; в синих - от тёмно-синего до бесцветного; в красных - от красного до бесцветного или серого.

Частично разлагается в HCl. Определяется по оптическим свойствам.

Волластонит $Ca_3(Si_3O_9)$. Волластонит в шлихах чрезвычайно редок; в силу своей хрупкости, в поверхностных условиях он быстро рассеивается. Для волластонита характерны удлиненные игольчатые кристаллы с шелковистым блеском, бесцветные, реже белые, фарфоровидные, серые и желтые (рис. П.21). По удлинению кристаллов хорошо прослеживается совершенная спайность по (100). Твёрдость благодаря большой хрупкости при надавливании стеклом не более 4.5-5.0. Плотность около 3. По внешнему виду волластонит близок к тремолиту, ангидриту и арагониту. Легко отличается от похожих минералов по яркой желтой люминесценции в катодных лучах, а также по оптическим константам $n_g = 1.631 - 1.635$; $n_m = 1.614 - 1.621$; $n_g - n_p = 0.014 - 0.017$. Двуосный, отрицательный, $2V=40^\circ$. По удлинению прямое угасание.

Волластонит – типичный контактовый минерал. Встречается в известняках вместе с диопсидом, гроссуляром, эпидотом.

Галенит PbS (свинцовый блеск). Содержит примеси Ag, Zn, Se, Sb, Bi, Au, Cu. Сингония кубическая. Встречается в виде кубов, параллельных или двойниковых сростков кристаллов кубического габитуса (рис. П.22), кристаллических агрегатов, прямоугольных пластинок, зёрен с характерной ступенчатой поверхностью. Цвет свинцово-серый, стально-серый, тёмно-серый. На поверхности часто наблюдается чёрный или синеватый налёт или белая

плёнка из церуссита, образующего в большинстве случаев прямоугольную сетку, приуроченную к трещинам спайности. Иногда вместе с церусситом присутствует англезит.

Он образует водяно-прозрачные или сероватые (желтоватые) кристаллические корочки на галените и является продуктом окисления последнего. Цвет порошка галенита - чёрно-серый. Спайность весьма совершенная, по кубу. Блеск металлический от сильного до тусклого. Плотность 7.4-7.6; твёрдость 2.5-3; хрупкий, раздавливается легко. Растворяется в HNO_3 . Микрохимическая реакция на свинец (Pb).

Гематит Fe_2O_3 . Примеси: Ti, Fe^{2+} , Mg, H_2O . Гематит довольно обычен в шлихах, чаще всего образует псевдоморфозы по магнетиту (мартит) или другим железосодержащим минералам. Реже встречается в виде разновидности, называемой железной слюдкой. Сингония тригональная. Форма кристаллов пластинчатая, чешуйчатая (железная слюдка), толсто- и тонкотаблитчатая. Агрегаты плотные, землистые, гроздевидные друзы. Цвет железо-чёрный, у землистых разновидностей буровато-красный (рис. П.23). Черта вишнево-красная. В очень тонких осколках минерал слегка просвечивает по краям красным цветом. Твёрдость 5.5-6.5, для землистых разновидностей – 3.5, минерал хрупкий. Излом неровный, раковистый. Спайности нет, ни иногда наблюдается хорошая отдельность по (1011). Блеск кристаллических разновидностей сильный полуметаллический, землистых – матовый. Плотность 4.9-5.3. Замещается лимонитом. В отраженном свете белый ($R=25\%$), внутренние рефлексии вишнево-красные; анизотропен.

Гематит узнается по таблитчатым кристаллам шестиугольной формы со скошенными ромбоэдрическими гранями, чешуйчатым и пластинчатым формам зерен, черному или темному стальному-серому цвету, буровато-красным землистым массам и вишнево-красной черте. Для гематита характерна пересекающаяся штриховка на гранях базопинакоида. Не плавится. После прокаливания становится магнитным. Растворяется в концентрированной HCl и окрашивает раствор в буровато-желтый цвет.

От похожего ильменита отличается вишневой чертой и просвечиванием в тонких осколках кроваво-красным цветом; от вольфрамиты – отсутствием спайности и отрицательной реакцией на W; от хромита – пластинчатой формой зерен и в отраженном свете (хромит - изотропный); от псиломелана (в землистых агрегатах) - вишневой чертой и отрицательной реакцией на Mn.

Гётит $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$; гидрогётит $\text{FeO}(\text{OH}) \times n\text{H}_2\text{O}$. Лимонит – скрытокристаллический агрегат, в котором преобладает гидрогётит, содержащий механические примеси (гематит, кварц, гидроксиды Mn,

глинистые и другие минералы). Лимонит в шлихах встречается часто, но практического интереса не представляет. Смесь гётита с лимонитом, глинистыми и кремнистыми минералами называют бурыми железняками. Примеси: Cu, Pb, Mn, Ca, иногда Ni, Co, Zr, механическая примесь золота. Сингония ромбическая, кристаллы призматические, столбчатые, шестоватые, игольчатые встречаются редко. Агрегаты натечные, радиально-волокнистые, плотные, сталактитовые, землистые массы, корки, псевдоморфозы по пириту и др. Цвет бурый, черный, коричневый, желтый (рис. П.23). Черта бурая с красноватым оттенком, желтая (лимонит). Твердость 5.0-5.5, у землистых разностей – 2.0-1.0. Плотность 3.5-4.3. Спайность ясная по (010). Блеск алмазный, полуметаллический, у волокнистых разностей шелковистый, у землистых – матовый. В тонких осколках гетит просвечивает бурым. Хрупкий. Лимонит и гетит легко узнаются по характерным агрегатам (землистым, натечным и др.), псевдоморфозы по пириту, бурому и желтому цвету и такой же черте.

Показатель преломления $n = 2,05 - 2,3$. Легко растворяется в HCl с образованием жёлтого раствора, дающего реакцию на Fe^{3+} . Единичные зерна лимонита рекомендуется раздавливать, чтобы не пропустить такие ценные минералы, как ортит, некоторые сульфиды, вторичные продукты которых по цвету и облику напоминают лимонит.

Гиперстен $(Mg,Fe)_2[Si_2O_6]$. Удлиненные зёрна, имеющие неправильные, угловатые очертания, в различной степени окатанные; обломки, часто со ступенчатыми поверхностями спайности (рис. П.24). Цвет коричневатозелёный, серовато-зелёный, оливковый, коричневый. Обычно содержит включения железистых минералов. Блеск стеклянный до перламутрового.

Спайность совершенная по призме под углом около 90° . Излом неровный, ступенчатый. Плотность 3.3-3.5; твёрдость 5-6. При аккуратном раздавливании пироксена между двумя предметными стёклами он распадается по спайности на тонкие пластиночки. Просвечивающий до непрозрачного. Показатель преломления высокий: $n_g = 1.69 - 1.77$; $n_m = 1.69 - 1.76$; $n_p = 1.68 - 1.75$; $n_g - n_p = 0.010 - 0.013$. Двуосный, отрицательный, $2V = 80^\circ$ (уменьшается с увеличением содержания железа). Плеохроизм сильный, особенно в разностях с большим содержанием железа: n_p - розовый или красный; n_m - жёлтый; n_g - зелёный. Некоторые разности растворяются в HCl.

Спутники в шлихах - другие пироксены и амфиболы. Материнские породы - трахиты, андезиты, норит, габбро и другие основные и ультраосновные изверженные породы.

Группа граната. Основные разновидности группы граната: альмандин, гроссуляр, спессартин, андрадит, уваровит, шорломит, пироп.

Альмандин, $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы имеют

додекаэдрический или трапецоэдрический габитус, часто встречаются округленные и неправильной формы зерна, различной степени окатанности. В шлихах часто встречаются остроугольные обломки и кубоиды (псевдокубы - результат растворения или коррозии кристаллов граната) или овальные и изометричные зёрна. Поверхность шероховатая, как бы протравленная, мелкоямчатая, гладкая блестящая; у кубоидов часто каплевидная. Цвет - бледно-розовый, лилово-розовый, красный, жёлто- и буровато-коричневый, коричнево-красный, грязно-розовый (от обилия мелких включений) (рис. П.25). Блеск стеклянный до жирного.

Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.3-3.4; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след). Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления $n = 1.78 - 1.82$ (увеличивается с повышением содержания железа). Изотропный, часто наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением. По свойствам близок к шпинели, от которой отличается магнитностью. Спутники в шлихах - турмалин, мусковит, апатит, роговая обманка.

Часто встречается в гранитах, пегматитах, аплитах, реже в породах среднего состава. Наиболее характерен в контактово-метаморфизованных породах и продуктах регионального метаморфизма. Типичный минерал слюдяных сланцев, гнейсов, амфиболитов.

Гроссуляр $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы додекаэдрического габитуса, октаэдры весьма редки. Часто встречаются округленные или неправильные зёрна различной степени окатанности, остроугольные обломки.

Бесцветный, белый, бледно-зелёный (рис. П.26), жёлтый, бурый, коричневый (гессонит - железистый гроссуляр). Блеск стеклянный до жирного. Спайности нет, но иногда наблюдается штриховка на гранях додекаэдра или трещиноватость. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.53; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след). Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления $n = 1.735 - 1.780$. Изотропный, иногда наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением.

Особо следует сказать о повышенном содержании воды в некоторых гроссулярах, достигающем 4.6%.

Спутники в шлихах - амфиболы, диопсид, цоизит, сфен. Встречается в

скарнах, связанных с основными породами, и других контактово-метаморфизованных образованиях, а также в некоторых сланцах.

Спессартин $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы: додекаэдрического габитуса, округленные, иногда с неправильными ограничениями зёрна различной степени окатанности, не редко остроугольные обломки. Тёмный гиацинтово-красный, буро-красный. Блеск стеклянный до жирного. Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 4.18; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след). Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется.

Прозрачный до просвечивающего (рис. П.27). Показатель преломления $n = 1.805 - 1.815$. Изотропный, иногда наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением.

Встречается в гранитах, пегматитах иногда вместе с топазом, в метаморфизованных породах, часто в кварцитах, сланцах в ассоциации с мусковитом, железистыми минералами, турмалином, сфеном.

Андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы ромбододекаэдрического габитуса (рис. П.28), неправильные зёрна различной степени окатанности, остроугольные обломки. Цвет зеленовато-жёлтый, зелёный, красный, бурый, чёрный (меланит). Прозрачная разновидность андрадита называется демантоид. Блеск стеклянный до жирного.

Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.75; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след). Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления $n = 1.850 - 1.890$. Изотропный, иногда наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением. Спутники в шлихах - амфиболы, пироксены, слюда, магнетит. Материнские породы - сланцы, гнейсы, эклогиты.

Шорломит $Ca_3(Al,Fe,Ti)_2[(Si,Ti)O_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы ромбододекаэдрического габитуса (рис. П.29), неправильные зёрна различной степени окатанности, остроугольные обломки. Цвет чёрный. Прозрачная разновидность андрадита называется демантоид. Блеск стеклянный до жирного.

Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.81-3.88; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след). Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления $n = 1.90 - 2.01$. Изотропный, иногда наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением.

Спутники в шлихах - амфиболы, пироксены, слюда, магнетит. Материнские породы - сланцы, гнейсы, эклогиты.

Уваровит $\text{Ca}_3(\text{Al,Fe,Cr})_2[\text{SiO}_4]_3$. Сингония кубическая. Кристаллы ромбододекаэдрического габитуса, овальные и изометрические зёрна, неправильные зёрна различной степени окатанности, остроугольные обломки. Цвет яркий изумрудно-зелёный (рис. П.30). Блеск сильный стеклянный. Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.41-3.52; твёрдость 6.5-7.5 (оставляет на стекле глубокий след).

Люминесценцией не обладает. В кислотах почти не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления $n = 1.85 - 1.87$. Изотропный. Спутники в шлихах - амфиболы, пироксены, ильменит, хромит, оливин, эпидот, шпинель, магнетит. Материнские породы - серпентиниты, метаморфизованные известняки.

Пироп $(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$. Характерны примеси Cr , Ca , Mn . Сингония кубическая. Неправильные окатанные или полуокатанные зёрна, обломки, искажённые кубоиды. Цвет огненно-красный различных оттенков и интенсивности, малиновый (рис. П.31). Поверхность зёрен гладкая блестящая (индикатор дальности переноса от коренного источника), тонко – и грубо корродированная (скульптурированная). У кубоидов обычно гладкая, каплевидная или ступенчатая.

Спайность несовершенная. Блеск стеклянный. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.58-3.7; твёрдость 7-7.5 (наивысшая у гранатов). Раздавливается с большим трудом; порошок белый, иногда с розоватым оттенком. Люминесценцией не обладает. В кислотах не растворяется. Прозрачный до просвечивающего. Бледно окрашенные пиропы имеют показатель преломления $n = 1.73 - 1.75$; интенсивно окрашенные фиолетовые и фиолетово-красные - $n = 1,76 - 1,77$; малиновые - $n = 1,77 - 1,78$. Изотропны. Важный диагностический признак пироба - способность изменять свою окраску при источнике света, богатом голубой компонентой (солнечный свет, яркое дневное освещение) на сине-зелёную. Причём, чем интенсивнее у пироба окраска, тем более отчётливо прослеживается данный эффект. Малиновые пиропы вообще становятся сине-зелёными. Это свойство позволяет отличать их от розовой шпинели, не имеющей чёткой огранки, лилового альмандина и лилового циркона.

Графит C . Примеси. Механические или сорбированные: H , N , CO_2 , CH (2%), H_2O ; органические H_2S , NH_3 . Аморфная разновидность графита – шунгит. В шлихе встречается редко в виде окатанных частиц или чешуек, листочков черного цвета. Графит гидрофобный минерал, большая часть его не успевает смачиваться, смывается с лотка водой, поэтому в шлих попадают единичные

чешуйки. Сингония гексагональная, кристаллы пластинчатые или таблитчатые, редки. На грани базопинакоида наблюдается треугольная или перистая штриховка (рис. П.32). Агрегаты листоватые, чешуйчатые, тонкокристаллические плотные, иногда волокнистые. Цвет железо-черный до стально-серого. Черта черная, блестящая. Блеск сильный металлоидный, жирный; скрытокристаллические разности матовые. Твердость 1, у шунгита 3.5. Плотность 2.09-2.23; у шунгита 1.84-1.98.

Спайность весьма совершенная по (0001). Тонкие листочки гибкие. Жирный на ощупь, мажет бумагу и руки. Непрозрачный. В отраженном свете. $R=20-23\%$, цвет буровато-серый; очень сильно двуотражает с цветным эффектом от коричневого до голубовато-серого. Резко анизотропен. Реактивы не действуют. Происхождение. 1). Магматическим путем в гранитах и гранитных пегматитах (Урал), нефелиновых сиенитах (Богол, Хибины), базальты (Гренландия). 2). В скарнах графит ассоциирует с гранатом, везувианом, диопсидом, волластонитом (Узбекистан, Канада). 3). Гидротермальный графит встречается в кварцевых жилах с вольфрамитом, галенитом, сфалеритом; в тонкозернистых сульфидных рудах (Приморье); в жилах Талнахского месторождения с сульфидами – миллеритом, пиритом, пирротином, марказитом, также с серпентином, бруситом. 4). Графит широко распространен в метаморфических породах – кристаллических сланцах, гнейсах, мраморах (Украина, Урал). 5). Известны крупные залежи графита, образованные в результате воздействия траппов на каменноугольные залежи (Курейское месторождение). Диагностика. Графит определяется по пластинчатой, чешуйчатой форме зерен, низкой твердости, малому удельному весу – всплывает в бромформе, железо-черному цвету и такой же черте, стойкости к кислотам и щелочам. От похожего молибденита отличается более темным цветом и черной чертой (у молибденита черта голубовато-серая), малой плотностью. Неплавок.

Энстатит $Mg_2[Si_2O_6]$. Mg часто замещается Fe^{2+} (бронзит - железистый энстатит, обладающий зеленоватой или коричневатой окраской и металлоидным блеском). Призматические кристаллы; удлинённые, в различной степени окатанные зёрна; обломки со ступенчатыми поверхностями (рис. П.33). Цвет серовато-жёлтый, кремово-жёлтый, зеленовато-жёлтый, грязно-зелёный. Обычно содержит включения магнетита, апатита или циркона. Блеск стеклянный до перламутрового.

Спайность совершенная по призме под углом около 90° . Излом неровный, ступенчатый.

Плотность 3.1-3.25; твёрдость 5-6. При аккуратном раздавливании пироксена между двумя предметными стёклами он распадается по спайности на тонкие пластиночки. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий (увеличивается с увеличением содержания железа): $n_g =$

1.660 – 1.680; $n_m = 1.654 - 1.674$; $n_p = 1.652 - 1.668$; $n_g - n_p = 0.008 - 0.012$. Двуосный, положительный, $2V = 69 - 72^\circ$. Плеохроизм слабый, зависит от содержания железа: n_p - жёлтый; n_m - буровато-жёлтый; n_g - зелёный. В кислотах не растворяется. Спутники в шлихах - оливин, апатит, пироксены, амфиболы. Материнские породы - изверженные основные и ультраосновные, реже метаморфизованные осадочные.

Диопсид $\text{Ca,Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Сингония моноклинная. Характерны удлиненно-призматические, короткостолбчатые или короткопризматические кристаллы с восьмигранными очертаниями в сечениях. В шлихах в различной степени окатанные; встречаются хорошо окатанные удлинённые зёрна.

Цвет серовато-жёлтый, кремово-жёлтый, зеленовато-жёлтый, грязно-зелёный (рис. П.34). Обычно содержит включения магнетита, апатита или циркона. Блеск стеклянный до перламутрового. Спайность совершенная по призме под углом около 90° . Излом неровный, ступенчатый. Плотность 3.1-3.25; твёрдость 5-6. При аккуратном раздавливании пироксена между двумя предметными стёклами он распадается по спайности на тонкие пластиночки. Прозрачный до просвечивающего.

Показатель преломления высокий (увеличивается с увеличением содержания железа): $n_g = 1.660 - 1.680$; $n_m = 1.654 - 1.674$; $n_p = 1.652 - 1.668$; $n_g - n_p = 0.008 - 0.012$. Двуосный, положительный, $2V = 69 - 72^\circ$. Плеохроизм слабый, зависит от содержания железа: n_p - жёлтый; n_m - буровато-жёлтый; n_g - зелёный. В кислотах не растворяется. Диопсид – минерал характерный для магматических пород, но часто встречается в контактово-метаморфических породах совместно с гранатом, везувианом, волластонитом.

Жадит $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Кристаллы редки, обычно встречаются пластинчатые, тонкошестоватые, короткостебельчатые и волокнистые переплетающиеся агрегаты. Цвет яблочно-зелёный, голубовато-зелёный, белый (рис. П.35). Блеск стеклянный. По внешнему виду похож на нефрит.

Спайность совершенная. Излом неровный до занозистого, ступенчатый. Плотность 3.3-3.4; твёрдость 6.5-7. При аккуратном раздавливании пироксена между двумя предметными стёклами он распадается по спайности на тонкие пластиночки. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления: $n_g = 1.667$; $n_m = 1.659$; $n_p = 1.654$; $n_g - n_p = 0.013$. Двуосный, положительный.

В кислотах не растворяется. Спутники в шлихах - глаукофан. Встречается преимущественно в метаморфических образованиях и в основных породах щелчного состава.

Геденбергит $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Призматические и шестоватые кристаллы в различной степени окатанные и их обломки. Часто содержит включения ильменита, магнетита и других минералов.

В процессе переноса быстро разрушается и не выдерживает перемещения на большие расстояния. Цвет тёмно-зелёный до зеленовато-чёрного. Блеск стеклянный. Спайность ясная по призме. Излом неровный. Плотность 3,5-3,6; твёрдость 5.5-6. Показатель преломления: $n_g = 1.738 - 1.757$; $n_m = 1.732 - 1.745$; $n_p = 1.711 - 1.739$; $n_g - n_p = 0.018 - 0.027$. Двуосный, положительный, $2V = 60^\circ$. В кислотах практически не растворяется. Геденбергит в чистом виде встречается в контактных породах и рудных жилах, нередко образует гранат-геденбергитовые скарны (рис. П.36).

Эгирин $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Сингония моноклинная. Разновидности: акмит - остроконечные кристаллы, содержащие Fe, Ti и Al; эгирин - кристаллы с тупыми окончаниями. Разновидности: эгирин-авгит, эгирин-диопсид, эгирин - геденбергит. Столбчатые, длиннопризматические или шестоватые кристаллы (рис. П.37) в различной степени окатанные; обломки агрегатов кристаллов с характерной вертикальной штриховкой граней. Цвет зелёный различных оттенков - от чёрно-зелёного до буровато-зелёного. Блеск сильный стеклянный, на гранях темноокрашенных кристаллов металловидный.

Спайность, совершенная по призме под углом около 87° , иногда наблюдается отдельность. Излом неровный, на окончаниях зёрен раковистый, иногда занозистый. Плотность 3.4-3.6; твёрдость 5.5-6. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1.780 - 1.825$; $n_m = 1.768 - 1.770$; $n_p = 1.740 - 1.775$; $n_g - n_p = 0.040 - 0.052$. Двуосный, отрицательный.

Плеохроизм отчётливый: n_g - зеленоватый, желтоватый, светлый зеленовато-бурый; n_p - травяно-зелёный, буро-зелёный, иногда бурый. В кислотах разлагается с трудом. Спутники в шлихах - щелочные роговые обманки, сфен, апатит, циркон, ильменит. Материнские породы - щелочные изверженные породы - нефелиновые сиениты, фонолиты.

Доломит $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. Сингония тригональная. Таблитчатые зёрна, ограниченные поверхностями спайности, неправильные угловатые или слабо окатанные зерна. Цвет серовато-белый, иногда с желтоватым или бурым оттенком (рис. П.38). Блеск стеклянный. Спайность совершенная, по ромбоэдру. Излом неровный и раковистый. Плотность 2.8-3.0, твёрдость 3.5-4.

В ультрафиолетовом свете некоторые зёрна слабо люминесцируют белым, голубоватым, жёлтым или красноватым цветом; в катодных лучах - оранжевым и красновато-оранжевым цветом.

Прозрачен и бесцветен, иногда зонально окрашен в сероватый и буроватый цвет. Показатели преломления $n_o = 1.679 - 1.702$; $n_e = 1.500 - 1.514$; $n_o - n_e = 0.179 - 0.188$. Одноосный, отрицательный. В HCl на холоде разлагается без вскипания; при нагревании вскипает.

Типичный минерал осадочных пород. В магматических породах встречается как гидротермальный – в жилах, пустотках, но значительно реже, чем кальцит.

Золото Au, содержит примеси Ag, Fe, Cu, Ni. Сингония кубическая. Неправильные или пластинчатые зёрна, часто искривлённые или скрученные; лепешковидные и округлые зёрна (рис. П.39), листочки, чешуйки; редко кристаллы октаэдрического габитуса, как правило, искривлённые и деформированные. Некоторые золотишки имеют древовидную, проволочную или крючковидную форму. Поверхность зёрен неровная, ямчатая или шероховатая, с бороздами и углублениями. Цвет золотисто-жёлтый, иногда с красноватым или зеленоватым оттенком. Иногда зёрна покрыты с поверхности бурой железистой плёнкой (рубашкой). Блеск металлический, сильный.

Спайность отсутствует, излом крючковатый. Ковкое и тягучее. Плотность 15.6-19.3, твёрдость 2.5-3. В кислотах не растворяется, растворяется в царской водке.

Ильменит (титанистый железняк) $FeTiO_3$. Содержит примеси Mg (гейкилит), Mn, Sr. Сингония тригональная. Кристаллы таблитчатого, пластинчатого (шестиугольные пластинки со скошенными краями) или ромбоэдрического габитуса в разной степени окатанные, обломки кристаллов, неправильные уплощенные угловатые или угловато-окатанные зёрна (рис. П.40). Цвет железо-чёрный, буро-чёрный. Иногда с поверхности покрывается беловатым налётом лейкоксена. При раздавливании иглой даёт порошок серого цвета, неизменённые разности - тёмно-серого цвета. Блеск металлический или металлоидный, часто с пурпурной побежалостью.

Спайность не наблюдается. Излом неровный, раковистый. Плотность 4.5-5.0, твёрдость 5-6. Непрозрачный, в тонких осколках просвечивает бурым. Показатель преломления $n_o = 2,31$; $n_e = 1,95$; $n_o - n_e = 0,36$. Одноосный, отрицательный. С трудом растворяется в HCl. Определяется по форме кристаллов, по порошку, по налётам лейкоксена. Микрохимическая реакция на Ti.

Ильменит типичный гипогенный минерал. В качестве акцессорного минерала установлен в породах ультраосновного, основного, среднего и кислого составов. Крупные скопления ильменита магматического происхождения связаны с породами типа габбро; встречаются скелетные и пластинчатые вроски ильменита в некоторых хромитах

Ильменорутит $(\text{Ti,Nb,Fe})\text{O}_2$. Содержит примеси Mn, Sn, W и др. Сингония тетрагональная. По характеру развития граней и общему облику кристаллов подобен рутилу.

Кристаллы призматические с характерной вертикальной штриховкой, обычно плохо образованные и не имеют конечных граней; неправильные удлинённые или округлые желвакоподобные выделения в сростании с кварцем или лейкоксенном; угловатые зёрна неправильной формы различной степени окатанности; обломки призматических кристаллов.

Цвет от чёрного, буро-чёрного до коричнево-бурого (рис. П.41), характерен зеленоватый оттенок. Окраска часто распределяется пятнисто. В порошке бурый, коричневатый, зеленовато-бурый. Блеск от алмазного до смолистого. Излом неровный.

Спайность неясная. Плотность 4.8-5.6, твёрдость 6. Просвечивает до прозрачного. Показатель преломления $n_e = 2.66$; $n_o = 2.32$; $n_o - n_e = 0.34$. Одноосный, положительный. Плеохроизм заметный (до сильного) в зеленовато-бурых тонах. От рутила отличается микрохимической реакцией на Nb, от тантало-ниобатов - анизотропностью и высоким двупреломлением.

Кальцит CaCO_3 . Сингония тригональная. В шлихах обломки угловатые, в разной степени окатанные. Цвет белый, иногда с сероватым, желтоватым оттенком. Блеск от слабого стеклянного до матового.

Спайность совершенная, по ромбоэдру. Излом неровный и раковистый. Плотность 2.7-2.73, твёрдость 3. В ультрафиолетовом свете и катодных лучах некоторые зёрна люминесцируют оранжево-красным, желтым или голубоватым, в катодных лучах оранжевым или рябиново-красным цветом. Прозрачен или просвечивает (рис. П.42). Показатели преломления $n_o = 1.658$; $n_e = 1.486$; $n_o - n_e = 0.172$. Одноосный, отрицательный. В кислотах хорошо разлагается.

Касситерит SnO_2 (оловянный камень). Иногда содержит примеси Ta_2O_5 , Ni_2O_5 . Сингония тетрагональная. Встречается в виде неправильных угловатых зёрен, одиночных призматических, оканчивающихся дипирамидой, кристаллов или коленчатых двойников и их обломков, а также частиц агрегатного сложения и радиально-лучистых натёчных образований с концентрическим наращиванием тонких слоёв (деревянистое олово). Зёрна обычно покрыты трещинками и мелкими углублениями. Цвет жёлто-коричневый, тёмно-коричневый, буро-коричневый, жёлтый, янтарно-жёлтый, оранжевый, зеленовато-жёлтый, чёрно-бурый. Распределение окраски часто пятнистое, иногда зональное, полосчатое. Цвет порошка у тёмно окрашенных разновидностей -

светло-бурый; у светло окрашенных - розовато-серый, белый, бледный жёлтый. Блеск алмазный, жирный. Спайность несовершенная. Излом ступенчато-неровный, мелко раковинчатый. Плотность 6.8-7.1, твёрдость 6-6.5, хрупок, раздавливается средне.

Касситерит частично или полностью прозрачен, тёмно окрашенные разности просвечивают бурым или красновато-бурым (рис. П.43). Показатели преломления $n_e = 2,093$; $n_o = 1,997$; $n_e - n_o = 0,096$. В тёмных разностях интерференционная окраска часто маскируется естественным цветом.

Одноосный, положительный, иногда даёт аномально двуосную фигуру с небольшим углом оптических осей. Окрашенные разности иногда плеохроичны: n_e - бесцветный, золотисто-жёлтый, серый; n_o - красный, бурый, чёрный. В кислотах не растворяется. Микрохимическая реакция на олово (Sn).

Кварц SiO_2 . Сингония тригональная. Разновидности: аметист - фиолетовый кварц; цитрин (ложный топаз) - жёлтый кварц; авантюрин - кварц с блестящими включениями чешуек слюды или гематита; халцедон, агат, яшма - скрытокристаллические разновидности кварца. В шлихах преобладают изометричные обломки неправильной формы различной округленности – от остроугольных до окатанных. Некоторые зерна имеют правильные кристаллографические очертания (рис. П.44). Отмечаются корродированные и регенерированные зерна. Чистые разновидности кварца бесцветны, примеси окрашивают его в жёлтый, розовый, зелёный, бурый, синий или чёрный цвета.

Зерна могут быть прозрачными (лишенными включений), полупрозрачными и непрозрачными при наличии включений. Часто содержит включения рутила, силлиманита, турмалина, эпидота, ильменита и других минералов или жидкие и газообразные включения.

Иногда поверхность покрыта пигментной пленочкой гидрооксидов железа. Блеск стеклянный, иногда жирный. Спайность неясная, излом неровный, занозистый, раковистый. Плотность 2.65-2.66, твёрдость 7. В катодных лучах люминесцирует синим, розовым или фиолетовым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления: $n_e = 1.553$; $n_o = 1.544$; двупреломление низкое: $n_o - n_e = 0,009$. Одноосный, положительный, изредка аномально двуосный. Погасание волнистое; прямое - параллельно ребру призмы или вертикальной оси. Не плеохроирует. В кислотах не растворяется. Происхождение - изверженные, главным образом кислые горные породы; пегматиты, кварцевые жилы, рудные тела, песчаники, кристаллические метаморфические породы; отложения горячих ключей и гейзеров.

Кианит $Al_2[SiO_4]O$ (дистен). Сингония триклинная. Встречается в виде угловатых, в различной степени окатанных, зёрен, обычно сохраняющих главные морфологические признаки: характерную дощатую и удлинённо-пластинчатую форму. Хорошо окатанные зёрна имеют дискоидальный или лепёшковидный облик и всегда несколько вытянуты в одном направлении (рис. П.45). Цвет белый, голубоватый, синий, серый, тёмно-серый (от обилия включений углистых частиц и железа). Отмечаются и совершенно бесцветные и прозрачные зёрна. Голубая и синяя окраска часто распределяется неравномерно - пятнами или полосами. Спайность по (100) весьма совершенная, по (010) менее совершенная; по (001) отмечается отдельность, вследствие чего зёрна минерала обнаруживают две системы трещин, располагающихся почти перпендикулярно друг другу. Блеск стеклянный, из-за многочисленных внутренних трещинок - перламутровый.

Излом неровный, занозистый. Плотность 3.5-3.7. Твёрдость 4-7: на грани (100) твёрдость 4-5; на грани (010) - 7. В катодных лучах слабо люминесцирует малиново-красным цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_g = 1.729$; $n_m = 1.722$; $n_p = 1.714$; $n_g - n_p = 0,015$. Двуосный, отрицательный, $2V = 82^\circ$. Погасание косое: по (100) с n_g 27 - 30°, по (010) - 5 - 8°. Окрашенные зерна плеохроируют: n_p - бесцветный; n_m - фиолетово-синий; n_g - тёмно-синий. В кислотах не растворяется. Определяется по форме зёрен, спайности, оптическим свойствам.

Киноварь HgS . Сингония тетрагональная. Встречается в виде ромбоэдрических и толстотаблитчатых кристаллов, двойниковых сростков, кристаллических корочек, окатанных зёрен и осколков слабо или угловато-окатанных; редко в виде частиц тонкозернистого и скрытокристаллического сложения.

Поверхность зёрен неровная, шероховатая или мелко-ямчатая (рис. П.46). Цвет красный, ало-красный, иногда коричневатокрасный. Спайность совершенная, излом раковистый, неровный. Блеск алмазный, жирный.

Плотность 8-8,2, твёрдость 2.0-2.5. Одноосная, положительная; $n_e = 3.27$; $n_o = 2.91$; $n_o - n_e = 0.36$. В кислотах не растворяется. Растворяется в царской водке и смеси HCl и H_2O_2 . Микрохимическая реакция на ртуть (Hg).

Клиноцоизит $Ca_2Al_3Si_3O_{12}[OH]$. Минерал из группы эпидота, образующий с ним непрерывный изоморфный ряд. Сингония моноклинная. Окатанные призматические кристаллы, зёрна неправильной формы. Бесцветен или окрашен в бледный сероватый цвет (рис. П.47).

Спайность несовершенная, проходит по удлинению зёрен. Блеск

стеклянный. Излом неровный. Плотность 3.35-3.38. Твёрдость 6.5.

Прозрачный. Показатели преломления $n_g = 1.734$; $n_m = 1.729$; $n_p = 1.724$; $n_g - n_p = 0.010$. Двуосный, положительный, $2V = 85^\circ$. Погасание косое. Окрашенные зёрна слабо плеохроируют. В кислотах не растворяется. Определяется по оптическим свойствам; от эпидота отличается более низким показателем преломления и двупреломлением; от цоизита - более высоким показателем преломления, косым погасанием, отсутствием тёмно-синей интерференционной окраски.

Корунд Al_2O_3 . Сингония тригональная. Боченовидные и призматические, слегка окатанные кристаллы или зёрна неправильной формы. Цвет белый, серый, жёлтый, синий – сапфир, красный – рубин (рис. П.48). Часто окраска распределяется неравномерно - пятнами. Блеск стеклянный до алмазовидного (на сколах), жирный (у окатанных зёрен). Спайность отсутствует. Излом раковистый, неровный. Плотность 3.95-4.10; твёрдость 9, раздавливается с большим трудом, оставляя на предметном стекле глубокую вмятину. В порошке - белый. Люминесцирует голубым или красным цветом в катодных и ультрафиолетовых лучах.

Непрозрачен или просвечивает в краях зёрен. Показатели преломления $n_o = 1.765 - 1.771$; $n_e = 1.759-1.763$; $n_o - n_e = 0.008$. Одноосный, отрицательный, часто дает аномальную двуосную фигуру с небольшим углом оптических осей, $2V = 30^\circ$. Ярко окрашенные разности плеохроируют: n_e - зелёный, синий или бесцветный; n_o - синий. В кислотах не растворяется. От красной шпинели и гранатов отличается оптическими свойствами.

Колумбит-танталит $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$. Непрерывный изоморфный ряд, крайними членами которого являются колумбит - почти чистый ниобат $(Fe,Mn)Nb_2O_6$ и танталит - почти чистый танталат железа $FeTa_2O_6$. Содержат примеси Sn, W, Ti. Сингония ромбическая. Кристаллы пластинчатого, толстотаблитчатого, короткостолбчатого и призматического габитуса, редко - призматически-дипирамидального габитуса. Грани часто покрыты грубой вертикальной штриховкой, нередко ступенчатые и бороздчатые (рис. П.49). Встречается также в виде обломков перечисленных выше кристаллов, удлинённых плоских или неправильных зёрен в той или иной степени окатанных, реже остроугольных. Цвет чёрный, буро-чёрный, в порошке - серо-бурый, красновато-бурый. Важным диагностическим признаком колумбита является наличие красноватых внутренних рефлексов. В тонких осколках просвечивает красновато-бурый. Блеск полуметаллический на гранях кристаллов, смолистый в изломе. Спайность несовершенная. Излом неровный

или неясно раковистый. Плотность 5.15-8.20, в зависимости от содержания Nb_2O_5 или Ta_2O_5 , твёрдость 6, раздавливается с трудом. Непрозрачный, в тонких осколках просвечивает. Показатель преломления $n_g = 2.25 - 2.43$; $n_m = 2.28 - 2.45$; $n_p = 2.15 - 2.26$; $n_g - n_p = 0.10 - 0.17$. Двуосные. Колумбит оптически отрицательный, танталит - положительный.

В кислотах не растворяются. Микрохимическая реакция на ниобий или тантал (Nb или Ta).

Лейкоксен $TiO_2 \times aq$ - продукт поверхностных изменений ильменита и других титановых минералов. Зёрна лейкоксена, полностью заместившего ильменит, имеют округлую, овальную, дискоидальную форму, гладкую поверхность (рис. П.50).

Цвет белый, желтоватый, серый, зеленоватый. Блеск тусклый, матовый. Плотность 3.5-4.5, твёрдость 4-5. Часто выделяется в виде пленки на ильмените и тогда попадает в слабомагнитную фракцию. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ даёт реакцию на Ti (Капченова, 1979).

Магнезит $MgCO_3$. Сингония тригональная. Обломки тонкозернистых агрегатов, угловатые или окатанные зёрна. Встречаются аморфные разновидности (рис. П.51). Цвет белый, иногда с сероватым, желтоватым или голубоватым оттенком. Блеск от стеклянного до матового. Спайность совершенная, по ромбоэдру. Излом неровный и раковистый. Плотность 2.9-3.1, твёрдость 4-4.5. В ультрафиолетовом свете и катодных лучах некоторые зёрна люминесцируют белым, голубоватым или красноватым цветом. Прозрачен или просвечивает. Показатели преломления $n_o = 1.700 - 1.726$; $n_e = 1.509 - 1.527$; $n_o - n_e = 0.191 - 0.199$. Одноосный, отрицательный.

В кислотах разлагается только при нагревании. От доломита отличается оптическими свойствами. Встречается в магматических породах в виде вторичного минерала, образующегося за счет разрушения первичных. Метасоматический магнезит встречается в известняках, метаморфический – в тальковых и хлоритовых сланцах, лиственитах и серпентинитах.

Магнетит (магнитный железняк) $FeFe_2O_4$. Fe может частично замещаться Mg, Mn, Al, Ni, Fe. Часто содержит примесь TiO_2 . Сингония кубическая. Встречается в виде кристаллов-октаэдров, ромбододекаэдров и неправильных зёрен и обломков (рис. П.52). Цвет железо-чёрный, у окисленных зёрен - красновато-бурый (мартит - неполные псевдоморфозы гематита по магнетиту). Цвет порошка чёрный до буро-чёрного. Блеск металлический или полуметаллический.

Спайность отсутствует, иногда наблюдается отдельность, излом

неровный, неясно раковистый.

Плотность 4.9-5.2, твёрдость 5.5-6 (раздавливается с трудом). В результате изменения магнетит переходит в гематит, лимонит. Встречается в породах любого генезиса.

Малахит $\text{CuCO}_3\text{-Cu(OH)}_2$. Сингония моноклинная. Частицы плотного или скрытокристаллического сложения, обломки скорлуповатых и почковидных натёчных форм, имеющих радиально-лучистое строение; землистые агрегаты из различных минералов Cu; окатанные и угловато-окатанные зёрна. Редко отмечается в виде псевдоморфоз малахита по куприту (октаэдрические кристаллы), халькопириту (тетраэдры и неправильные зёрна) и самородной меди. Цвет зелёный с голубоватым оттенком (рис. П.53), в порошке - бледно-зелёный. Блеск от матового до алмазовидного.

Спайность незаметная. Излом неровный, раковинчатый. Плотность 3.9-4.1, твёрдость 3.5-4, хрупкий. В катодных лучах люминесцирует синим цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_g = 1.909$; $n_m = 1.875$; $n_p = 1.655$; $n_g - n_p = 0.254$. Двуосный, отрицательный. $2V = 38^\circ$. Плеохроизм: n_p - почти бесцветный; n_m - желтовато-зелёный; n_g - тёмно-зелёный. Легко растворяется в HCl с выделением пузырьков, раствор даёт реакцию на медь (Cu).

Малахит – характерный минерал зоны окисления рудных месторождений. Обычные минералы-спутники малахита – азурит, хризокола, куприт, самородная медь, гидроокислы железа, вторичные минералы свинца и цинка.

Медь самородная, Cu, содержит примеси Ag, Fe, Pb, Sb. Сингония кубическая. Кристаллизуется в искаженных кубах или кубооктаэдрах. Явные кристаллы редки, чаще неправильные, пластинчатые, закрученные или древовидные образования (рис. П.53).

Цвет медно-красный, блеск металлический. Часто на поверхности отмечаются налёты малахита. Спайность отсутствует, излом крючковатый. Ковкая. Плотность 8.5-8.9, твёрдость 2.5-3. Растворяется в HNO_3 с выделением бурых окислов азота, химическая реакция на медь (Cu).

В шлихах встречается редко, лишь вблизи коренных месторождений в виде окатанных неправильных пластинок. Определяется по окраске, форме зерен и налетам малахита.

Молибденит MoS_2 (молибденовый блеск). Сингония гексагональная. Встречается в виде мелких чешуек с неровными краями (рис. П.54).

Цвет свинцово-серый. Спайность весьма совершенная. Блеск металлический, тусклый. Плотность 4.7-4.8, твердость 1.5-2, быстро истирается и разрушается при переносе от коренного источника. Микрохимическая

реакция на Мо.

Монацит (Ce,La...)PO₄. Содержит изоморфные примеси ThSiO₄ и ThO₅CaO₅PO₄. Сингония моноклинная. В шлихах встречается в виде хорошо окатанных округлых зёрен, реже в виде плоских кристаллов, иногда призматических. Часто содержит включения торита и редких земель. С поверхности иногда покрыт беловатым налётом. Цвет желтый, бурый, красно-бурый, реже зеленоватый, белый, бесцветный. Блеск стеклянный, смолистый.

Спайность по (100) ясная, по (010) неясная, по (001) совершенная. Излом раковистый до неровного. Плотность 4.9-5.5, твёрдость 5-5.5, хрупкий. Прозрачный до просвечивающего или полупрозрачный (рис. П.55). Показатели преломления $n_g = 1.837 - 1.849$; $n_m = 1.787 - 1.801$; $n_p = 1.787 - 1.800$, $n_g - n_p = 0.045 - 0.055$. Двуосный, положительный, $2V = 6 - 19^\circ$. В толстых зёрнах наблюдается плеохроизм в жёлтых тонах.

В кислотах почти не растворяется. Микрoхимическая реакция на Р. По внешнему виду может быть сходен со ставролитом, сфеном, эпидотом, оливином, от которых отличается оптическими свойствами и положительной реакцией на Р.

Происхождение - граниты, гнейсы, пегматиты, аплиты, где он встречается в виде акцессорного минерала. Спутники: циркон, апатит, ильменит, рутил, гранат, турмалин, золото, хромит, алмаз.

Мусковит $KaAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ (калиевая слюда). Разновидность: серицит - гелеобразные скрытокристаллические выделения с жирным, шелковистым или восковым блеском.

Сингония моноклинная. Пластинчатые псевдогексагональные кристаллы или тонкие чешуйки с весьма совершенной спайностью по (001) (рис. П.56).

При надавливании иглой кристаллы расщепляются на тонкие листочки по спайности. Окраска от бесцветной до желтоватой. Блеск стеклянный, перламутровый. Плотность 2.76-3.1, твёрдость 2-3. Показатель преломления увеличивается по мере увеличения железа: $n_g = 1.588 - 1.615$; $n_m = 1.582 - 1.611$; $n_p = 1.552 - 1.572$; $n_g - n_p = 0.036 - 0.043$, при наблюдении пластинок спайности (001) - $n_g - n_p = 0.004 - 0.006$. Пластинки по спайности дают очень хорошую интерференционную фигуру.

Одноосный, отрицательный, $2V$ около 45° . В кислотах не растворяется.

Происхождение - изверженные и метаморфические породы. Всегда ассоциирует с другими слюдами.

Оливин $(Mg,Fe)_2(SiO_4)$ (синонимы - хризолит, перидот). Содержит примеси TiO₂, Sn, Ni. Сингония ромбическая. Призматические кристаллы различной

степени окатанности, неправильной формы зёрна. Встречается обычно недалеко от коренных выходов. Часто зёрна полуразрушены и покрыты трещинами. Цвет зелёный различных оттенков, зеленовато-жёлтый, жёлто-бурый (рис. П.57). Блеск стеклянный. Спайность ясная по (010) и слабая по (100). Излом неровный, раковистый. Хрупкий. Плотность 3.0-3.5; повышается с увеличением содержания железа; твёрдость 6.5-7. Прозрачный до просвечивающего.

Показатель преломления увеличивается при повышении содержания железа: $n_g = 1.67 - 1.73$; $n_m = 1.66 - 1.68$; $n_p = 1.63 - 1.69$; $n_g - n_p = 0.035 - 0.044$.

Двуосный, положительный или отрицательный (в зависимости от содержания Fe), $2V = 70 - 90^\circ$ (при содержании FeO более 13% $2V$ превышает 90° и оптический знак становится отрицательным). Плеохроизм отсутствует. В HCl растворяется с выделением SiO₂ при выпаривании. Материнские породы - основные и ультраосновные и изверженные породы (перидотиты, нориты, базальты, габбро, диабазы), метаморфизованные осадочные породы, обогащённые Mg и SiO₂, метеориты. Спутники: хромит, пикотит, магнетит, шпинель, платина.

Ортит (Ca,Ce.Y.Th)₂(Fe,Al,Mg)₃[SiO]₄×[Si₂O₇]O[OH] (синоним - алланит). Разновидность эпидота, содержащая редкие земли - Ce, La, Y и др. Сингония моноклинная. Призматические и таблитчатые кристаллы в различной степени окатанные; неправильные и угловатые зёрна. Цвет чёрный, бурый (рис. П.58). Спайность несовершенная. Излом неровный до неясно раковистого. Блеск стеклянный, смолистый. Плотность 3.0-4.2, твёрдость 5-6.

Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1.66 - 1.80$; $n_m = 1.65 - 1.78$; $n_p = 1.64 - 1.77$. Оптически двуосный, отрицательный. Двупреломление различное, $2V$ большой. Ортит часто бывает изотропным. Изотропные разности характеризуются меньшей плотностью и низкими показателями преломления. Иногда в шлихах присутствуют зёрна, представляющие собой неоднородную смесь чистого минерала с изменённым. Плеохроизм сильный: n_g - зеленовато-бурый; n_m - красно-бурый; n_p - буро-жёлтый.

Некоторые разновидности растворяются в HCl с выделением гелеобразного осадка. Происхождение - кислые изверженные породы, пегматиты, метаморфические породы (гнейсы, амфиболиты), магнетитовые руды. Спутники в шлихах - эпидот, магнетит. Точная диагностика требует спектрального анализа.

Опал $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$. Сингония аморфная. Разновидности: опалы, образующиеся из кремнезёма выветривающихся силикатных пород, заполняя трещины и пустоты в них или проникая в их массу, получают «нечистыми». К ним относятся: полуопал, мутный, с жирным блеском, белого, серого, жёлтого, красного и бурого цветов. При замещении опалом древесных остатков образуется древесный опал, сохраняющий текстурный рисунок древесины (окаменелое дерево). Формы выделения: гроздьевидные или почковидные агрегаты аморфного кремнезёма, выполнение трещин. Землистые, рыхлые отложения микроскопических организмов, главным образом диатомей, называются трепелом. Окраска бывает различна. Бесцветные или прозрачные разновидности называются гиалит или молочный опал.

Разнообразие более тёмных окрасок (синий, насыщенно-зелёный, ярко-красный, коричневый, янтарно-жёлтый) обусловлено примесями. Блеск стеклянный, у пористых масс восковой или матовый. Для полупрозрачных разновидностей характерна цветовая игра – опалесценция (рис. П.59). Спайность отсутствует, излом раковистый. Плотность 1.9-2.3 (зависит от содержания воды и количества адсорбированных тяжелых веществ); твёрдость 5-6.5. Двупреломление, дисперсия, плеохроизм отсутствуют. Люминесценция: у белых — белая, голубая, красноватая, зеленоватая; у чёрных — всех цветов радуги; у огненных — зеленоватая до бурой. По происхождению осадочный, гипергенный или низкотемпературно-гидротермальный. Встречается в виде прожилков, заполняя трещины вмещающих пород. Из рассеянных мелких частиц опала состоят горные породы диатомит, трепел и опока. Опал образует различного рода натёчные формы или желваки, нередко образует псевдоморфозы по различным минералам, также пропитывает различные животные и растительные остатки, образуя окаменелости. Иногда встречается в виде землистых масс или тончайшего порошка.

Перовскит CaTiO_3 (кнопит - разновидность, содержащая Ce и Fe). Сингония кубическая. Окатанные кристаллы кубической формы, неправильные зёрна, остроугольные или окатанные обломки.

Грани куба покрыты штриховкой (рис. П.60). Цвет жёлтый, белый, бурый, чёрный. Блеск алмазный до металловидного.

Показатель преломления $n = 2.38$. Изотропный, но иногда аномально двуосный, положительный. Растворяется в кипящей H_2SO_4 . Микрохимическая реакция на Ti.

Пирит FeS_2 (железный колчедан, серный колчедан). Содержит примеси Co, Au, Cu, Sb, Ag, As и Ni. Сингония кубическая. Встречается в кубах или пентагональных додекаэдрах, имеющих штриховку на гранях (рис. П.61),

окатанных и неправильных зёрнах, осколках. В россыпях легко окисляется и превращается в лимонит, который часто покрывает пирит с поверхности. Часто лимонит полностью замещает пирит, такие зёрна слабо магнитны.

Спайность отсутствует, излом неровный, раковистый. Цвет светло-жёлтый, латунно-жёлтый, в порошке - чёрный с зеленоватым оттенком. Блеск металлический. Плотность 4.6-4.9, твёрдость 6 (единственный из сульфидов минерал, который царапает стекло). Растворяется в горячей HNO_3 с выделением S.

Пирролюзит MnO_2 . Наблюдается в мелких короткопризматических, иногда игольчатых зернах. Часто встречаются оолитовые, пизолитовые, конкреционные обособления (рис. П.62). В виде механических примесей обычно присутствуют: Fe_2O_3 , SiO_2 , H_2O и др. Кристаллическая структура типа рутила. Минерал не просвечивается, является непрозрачным. Цвет стально-серый до черного, иногда с синеватой побежалостью, заметен голубоватый оттенок. Блеск металлический, у землистых агрегатов матовый, у тонкошестоватых – шелковистый. Спайность несовершенная. Плотность 4.7-5.0; твёрдость 2.0-2.5. Под микроскопом в иммерсионном препарате непрозрачный. От других чёрных марганцевых минералов, обладающих чёрной чертой, отличается сильным блеском, характерной спайностью, хрупкостью и сравнительно низкой твёрдостью. В соляной кислоте растворяется с выделением хлора, окрашивая раствор в бурый цвет, бурно вскипает в перекиси водорода. Микрохимическая реакция на Mn.

Пирролюзит довольно распространённый гипергенный минерал зоны окисления марганцевых и железо-марганцевых месторождений.

Пирротин (магнитный колчедан) $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$. Сингония гексагональная.

Неправильные угловатые зёрна и осколки бронзово-жёлтого цвета (рис. П.63) с томпаково-бурой побежалостью, цвет порошка чёрный. Легко окисляется и покрывается с поверхности чёрным налётом. Блеск металлический тусклый. Спайность несовершенная, излом неровный до полураковистого. Плотность 4.6-4.7; твёрдость 3.5-4.5; хрупкий, раздавливается средне. Растворяется в HCl и HNO_3 с выделением серы и H_2S , микрохимическая реакция на Fe.

Платина Pt содержит примеси Fe, Ir, Rd, Os. Сингония кубическая. В россыпях встречается в виде округлых или сплюснутых зёрен (рис. П.64.), самородков, редко кристаллов или древовидных образований. Цвет белый, серый, черта серая, блеск металлический.

Спайность отсутствует, излом крючковатый. Ковкая. Поверхность зёрен неровная, ямчатая. Плотность 14-19, твёрдость 4-4.5. Магнитные разности,

содержащие Fe в кислотах не растворяется, проверяется микрохимической реакцией на Pt.

Полевые шпаты - группа алюмосиликатов K, Na, Ca, реже Ba, сходных по химическому составу и внешнему виду - ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$, микроклин $K[AlSi_3O_8]$, анортоклаз $(Na,K)[AlSi_3O_8]$, альбит $Na[AlSi_3O_8]$, анортит $Ca[AlSi_3O_8]$. Ортоклаз чаще всего имеет неправильную форму, обычно бесцветный. Сингония моноклинная. Микроклин также бесцветный, обычно ярко окрашен в зеленый цвет амазонит, имеющий как и микроклин триклинную сингонию. Амазонит часто содержит пертитовые вроски альбита (рис. П.65). Плагииоклазы обычно белые, бледно-жёлтые, розовые, красноватые и зеленоватые. Отличается по цвету лабрадор, который обладает серой, темно-серой окраской, ирризирует с перламутровым отливом. Блеск стеклянный, перламутровый. Спайность по двум направлениям - по (001) и (010), пересекающимся под углом 90° или близким к 90° . Излом неровный или раковистый. Плотность 2.5-2.9, твёрдость 6-6.5.

Ярко люминесцируют в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. Прозрачные. Показатели преломления низкие: $n_g = 1.52 - 1.588$; $n_m = 1.529 - 1.83$; $n_p = 1.525 - 1.575$; $n_g - n_p = 0.006 - 0.013$. Интерференционная окраска располагается правильными полосами или клетками, обусловленными полисинтетическими двойниками. В кислотах не растворяются.

Полевые шпаты являются главными составными частями магматических горных пород. Они составляют основную часть большинства пегматитов и таких метаморфических пород, как гнейсы и сланцы

В виде мелких зерен наблюдаются в осадках, часто образуя морские и речные пески вместе с кварцем и другими минералами, попавшими туда в результате разрушения интрузивных пород кислого состава.

Псиломелан (вад) $mMnO \times MnO_2 nH_2O$. Содержит примеси Ba, Ca, Co, Mg, Zn и др. Натёчные и шаровидные выделения микрокристаллического или аморфного строения, иногда дендритовидные образования (рис. П.66). Цвет чёрный, буровато-чёрный.

Под микроскопом в иммерсионном препарате непрозрачный. Блеск полуметаллический. Плотность 4.4-4.7; твёрдость 4-6. В концентрированной HCl растворяется с выделением хлора и образованием тёмного зеленовато-бурого ореола. Микрохимическая реакция на Mn.

В шлихах встречается очень редко. Минерал типичный для зоны окисления марганцевых и железомарганцевых месторождений в ассоциации с пиролюзитом, мартитом, гётитом, самородной медью, реже с купритом и

малахитом.

Родохрозит $MnCO_3$. Сингония тригональная. Из изоморфных примесей Fe, Mg, Ca. Толстотаблитчатые, ромбоэдрические, призматические кристаллы (рис. П.67); почковидные и шаровидные агрегаты. Цвет розовый, красный, желтовато-серый, коричневый. Блеск стеклянный, черта белая. Спайность совершенная по (1011). Плотность 3.69; твёрдость 3.5-4. Излом ступенчатый. В горячей HCl растворяется с бурным вскипанием.

Прозрачная до просвечивающей. Показатели преломления: $n_o = 1.818$, $n_e = 1.595$, $n_o - n_e = 0.223$; n_e – на плоскости спайности (10 $\bar{1}1$) – 1.70. Оптически одноосный, отрицательный, с высоким двупреломлением. Перед паяльной трубкой не плавится, растрескивается принимает вначале зеленовато-серый, затем черный цвет (вследствие окисления).

Сопутствующие минералы гематит, лимонит, пирротин, сфалерит, марказит, пирит.

Родонит $(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg, Ca)SiO_3$. Сингония триклинная. Неправильные остроугольные зёрна различной степени окатанности. Цвет бледно-розовый, буровато - и коричневатого-розовый, в порошке белый. Обычны примазки и выделения по трещинкам черных окислов и гидроокислов марганца (рис. П.68). Блеск слабый стеклянный или жирный. Спайность ясная по (100), несовершенная по пинакоидам (001), (010), ($\bar{1}10$), углы между плоскостями спайности 90 и 49°. Излом неровный, мелкоямочный, ступенчатый. Плотность 3.1-3.4; твёрдость 5-5.5. При аккуратном раздавливании зёрна роговой обманки между двумя предметными стеклами оно распадается по спайности на мелкие тонкие иголки.

В кислотах не растворяется. Прозрачный до просвечивающей. Показатели преломления: $n_g = 1.724-1.747$, $n_m = 1.715-1.737$, $n_p = 1.715-1.737$; $n_g - n_p = 0.014 - 0.015$; $cn_g = 10 - 17^\circ$. Оптически двуосный, положительный; $2V = (+) 61-75^\circ$. Плеохроизм слабый, в бледных розовых и желто-розовых тонах, или незаметен. Встречается преимущественно в метаморфизованных кремнистых осадочных породах, заключающих залежи пиролюзита. Весьма нестойкий, легко окисляется при выветривании, редко сохраняется в россыпях.

Рутил TiO_2 . Содержит примеси Fe, Sn. Сингония тетрагональная. Призматические или шестоватые кристаллы, редко - коленчатые двойники, зёрна неправильной, эллипсоидальной и шаровидной формы с характерной ямчатой или шероховатой поверхностью. Цвет красно-бурый, коричнево-красный, буровато-жёлтый, жёлтый, оранжево-жёлтый, чёрный (рис. П.69). Цвет в порошке от белого до светло-коричневого.

Блеск алмазный, у чёрных рутилов (нигрины, содержание FeO до 20%) - смолистый, иногда металлоидный. Спайность выражена слабо. Излом неровный. Плотность 4.2-5.0; твёрдость 6. Тёмно-окрашенные рутилы иногда обнаруживают парамагнитные свойства и переходят в электромагнитную фракцию. Непрозрачен или просвечивает в краях зёрен. Показатели преломления $n_e = 2.889 - 2.903$; $n_o = 2.606 - 2.616$; $n_e - n_o = 0.286 - 0.287$.

Одноосный, положительный; иногда даёт аномальную двуосную фигуру, являющуюся следствием двойникования. В окрашенных зёрнах достаточной толщины наблюдается слабый плеохроизм.

В кислотах не растворяется. От внешне похожего касситерита отличается отсутствием реакции восстановления на цинковой пластинке; от циркона - микрохимической реакцией на Ti.

Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$. Примеси Fe, Ni, реже Al, Cr, Ca и Co. Может наблюдаться в тяжёлой фракции, если содержит включения магнетита, хромшпинелидов, графита и других минералов. Сингония моноклинная. Встречается в виде неправильных частиц гелеобразного сложения, листоватых и чешуйчатых агрегатов.

Цвет зелёный различных оттенков, буроватый, чёрный (за счёт примесей магнетита или графита). Блеск жирный с шелковистым отливом на поверхностях раскола, у плотных масс восковой. Спайность слюдоподобная, заметная только в листоватых и чешуйчатых агрегатах (рис. П.70).

Излом плотных частиц неровный, остроугольный или раковистый. Плотность 2.5-2.7, твёрдость 2-3.5. Полупрозрачный или слабо просвечивает. Показатели преломления: $n_g = 1.511 - 1.571$; $n_m = 1.502 - 1.570$; $n_p = 1.490 - 1.560$; $n_g - n_p = 0.004 - 0.021$. Двуосный, отрицательный. В кислотах не растворяется. Спутники - хромшпинелиды, карбонаты, хлорит, магнетит, гроссуляр, везувиан, хромдиопсид. При переносе неустойчив. В древних отложениях не сохраняется.

Сидерит $FeCO_3$. Сингония тригональная. Угловатые и слабо окатанные зёрна, плоские кристаллы ромбоэдрического габитуса и их обломки; мелкие округлые и неправильные стяжения тонкозернистого или радиально-волокнистого строения.

Цвет серовато-жёлтый, буро-коричневый, бурый, тёмно-серый (рис. П.70). Окраска часто пятнистая. Поверхность сидерита часто покрыта корочкой лимонита. Цвет порошка белый или желтоватый. Спайность совершенная, по ромбоэдру. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом неровный или неясно раковистый. Плотность 3.78-3.89, твёрдость 3.5-4,

хрупкий. В катодных лучах люминесцирует красным или коричневым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_o = 1.851 - 1.875$; $n_e = 1.612 - 1.634$; $n_o - n_e = 0.238 - 0.242$. Одноосный, отрицательный. Иногда наблюдается псевдоабсорбция, обусловленная большой разницей в показателе преломления. Радиально-лучистые зёрна обнаруживают волокнистую поляризацию - «чёрный крест». Растворяется в HCl при нагревании с выделением CO₂. Микрoхимическая реакция на Fe.

Сидерит в россыпях легко разрушается и поэтому в шлихах встречается редко в неправильных угловатых или слегка окатанных зернах с совершенной спайностью. Поверхность сидерита часто покрывается корочкой лимонита.

Материнские породы – глинистые железистые песчаники и связанные с ними осадочные породы. Встречается вместе с лимонитом, пиритом, халькопиритом, галенитом.

Силлиманит Al[AlSiO₅]. Сингония ромбическая. Окатанные удлиненные призматические кристаллы, часто несколько расщепленные по удлинению; частицы волокнистого сложения (рис. П.71); хорошо окатанные овальные и дискоидальные зёрна. Грани призмы часто содержат вертикальную штриховку на гранях. Бесцветен и прозрачен, иногда зеленоватый, буроватый, сероватый; частицы агрегатного сложения имеют молочно-белую окраску. Иногда содержит включения железистых минералов, шпинели, биотита.

Спайность по (010) совершенная. Блеск стеклянный. Излом неровный. Плотность 3.23-3.25. Твёрдость 6-7. Прозрачный. Показатели преломления $n_g = 1.677 - 1.684$; $n_m = 1.658 - 1.660$; $n_p = 1.657 - 1.661$; $n_g - n_p = 0.02$. Двуосный, положительный, $2V = 25 - 30^\circ$. Погасание прямое. Окрашенные зёрна плеохроируют: n_p - бледно-коричневый или жёлтый; n_m - коричневый или зелёный; n_g - темно-коричневый или синий. В кислотах не растворяется. Определяется по форме зёрен и оптическим свойствам.

Смитсонит ZnCO₃. Часто содержит примеси MnCO₃, FeCO₃, CoCO₃. Сингония тригональная. Неправильные зёрна белого, сероватого и зеленоватого цвета. Блеск стеклянный, перламутровый.

Показатели преломления $n_o = 1.849$; $n_e = 1.621$; $n_o - n_e = 0.228$. Одноосный, отрицательный. В HCl растворяется с шипением. Микрoхимическая реакция на Zn.

Спайность совершенная. Излом неровный до несовершенно-раковистого. Плотность 4.1-4,5, твёрдость 5.5. В катодных лучах люминесцирует розовым цветом. Прозрачен и просвечивает. Для диагностики наиболее важны натечные, почковидные выделения (рис. П.72), высокая плотность и высокая твердость;

реакция на кислоту.

Смитсонит является типичным минералом зоны окисления рудных месторождений, богатых сфалеритом. Он образуется метасоматическим путем за счет жильного кальцита или вмещающих известняков.

Ставролит $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2[\text{OH}]_2$ или $\text{Fe}[\text{OH}]_2 \times 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$. Незначительная часть Fe может замещаться Mn или Mg, а Al - Fe. Сингония ромбическая. Призматические кристаллы (редко), неправильные, угловатые или округлые зёрна, в различной степени окатанные, обычно с неровной мелкоямчатой или шагреновой поверхностью, прямые или косые крестообразные двойники (рис. П.73). Часто содержит включения мусковита, рутила, граната, турмалина, магнетита и других минералов. Цвет коричневый различных оттенков, жёлтый, бурый, красновато-бурый, иногда чёрный. В порошке - бледный, желтоватый. Спайность несовершенная. Излом неровный, занозистый, неясно раковистый. Блеск стеклянный, у окатанных зёрен переходящий в смолистый. Плотность 3.65-3.77; твёрдость 7-7.5. Раздавливается с большим трудом. Прозрачный до полупрозрачного.

Показатель преломления высокий: $n_g = 1.746 - 1.762$; $n_m = 1.741 - 1.754$; $n_p = 1.736 - 1.747$; $n_g - n_p = 0.010-0.015$. Двуосный, положительный, $2V = 79 - 88^\circ$. Плеохроизм явный: $n_p = n_m$ - желтовато-красный; n_g - фиолетово-красный до кроваво-красного или $n_p = n_m$ - ярко-жёлтый до бесцветного; n_g - золотисто-жёлтый. Погасание прямое.

В случае затруднения диагностики минерала зерно помещается в иммерсионный препарат, вводится жидкость с показателем преломления 1.74. Характерно исчезновение оптического рельефа и появление дисперсионного эффекта. Частично растворяется в H_2SO_4 .

Происхождение - кристаллические сланцы, филлиты, гнейсы. Спутники - кианит, андалузит, силлиманит, ильменит, турмалин, гранат, эпидот, монацит.

Сфалерит ZnS (цинковая обманка). Содержит примеси Fe, Mn, Hg, Pb, Sn, In, Tl, Ag, Au. Сингония кубическая. Встречается в виде зёрен неправильной формы с ясно выраженной спайностью и жирным или алмазным блеском, реже в виде кристаллов тетраэдров, ромбододекаэдров или кубов с характерной штриховкой граней.

Очень редко можно наблюдать угловато-окатанные зёрна с неровной поверхностью, являющейся следствием совершенной спайности. Цвет бурый, чёрный, коричневый, красно-коричневый, зелёный; чистые разности бесцветны или окрашены в светлый жёлтый цвет (клеюфан, по цвету напоминает канифоль) (рис. П.74). В порошке бледно-коричневый или белый. Спайность

весьма совершенная, по додекаэдру, излом раковистый. Плотность 3.5-4.2, твёрдость 3.5-4.

Железистая разновидность сфалерита - марматит (содержание Fe до 20%) слабо магнитна. Показатель преломления $n = 2.37-2.47$, увеличивается с повышением содержания Fe. Растворяется в HNO_3 и концентрированной HCl с выделением H_2S . Микрохимическая реакция на Zn.

Сфен $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$ (синоним - титанит). Примеси: редкие земли (до 10%), Fe и Mn. Сингония моноклинная. Хорошо образованные плоские конвертообразные и клиновидные многогранники, их обломки, неправильные и угловатые зёрна, в различной степени окатанные; дискоидальные и округлые зёрна с гладкой блестящей поверхностью (рис. П.75). Цвет бурый, жёлтый, медово-жёлтый, зеленовато-жёлтый, молочно-белый, серый, розовый. В порошке - белый. В большинстве случаев прозрачен; молочно-белые и серые разности непрозрачны.

Спайность несовершенная. Излом неровный или неясно раковинчатый. Блеск на гранях кристаллов алмазный, в изломе - смолистый и жирный. Плотность 3.29-3.56; твёрдость 5-5.5. Раздавливается средне.

Показатель преломления высокий: $n_g = 1.979 - 2.054$; $n_m = 1.894 - 1.935$; $n_p = 1.887 - 1.918$; $n_g - n_p = 0.082 - 0.135$. Двуосный, положительный, $2V = 23 - 49^\circ$. В белом свете редко наблюдается полное погасание минерала, обычно интерференционная окраска изменяется от ультрасиней до желтоватой и красной. Плеохроизм только у тёмноокрашенных разностей: n_p - почти бесцветный; n_m - жёлтый или зеленоватый; n_g - красноватый, бурый.

Происхождение - средние изверженные породы, граниты, метаморфические породы. Спутники - пироксены, амфиболы, циркон, апатит, рутил. Определяется по характерной форме кристаллов, сильному блеску.

Топаз $\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{F,OH}]_2$. Иногда содержит примесь железа. Сингония ромбическая. Присутствует в виде призматических кристаллов с тонкой вертикальной штриховкой граней; хорошо окатанных зёрен эллипсоидальной или яйцевидной формы с матовой или шероховатой поверхностью (рис. П.76). Иногда у таких зёрен наблюдаются поверхностные трещины. Цвет жёлтый, зелёный, серый, синий; встречаются совершенно бесцветные и полихромные топазы.

Спайность совершенная. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом неясно раковистый до неровного. Плотность 3.4-3.6. Твёрдость 8. В катодных и ультрафиолетовых лучах обладает яркой голубой люминесценцией. Показатели преломления $n_g = 1.617 - 1.638$; $n_m = 1.610 -$

1.631; $n_p = 1.607 - 1.629$; $n_g - n_p = 0.008 - 0.010$. Двуосный, положительный, $2V = 48 - 66^\circ$. Погасание прямое. В кислотах не растворяется. Определяется по форме зёрен, поверхности, высокой твёрдости и оптическим свойствам. Микрохимическая реакция на F.

Турмалин $(Na,Ca)(Mg,Al)_6[Si_6Al_3B_3(O_2[O,OH]_{30})]$. В небольших количествах присутствует F, может присутствовать Li (в эльбаите). Сингония тригональная. Призматические кристаллы с вертикальной штриховкой граней, обломки кристаллов, хорошо окатанные зёрна эллипсоидальной или округлой формы с блестящей, как бы шлифованной поверхностью, неправильные угловатые зёрна. Цвет коричнево-бурый, бурый (дравит), чёрный (шерл), тёмно-синий (индиголит), розовый, красный (рубеллит), редко коричневато-жёлтый, зелёный. В шлихах могут присутствовать и бесцветные прозрачные турмалины (ахроит). Распределение окраски обычно зональное или полярное с резким изменением плотности или цвета на разных концах одного и того же кристалла (рис. П.77). Часто наблюдаются включения циркона, рутила, кварца, железистых минералов. В порошке бесцветен.

Спайность несовершенная. Излом неясно раковистый до неровного. Блеск стеклянный, смолистый. Плотность 2.98-3.20; твёрдость 7-7.5. Раздавливается с трудом.

Прозрачный до непрозрачного. У непрозрачных разностей, вследствие поляризации света, отражающегося от предметного стекла бинокля, наблюдается дихроизм: зёрна, кажущиеся при одном положении чёрными и совершенно непрозрачными, при повороте иглой на 90° резко просветляются и становятся прозрачными. Показатель преломления: $n_o = 1.624 - 1.692$; $n_e = 1.615 - 1.679$; $n_o - n_e = 0.020 - 0.046$. Одноосный, отрицательный, иногда аномально двуосный. Призматические зёрна имеют прямое погасание. Плеохроизм сильный, изменяется в зависимости от окраски (абсорбция $n_o > n_e$): в бурых разностях по тёмно-бурый, n_e светло-жёлтый; в зелёных - по тёмно-зелёный, n_e от фиолетового до красно-бурого; в синих - по синий, n_e фиолетовый. В кислотах не растворяется. Определяется по форме кристаллов, плеохроизму, дихроизму, оптическим константам. Происхождение - граниты, контактово-метаморфические породы, пегматиты, металлоносные жилы. Спутники - апатит, циркон, касситерит, флюорит, топаз, кианит, монацит, рутил, корунд, берилл.

Флюорит CaF_2 (плавиковый шпат) иногда содержит примесь Cl. Сингония кубическая. Зёрна неправильной формы, иногда со следами граней кубов или октаэдров, редко частицы агрегатного сложения: параллельно-шестоватые,

радиально-лучистые или тонкозернистые. Цвет фиолетовый, зелёный, жёлтый, реже голубой, розовый, красный, белый. Окраска распределена неравномерно, часто пятнами или полосами (рис. П.78). Блеск слабый стеклянный.

Спайность совершенная. Излом ступенчатый, иногда ровный или занозистый. Плотность 3.18-3.2, твёрдость 4.

Флюоресцирует под действием рентгеновских лучей. Люминесцирует фиолетовым или зелёным цветом в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. При нагревании некоторые темноокрашенные зёрна флюорита фосфоресцируют (остаточное свечение), а также обнаруживают явление рекалесценции - приобретают кратковременное белое свечение, раскалываются и частично (иногда полностью) обесцвечиваются.

Прозрачен или просвечивает в краях зёрен. Показатель преломления $n = 1.434$. Изотропный, иногда наблюдается двупреломление, обусловленное внутренним натяжением кристалла. Разлагается при нагревании в концентрированной H_2SO_4 с выделением пузырьков HF , разъедающих стекло.

Халькозин Cu_2S (медный блеск). Содержит примеси Fe , редко Ag . Сингония ромбическая. Неправильные зёрна с тусклым металлическим блеском, редко псевдогексагональные таблитчатые кристаллы. С поверхности часто наблюдаются зелёные налёты малахита. Цвет свинцово-серый до черного (рис. П.79). Характерна пёстрая побежалость.

Спайность неотчётливая, излом раковистый. Плотность 5.5-5.8, твёрдость 2.5-3, раздавливается средне, образуя остроугольные осколки. Растворяется в HNO_3 . Микрохимическая реакция на Cu .

Халькопирит $CuFeS_2$ (медный колчедан). Содержит примеси Au , Ag . Сингония тетрагональная. Встречается в виде угловатых, иногда изометричных слабо округленных зёрен, в той или иной степени окисленных (рис. П.80).

Цвет латунно-жёлтый, часто с пёстрой или синей побежалостью. Иногда зёрна покрыты зелёными плёнками малахита или чёрно-бурыми плёнками гидроокислов железа. Спайность неотчётливая, излом неровный, раковистый. Блеск металлический, с поверхности тусклый. Плотность 4.1-4.3, твёрдость 3.5-4, раздавливается средне, образуя остроугольные осколки.

В капле HCl на цинковой пластинке покрывается с поверхности коричнево-булой плёнкой.

Хлориты - силикаты Al , Fe и Mg (пеннин, клинохлор, прохлорит и др.), содержащие химически связанную воду – группа слюдистых минералов, часто являющихся продуктами изменения амфиболов и слюды. Сингония моноклинная. Гибкие слюдоподобные пластинки или чешуйки (рис. П.81)

зелёного, фиолетового или розового цвета с перламутровым блеском. Плотность 2.6-2.85, у некоторых железистых разностей до 3.45, твёрдость 2-2,5.

Просвечивающие до прозрачных. Показатель преломления: $n_m = 1.576 - 1.600$ для пеннина; $n_m = 1.57 - 1.59$ для клинохлора. Двупреломление у пеннина – 0.003, у клинохлора – 0.011. Аномальные цвета интерференции низкие ультрасиние, лиловые, бурые, серые. Часто совершенно изотропны. Некоторые разности обнаруживают двуосную фигуру и могут быть положительными или отрицательными. $2V$ непостоянный, даже в пределах одного зерна может изменяться от 0 до 90°. У окрашенных разностей наблюдается плеохроизм от зелёного до жёлтого. Частично разлагается в HCl и полностью в H₂SO₄. Происхождение - сланцы, филлиты и другие метаморфизованные породы. Спутники - лимонит, кальцит, слюды, пироксены, амфиболы, гранаты, эпидот, шпинель.

Хромит FeCr₂O₄. Fe частично замещается Mg; Cr - Al и Fe с образованием переходных к пикотиту разностей. Сингония кубическая. Кристаллы октаэдрического габитуса, часто с закруглёнными вершинами и ребрами; угловатые неправильные мелкие углубления и неровности. Цвет чёрный, бурочёрный (рис. П.82). Иногда отмечается изменённый хромит бархатно-чёрной окраски с шероховатой поверхностью. В тонких осколках просвечивает красноватым (основное отличие от ильменита). Черта бурая. Часто содержит включения окислов железа. Слабо или умеренно магнитный. Блеск смолистый или металлоидный. Спайность не наблюдается. Излом неровный, раковистый. Плотность 4.0-4.9, твёрдость 5.5, раздавливается с трудом. Непрозрачный, в тонких осколках просвечивает. Показатель преломления $n = 2.07 - 2.16$. Изотропный. В кислотах не растворяется. Микрохимическая реакция на Cr.

В россыпях сохраняется хорошо и может переноситься на большие расстояния от коренных месторождений.

Циркон ZrSiO₄. Сингония тетрагональная. Призматические удлинённые кристаллы, ограниченные гранями дипирамиды; изометрические формы, характеризующиеся развитием тетрагональных призм первого и второго рода и граней дипирамиды; копьевидные и дипирамидальные кристаллы; их обломки; неправильные угловатые и яйцевидные или шаровидные зёрна.

Поверхность окатанных зёрен гладкая, как бы шлифованная (рис. П.83). Цвет жёлтый, розовый, лилово-розовый, редко оранжевый, зелёный, молочно-белый, вишнёво-красный (у древних цирконов). Отмечаются и бесцветные цирконы. В порошке бесцветен. Спайность несовершенная. Блеск алмазовидный, у непрозрачных разностей жирный. Излом неровный,

раковистый. Плотность 3.89-3.93 (у малаконизированных) – 4.7, твёрдость 7-8 (у тёмноокрашенных - 6). В ультрафиолетовых, рентгеновских и катодных лучах люминесцирует жёлтым, зелёным или оранжевым цветом. Прозрачный, за исключением изменённых разностей, по составу приближающихся к малаконам. Показатели преломления $n_e = 1.968 - 2.015$; n_o = аномально двуосный. В некоторых густо окрашенных разностях наблюдается слабый плеохроизм. В кислотах не растворяется. В порошке сплавляется с содой и после растворения в разбавленной HCl окрашивает куркумовую бумагу в оранжевый цвет. Определяется по форме кристаллов, сильному блеску, высокой твёрдости.

От касситерита отличается меньшей плотностью и отрицательной реакцией на оловянное зеркало на цинковой пластинке; от ксенотима - более высоким показателем преломления и отсутствием химической реакции на фосфор (P).

Цоизит $Ca_2Al_3Si_3O_{12}[OH]$. Минерал из группы эпидота. Иногда Al замещается Fe, и минерал по составу приближается к эпидоту. Сингония ромбическая. Неправильные угловатые или окатанные зёрна, редко призматические кристаллы, исштрихованные или с вертикальными бороздками на гранях (рис. П.84). Цвет белый, серый, зеленоватый, буроватый, розово-красный. Спайность по (010) совершенная. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом неровный до неясно раковистого. Плотность 3.25-3.36. Твёрдость 6-6.5.

Показатели преломления: $n_g = 1.702 - 1.706$; $n_m = 1.696 - 1.702$; $n_p = 1.696 - 1.700$; $n_g - n_p = 0.005 - 0.009$. В мелких зёрнах, ориентированных по (100), наблюдается тёмная индигово-синяя, почти ультра синяя интерференционная окраска. Двуосный, положительный. $2V$ изменяется от 0 до 60° (в зависимости от содержания железа). Крупные зёрна плеохроируют от синевато-зелёного до жёлтого, в тулите - от розового до тёмно-розового или жёлтого. В кислотах не растворяется.

Определяется по оптическим свойствам; от эпидота отличается более низким двупреломлением и ультрасиними цветами интерференции.

Шеелит $CaWO_4$. Содержит примесь Mo и Cu (купрошеелит, зеленоватая разновидность, содержащая до 5,8% CuO). Сингония тетрагональная. Неправильные окатанные зёрна молочно-белого, оранжево-желтого (рис. П.85) и желтоватого цвета с характерным алмазным или шелковистым блеском.

Редко присутствует в виде окатанных дипирамидальных или таблитчатых кристаллов и их обломков. Цвет порошка белый.

Спайность ясная. Излом неровный. Плотность 5.8-6.2, твёрдость 4.5-5,

хрупкий. В ультрафиолетовых, катодных и рентгеновских лучах люминесцирует ярким голубым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатели преломления $n_e = 1.937$; $n_o = 1.920$; $n_e - n_o = 0.016$. Одноосный, положительный. В HCl растворяется при нагревании с выделением жёлтой вольфрамовой кислоты. Определяется по цвету, блеску, высокой плотности, оптическим свойствам, микрохимической реакции на W.

Шпинель $MgAl_2O_4$. Химический состав непостоянен: Mg часто замещается Fe^{3+} или Mn, Al - Fe и Cr. Разности, содержащие значительные примеси Fe, электромагнитны. Сингония кубическая. Окатанные в различной степени кристаллы октаэдрического габитуса, зёрна неправильной формы и обломки (рис. П.86). Поверхность зёрен гладкая блестящая, матовая. Цвет белый, голубой, синий, бурый, красный (рубиновая шпинель), зелёный до чёрного (плеонаст).

Встречаются и совершенно бесцветные кристаллы. Блеск стеклянный до матового. Спайность несовершенная. Излом неровный, раковистый. Плотность 3.5-4.1, твёрдость 8. Показатель преломления $n = 1.715 - 2.0$ (увеличивается с повышением интенсивности окраски). В кислотах не растворяется. От красных гранатов и корунда отличается оптическими свойствами.

Эпидот $Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}[OH]$. Разновидности: пьомонтит (содержит до 15% Mn_2O_3). Сингония моноклинная. Призматические кристаллы в различной степени окатанные; неправильные, угловатые или округлые зёрна, обычно покрытые мелкими трещинами. Часто содержит тёмные железистые включения. Цвет зелёный различных оттенков (рис. П.87), чёрный, бурый. Спайность по (001) совершенная, по (100) несовершенная, проходит параллельно удлинению зёрен. Излом неровный. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности (001) перламутровый. Плотность 3.35-3.38; твёрдость 6-7. Раздавливается с трудом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1.735 - 1.785$; $n_m = 1.730 - 1.765$; $n_p = 1.720 - 1.740$; $n_g - n_p = 0.033 - 0.051$. Двуосный, отрицательный, $2V = 68 - 73^\circ$. Плеохроизм слабый: n_p - жёлтый; n_m - бурый; n_g - зелёный. Пластинки по (100) дают интерференционную фигуру, называемую «стрелкой компаса». Характерна аномальная яркая и пёстрая интерференционная окраска. Частично не растворяется в HCl. Материнские породы - метаморфизованные осадочные или изверженные породы, содержащие много кальция (Ca): гнейсы, слюдяные или роговообманковые сланцы, метаморфизованные кварциты, песчаники, известняки.

Спутники в шлихах - цоизит, клиноцоизит, ильменит, лейкоксен, гранат,

авгит. По внешнему виду сходен с оливином и авгитом, от которых отличается оптическими свойствами.

Янтарь - углеводород, отвечающий формуле $C_{10}H_{16}O$. Аморфный. Показатель преломления: $n = 1.53-1.54$, изотропный.

В россыпях встречается в виде округлых зёрен (рис. П.88). Из-за малой плотности (1,05-1,09) в шлихи при промывке песков не попадает, но по жёлтой окраске легко обнаруживается в ковшах или на вашгерте и бутаре. Твёрдость 2-2.5. Блеск смолистый, стеклянный. Часто содержит углистые включения или органические вещества. При нагревании до $413 - 473^{\circ}C$ становится пластичным. Растворяется в бензоле. Горит коптящим желтым пламенем, выделяя резкий запах сосновой смолы. Является твердой ископаемой смолой хвойных деревьев преимущественно мелового возраста. Встречается в виде зерен и кусков размером от 1.0 мм до 3-5 см и более. Цвет от прозрачного желтого до белого непрозрачного, темно-красного и черного. В зависимости от характера и места повреждения дерева форма выделений различна: сосульки, капли, натёчные корки и комки, пластинчатые формы заполнения трещин, межкоровый и подкоровый янтарь, смоляные «карманы». Янтарь иногда содержит включения остатков насекомых и растений. В шлифах с анализатором изотропен, иногда наблюдается агрегатная поляризация. При выветривании на поверхности янтаря образуется корочка, состоящая из многоугольников размером 2-3 мм. Она имеет более темный цвет.

Образование янтаря является следствием эволюции растительности на Земле, при переходе ее от мезофита к кайнофиту. Отложение наиболее богатых янтарем толщ происходило в условиях опресненных бассейнов.

Библиографический список

1. Бакулина, Л.П. Шлиховое опробование и анализ шлиховых проб. Учебное пособие / Л.П. Бакулина. - 2-е изд., перераб. - Ухта: УГТУ, 2014. – 126 с.
2. Билибин, Ю.А. Основы геологии россыпей. / Ю.А. Билибин. - 2-е изд. - Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1955. – 472 с.
3. Жердева, А.Н. Атлас шлиховых минералов. / А.Н. Жердева. Москва; Ленинград: Госгеолиздат, 1941 (Львов). – 56 с.
4. Жилинский, Г.В. Обзорные шлиховые карты. / Г.В. Жилинский. Акад. наук Каз. ССР, серия геолог. – №2, 1959.
5. Захарова, Е.М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. / Е.М. Захарова. Москва: Из-во МГУ, 1960. – 167 с.
6. Ильинский, Г.А. Методические указания по интерпретации результатов шлихового опробования. / Г.А. Ильинский. – Изд-во: ЛГУ. 1986. – 40 с.
7. Ильинский, Г.А. Основы поисков россыпей. Учеб. пособие / Г.А. Ильинский, М.И. Плотникова, Н.В. Разумихин и др. Ленинград: Изд-во. Ленингр. ун-та, 1961. – 124 с.
8. Ициксон, М.И. Шлиховое опробование при геологической съемке и обзорных поисках. / М.И. Ициксон. Москва: Госгеолиздат, 1953. – 60 с.
9. Копченова, Е.В. Минералогический анализ шлихов. / Е.В. Копченова. М.-Л.: 1940, 79 с.
10. Костерин, А.В. Шлихо-минералогический и шлихо-геохимический методы поисков рудных месторождений. / А.В. Костерин. - Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1972. – 124 с.
11. Кухаренко, А.А. Минералогия россыпей. / А. А. Кухаренко. - М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 318 с.
12. Методические указания по интерпретации шлихового опробования. / Ленинград, 1986. – 40 с.
13. Новикова В.А. Типизация и унификация методов минералогических анализов шлихов и рыхлых пород / В.А. Новикова. Труды ЦНИГРИ, 1970, вып. 94. – 85с.
14. Озеров, И.М. Шлиховая съемка и анализ шлихов. / И.М. Озеров. Ленинград: Гостоптехиздат. Ленингр. отд-ние, 1959. – 379 с.
15. Репина, С.А. Месторождение жильного кварца и горного хрусталя Желанное. / С.А. Репина. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. - 287 с.
16. Родыгина, В.Г. Шлиховые поиски и минералогия россыпей. / В. Г. Родыгина. Томск. Изд-во НТЛ. 1999. – 384 с.
17. Сахарова, М.С. Иммерсионный метод минералогических исследований. Учебное пособие. / М.С. Сахарова, Ю.А. Черкасов. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1970. - 89 с.

18. Сафина Н.П., Новоселов К.А. Микроскопические методы в исследовании руд. Учебное пособие. / Н.П. Сафина, К.А. Новоселов. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 168 с.

19. Трушкова, Н.Н. Атлас минералов россыпей. / Н.Н.Трушкова, А.А.Кухаренко. Москва, 1961. – 436 с.

20. Чуева, М.Н. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений геол.-развед. специальности. / М. Н. Чуева. - Москва: изд. и картф-ка Госгеолиздата, 1950 (тип. Ленингр. отд-ния изд-ва "Мол. гвардия"). – 180 с.

21. Чуева, М.Н. Практическое руководство по разделению минералов в тяжелых жидкостях и солях. / М.Н. Чуева. Москва: Госгеолтехиздат, 1954. – 56с.

22. Шило, Н. А. Основы учения о россыпях. / Н.А. Шило. М.: Наука, 1981. – 384 с.

23. Юшко, С.А., Боришанская, С.С. Таблица диагностических признаков минералов в шлихах. / С.А. Юшко, С.С.Боришанская. - Москва: Госгеолтехиздат, 1955. – 60 с.

Ресурсы интернета

<https://yandex.ru/images/search> - фото минералов, магнит Сочнева, пикнометр.

Fmm.ru – минералогический музей им. Ферсмана.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
1 Понятие о россыпных месторождениях	8
1.1 Россыпные месторождения	8
1.2 Генетические типы россыпных месторождений	9
1.3 Факторы, влияющие на состав шлиха	17
1.4 Ассоциации минералов в россыпях и минералы - спутники	21
1.5 Виды и методы шлиховых поисков	25
1.6 Способы отражения состава шлихов	31
1.7 Документация шлиховых проб	37
1.8 Техника промывки шлиховых проб	40
1.9 Шлиховые карты	41
2 Изучение минералов шлихов	49
2.1 Общая схема минералогического анализа шлихов	50
2.2 Методы разделения на фракции	50
Взвешивание	50
Разделение на ситах	51
Отбор средней пробы	51
3. Методы диагностики минералов	54
Магнитная сепарация	54
Разделение минералов по плотности	60
Диэлектрическая сепарация	69
Флотационный метод	69
3.1 Изучение минералов фракций	70
3.2 Другие методы изучения	76
Люминесценция минералов	76
Метод паяльной трубки	82
Методы химических исследований	102
- пленочные реакции	103
- капельные реакции	108
3.3 Исследование физических и оптических свойств минералов	109
Определение радиоактивных минералов	123
4 Описание минералов шлихов	123
Библиографический список	163

Список минералов

Авгит 123	Кварц 142
Амфиболы:	Кианит 143
(Актинолит 123,	Киноварь 143
Тремолит 124,	Клиноцоизит 143
Антофиллит 124,	Корунд 144
Глаукофан 125,	Колумбит-танталит 144
Роговая обманка 125)	Лейкоксен 145
Алмаз 125	Магнезит 145
Ангидрит 126	Магнетит 145
Анатаз 126	Малахит 146
Андалузит 127	Медь (самородная) 146
Антимонит 127	Молибденит 146
Апатит 128	Монацит 147
Арсенопирит 128	Мусковит 147
Аурипигмент 128	Оливин 147
Барит 129	Ортит 148
Берилл 129	Опал 149
Биотит 130	Перовскит 149
Борнит 130	Пирит 149
Брукит 130	Пирролюзит 150
Везувиан 131	Пирротин 150
Волластонит 131	Платина 150
Галенит 131	Полевые шпаты (ортоклаз,
Гематит 132	микроклин, плагиоклаз) 151
Гётит,	Псиломелан 151
Гидрогётит (лимонит) 132	Родохрозит 152
Гиперстен 133	Родонит 152
Гранаты 133	Рутил 152
Графит 136	Серпентин 153
Энстатит 137	Сидерит 153
Диопсид 138	Силлиманит 154
Жадеит 138	Смитсонит 154
Геденбергит 139	Ставролит 155
Эгирин 139	Сфалерит 155
Доломит 139	Сфен (титанит) 156
Золото 140	Топаз 156
Ильменит 140	Турмалин 157
Ильменорутил 141	Флюорит 157
Кальцит 141	Халькозин 158
Касситерит 141	Халькопирит 158

Хлориты 158
Хромит 159
Циркон 159
Цоизит 160
Шеелит 160
Шпинель 161
Эпидот 161
Янтарь 162

Цветные иллюстрации



Рис. П.1. Авгит: справа титанавгит



Рис. П.2. Актинолит



Рис. П.3. Тремолит



Рис. П.4. Антофиллит



Рис. П.5. Глаукофан



Рис. П.6. Роговая обманка



Рис. П.7. Алмаз



Рис. П.8. Ангидрит



Рис. П.9. Кристаллы анатаза



Рис. П.10. Адалузит, справа андалузит-хиастолит



Рис. П.11. Антимонит



Рис. П.12. Апатит



Рис. П.13. Арсенопирит



Рис. П.14. Аурипигмент

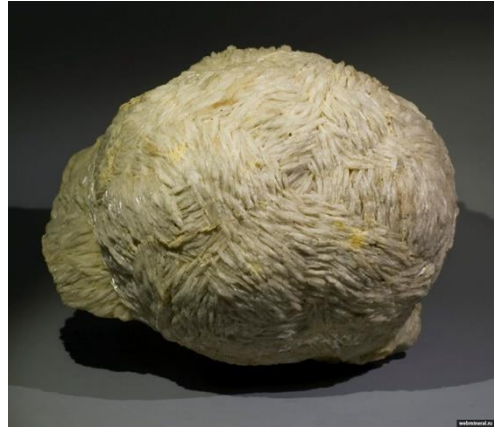


Рис. П.15. Барит



Рис. П.16. Берилл



Рис. П.17. Биотит



Рис. П.18. Борнит



Рис. П.19. Брукит



Рис. П.20. Везувиан



Рис. П.21. Волластонит



Рис. П.22. Галенит

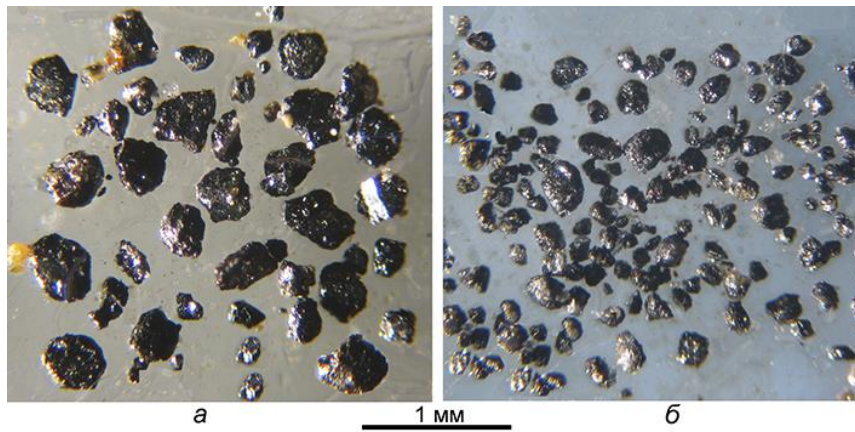


Рис. П.23. Зерна гематита из протоочки (Репина, 2016)



Рис. П.23. Гетит, лимонит



Рис. П.24. Гиперстен



Рис. П.25. Аьмандин



Рис. П.26. Гроссуляр



Рис. П.27. Спессаргин



Рис. П.28. Андрадит



Рис. П.29. Шорломит



Рис. П.30. Уваровит



Рис. П.31. Пироп



Рис. П.32. Графит



Рис. П.33. Энстатит



Рис. П.34. Диопсид



Рис. П.35. Жадеит



Рис. П.36. Геденбергит: слева с кристаллами кальцита; справа геденбергитовый скарн



Рис. П.37. Эгирин, справа эгириновое солнце



Рис. П.38. Доломит



Рис. П.39. Золото: слева самородок; справа окатанное золото в шлихах



Рис. П.40. Ильменит



Рис. П.41. Ильменорутил



Рис. П.42. Кальцит



Рис. П.43. Касситерит



Рис. П.44. Кварц: вверху слева горный хрусталь и розовый кварц, справа кварц с карбонатными жилками; внизу слева аметист, справа дымчатый кварц



Рис. П.45. Кианит



Рис. П.46. Киноварь



Рис. П.47. Клиноцоизит



Рис. П.48. Корунд: слева – рубин, справа – сапфир



Рис. П.49. Колумбит-танталит

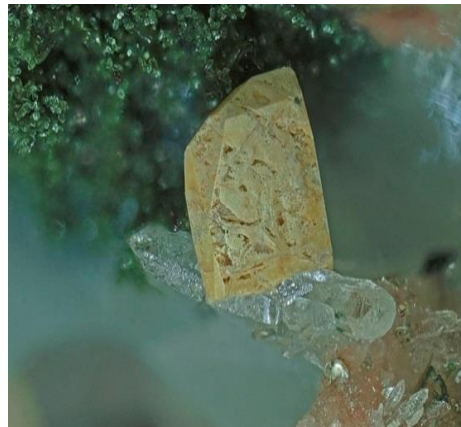


Рис. П.50. Пленка лейкоксена на ильмените



Рис. П.51. Магнетит: справа аморфная разновидность



Рис. П.52. Магнетит



Рис. П.53. Малахит, справа малахит и азурит



Рис. П.53. Медь самородная



Рис. П.54. Молибденит, справа из Харбейского месторождения

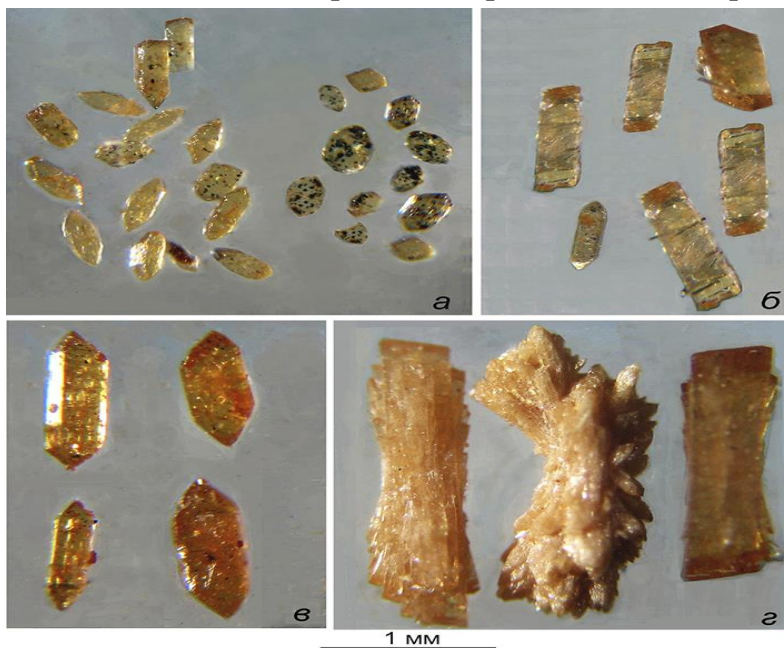


Рис. П.55. Монацит из протолочек (Репина, 2016)



Рис. П.56. Мусковит



Рис. П.57. Оливин: слева хризолит бледно-зеленый, темный фаялит; справа форстерит



Рис. П.58. Ортит



Рис. П.59. Опал



Рис. П.60. Перовскит



Рис. П.61. Пирит



Рис. П.62. Пирролюзит



Рис. П.63. Пирротин

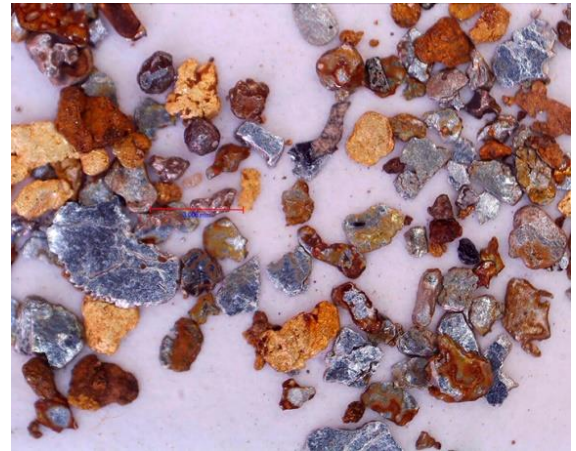


Рис. П.64. Шлиховая проба с платиной и золотом



Рис. П.65. Полевые шпаты: сверху слева альбит, справа лабрадор; внизу слева микроклин-пертит (амазонит), справа ортоклаз



Рис. П.66. Псилоделан



Рис. П.67. Родохрозит



Рис. П.68. Родонит

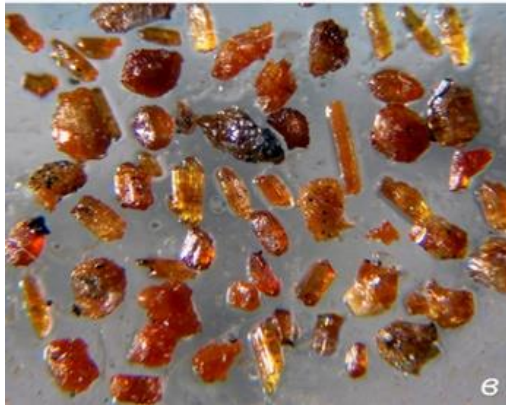
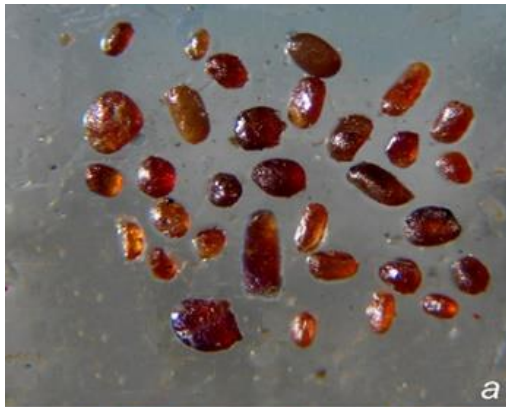


Рис. П.69. Рутил (Репина,2016)



Рис. П.70. Серпентинит



Рис. П.70. Сидерит



Рис. П.71. Силлиманит



Рис. 4.72. Смитсонит

Рис. П.73. Ставролит



Рис. П.74. Сфалерит, справа сфалерит - клейофан



Рис. П.75. Сфен (титанит)



Рис. П.76. Топаз

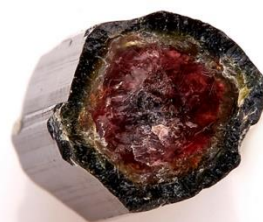
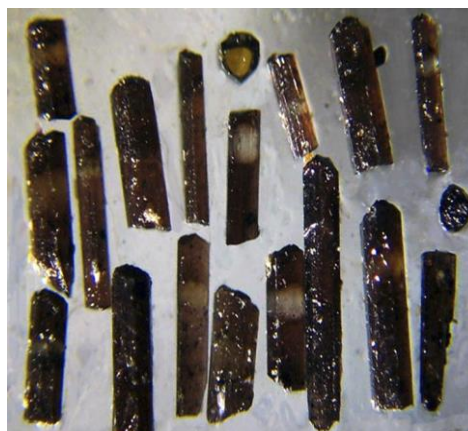
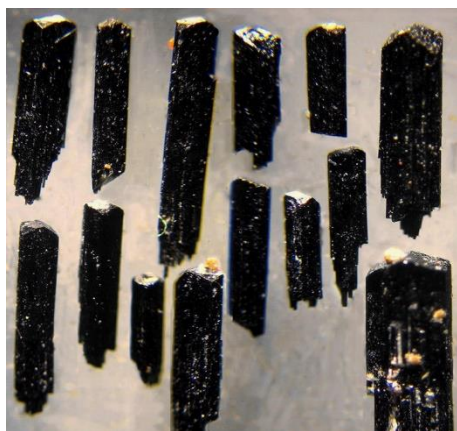


Рис. 4.77. Турмалин полихромный



Шерл, справа разноокрашенные турмалины (Репина, 2016)



Рис. П.78. Флюорит



Рис. П.79. Халькозин



Рис. П.80. Халькопирит



Рис. П.81. Хлорит: слева клинохлор, справа пеннин

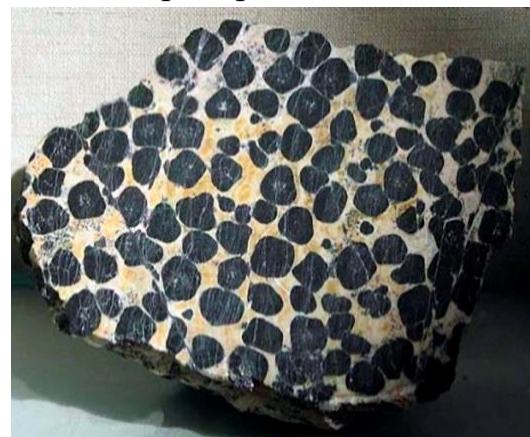


Рис. П.82. Хромит: справа кристалл, слева бобовые зерна



Рис. П.83. Циркон из протоочки (Репина, 2016)



Рис. П.84. Цоизит



Рис. П.85. Шеелит



Рис. П.86. Шпинель



Рис. П.87. Эпидот



Рис. П.88. Янтарь