

**Е.М.ЗАХАРОВА**

---

**ШЛИХОВОЙ МЕТОД  
ПОИСКОВ  
ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ**

Допущено Министерством геологии СССР  
в качестве учебного пособия  
для учащихся геологических специальностей  
техникумов



МОСКВА "НЕДРА" 1989

---

ГБФ ДБ. 124,  
338  
УДК 550.843 (074)

Рецензенты: канд. геол. наук *В.И. Кувшин*, *О.Т. Князев*

**Захарова Е.М.**

3-38 Шлиховой метод поисков полезных ископаемых: Учеб. пособие для техникумов. М.: Недра, 1989. 160 с.: ил.  
ISBN 5-247-00759-X

Изложена методика выполнения полевого шлихового опробования, сопровождающего геологосъемочные и поисковые работы на разных стадиях, техника промывки шлиховых проб и их документация. Рассмотрены первичная обработка данных минералогического анализа шлихов, использование ЭВМ для оценки полей гипергенного рассеяния, методика составления различных типов шлиховых карт и специализированных графических приложений. Приведены основные сведения о методике лабораторного минералогического анализа шлихов, охарактеризованы главнейшие шлихообразующие минералы.

Для учащихся геологоразведочных техникумов. Может быть использовано в вузах в качестве руководства при проведении практических и лабораторных занятий.

3 1804050000-051 6-89 Свод. тем. пл. для сред. спец. уч. зав.  
043 (01) - 89

ББК 26.325

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Захарова Елена Михайловна**

**ШЛИХОВОЙ МЕТОД ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ**

Заведующий редакцией *В.А. Крыжановский*

Редактор издательства *Т.П. Мыскина*

Художественный редактор *Г.Н. Юрчевская*

Технический редактор *Н.С. Анашкина*

Корректор *Е.М. Федорова*

Оператор *И.В. Волкова*

ИБ № 7439

---

Подписано в печать с репродуцируемого оригинал-макета 28.10.88. Т- 17069.  
Формат 60 x 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная № 1. Усл.печ.л. 10,0. Усл. кр.-отт. 10,38  
Уч. изд. л. 11,80 Тираж 2840 экз. Зак. № 153 /1566-2. Цена 35 коп.

Набор выполнен на наборно-пишущей машине

---

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра",  
125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
300600, г. Тула, проспект Ленина, 109.

ISBN 5-247-00759-X

© Издательство "Недра", 1989

В свете намеченного XXVII съездом КПСС курса на ускорение научно-технического прогресса перед геологами остро встает проблема резкого увеличения эффективности поисковых работ. Одним из ведущих методов в практике геологосъемочных и поисковых работ благодаря простоте и дешевизне полевых исследований и надежности получаемых результатов с точки зрения перспективной оценки территорий являются шлиховые поиски.

В связи с этим важнейшая задача — повышение информативности шлиховых поисков. На этапе лабораторных исследований оно может быть обеспечено только отказом от устаревшей практики анализа шлиха на один-два полезных компонента и переходом к комплексному углубленному изучению всех фракций шлиха с использованием новейших аналитических методик с целью анализа типоморфизма минералов, индикаторных шлихо-минералогических ассоциаций и шлихо-геохимических особенностей. На этапе интерпретации материалов шлиховых поисков ускорения можно добиться путем внедрения реализуемых на ЭВМ автоматизированных методов обработки и новых приемов графического отображения гигантских объемов аналитической информации, что избавит минералога от большей части выполняемой им сейчас рутинной работы и откроет простор для творческого осмысления материала, полученного в поле и лаборатории.

Несмотря на важность проблемы в настоящее время остро ощущается недостаток в освещающих все аспекты шлиховых поисков методических руководствах, которые могли бы использоваться в качестве учебных пособий при подготовке квалифицированных кадров шлиховиков-поисковиков, а также в повседневной работе геологов и минералогов производственных организаций. Изданные ранее руководства и пособия стали практически библиографической редкостью и в значительной степени устарели. К тому же каждое из них не охватывает все составные элементы шлихового метода поисков. Например, известные работы А.А. Кухаренко (1961 г.), Е.В. Колченовой (1979 г.), М.Н. Чуевой (1950 г.) посвящались в основном методике минералогического анализа шлихов, а вопросы полевых исследований в них затрагивались лишь вскользь.

Цель предлагаемого учебного пособия — дать основные представления о методике полевых работ, лабораторных исследований шлихов и интерпретации результатов поисков. В данной работе автор основывался на собственном практическом опыте полевой шлиховой съемки, лабораторных исследований шлихов и преподавания этих дисциплин студентам старших

курсов Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, а также стремился систематизировать опыт и данные, накопленные ведущими геологами-специалистами в области шлихового метода поисков.

Изложенные в настоящей работе взгляды автора на шлиховой метод поисков и его перспективы сформировались в результате сотрудничества с коллегами из различных научно-исследовательских и производственных геологических организаций; их поддержку автор считает долгом отметить с искренней признательностью.. Содействие, ценные советы и помощь в работе оказали автору академик В.И. Смирнов и коллектив кафедры полезных ископаемых геологического факультета МГУ.

В основе шлихового метода поисков лежит представление об экзогенных ореолах рассеяния, формирующихся под воздействием механических, физико-химических и биогенных факторов и связанных с процессами выветривания и денудации. При шлиховых поисках выявляются и изучаются в основном механические ореолы рассеяния, под которыми понимаются участки распространения в рыхлых отложениях повышенных содержаний полезных минералов или их индикаторных спутников.

При процессах физического выветривания поверхностных частей тел полезных ископаемых происходят дезинтеграция первичного материала, перемещение обломков в результате денудации в пониженные участки рельефа, механическое измельчение их до выделения минеральных сростков и дальнейшее полное раскрытие последних до отдельных зерен. При этом в составе образующегося обломочного материала могут сохраняться абразивно-устойчивые, мало подверженные механическому износу минералы, обладающие специфическими кристаллофизическими свойствами, обуславливающими высокую твердость и плотность этих минералов, их низкую хрупкость и отсутствие спайности. Они способны сохраняться при транспортировании от коренных источников и создавать так называемые шлиховые ореолы механического типа.

Таким образом, шлиховые ореолы рассеяния – это экзогенные ореолы, представленные высвобожденными зернами физико-химически устойчивых минералов, размеры которых составляют от нескольких миллиметров до десятых долей миллиметра. Отчетливые механические ореолы рассеяния возникают на месторождениях самородных металлов (золото, платиноиды), алмазов, касситерита, вольфрамита, ильменита, рутила, циркона, монацита, тантало-ниобатов и титанатов, поиски которых и осуществляются шлиховым методом.

С целью выявления шлиховых ореолов отбирают шлиховые пробы, которые представляют собой фиксированное по объему или массе количество рыхлой горной породы, взятой из глинисто-гравийно-песчаного кластогенного материала. При промывке в воде с помощью лотка или других приспособлений из шлиховой пробы извлекается концентрат тяжелых минералов, называемый шлихом. Шлих состоит преимущественно из тяжелых породообразующих и акцессорных минералов коренных горных пород, среди которых в рудных районах наблюдаются зерна полезных минералов, их индикаторных спутников и вторичных продуктов, новообразованных в зоне гипергенеза.

Шлиховые ореолы формируются среди пород различных генетических типов. В районах со слаборасчлененным, выровненным рельефом элювий обогащается рудным веществом и возникают остаточные механи-

ческие ореолы, окаймляющие рудные выходы и имеющие площадной характер. Очертания их в плане сложны, неправильны, максимально обогащенные зоны ореолов пространственно тяготеют к выходам первичных тел полезных ископаемых. Обломочный материал не сортирован, разнообразен по гранулометрическому составу, не окатан, часто содержит рудные обломки или сростки.

В условиях расчлененного рельефа продукты выветривания смещаются от первичных источников и шлиховые аномалии фиксируются в склоновых образованиях или русловом аллювии. В этих случаях появляются смещенные, или оторванные механические ореолы, которые теряют прямую пространственную связь с первичным источником и могут быть удалены от него на значительное расстояние. Для смещенных аномалий часто типичны удлиненная в направлении понижения рельефа форма и постепенный переход в линейно вытянутые потоки рассеяния, подчиненные гидрографической сети. По мере удаления обломочного материала от коренного источника увеличивается степень его сортированности и окатанности, происходит раскрытие сростков и высвобождение зерен минералов. В аллювиальном потоке осуществляются дальнейшее окатывание и измельчение минеральных зерен вплоть до их полного распыления в периферических зонах аномалий.

Следует подчеркнуть, что способность минералов сохраняться в шлиховых аномалиях является функцией взаимодействия гидродинамического фактора, физических параметров минералов и их морфологических особенностей. Таким образом, миграционная способность минералов определяется взаимосочетанием скорости и характера водной транспортирующей среды, климатической обстановки, формы, размерности и плотности минералов, их абразивной прочности и устойчивости к выветриванию.

Литологически шлиховые аномалии связаны в основном с гравийно-песчаными фракциями обломочных пород, реже с галечниками, алевритовым и алевропелитовым материалом. Для этих образований характерны механическая сортировка материала и его гравитационная дифференциация, зависящие от размеров и плотности обломков пород или зерен минералов. В силу этого рудные минералы, обладающие высокой плотностью, при перемыыве и транспортировке обломочного материала закономерно размещаются в вертикальном разрезе рыхлых пород. Для тяжелых зерен рудных минералов вертикальное перемещение при гравитационной дифференциации начинает преобладать над горизонтальным. В результате они концентрируются в нижних горизонтах разреза обломочных образований, лежащих непосредственно на коренных породах.

В поисковой практике поверхность коренных пород, на которой залегают кластогенные осадки, обогащенные зернами тяжелых рудных минералов, носит название плотика. Следовательно, плотиком именуется ложе современного русла реки или древних террас (цоколь террас). При плотиковые горизонты рыхлых отложений часто обогащены полезными компонентами, которые при благоприятной геолого-геоморфологической

обстановке концентрируются до промышленных содержаний, образуя россыпи.

Обычно в разрезе аллювиальных пород чередуется материал различного литологического и гранулометрического состава: грубообломочные галечные и гравийно-песчаные горизонты, содержащие тяжелые минералы, сменяются по вертикали тонкообломочными пелито-алевритовыми, обедненными тяжелой фракцией. Такой неравномерный характер распределения тяжелых минералов в разрезе рыхлых пород приводит к возникновению нескольких обогащенных горизонтов. В связи с этим в поисковой практике различают два типа плотиков — ложные и истинные. Истинный плотик — это поверхность коренных пород, на которой залегает наиболее богатый горизонт аллювия или пласт россыпи. Ложным плотиком называют алевро-пелитовый горизонт или галечник с плотным глинистым заполнителем, расположенный в разрезе аллювия выше истинного плотика и не содержащий зерен ценных минералов. В одном разрезе может наблюдаться несколько ложных плотиков, над каждым из которых происходит некоторая концентрация зерен тяжелых минералов.

## Глава 1

### МЕТОДИКА ШЛИХОВЫХ ПОИСКОВ

#### 1.1. Организация работ

Шлиховые поиски выполняются геологосъемочными или геологопоисковыми партиями (или отрядами) в соответствии с целевыми заданиями, техническими проектами, сметами и сроками, утвержденными руководством экспедиции и НТС экспедиций и являющимися основными руководящими документами для начальника партии (отряда).

В техническом проекте должны быть освещены следующие специальные вопросы: целевое назначение работ, краткая географо-экономическая и геологическая характеристика района, результаты предшествующих исследований (шлиховых, минералогических, геохимических и др.), организация и методика подготовительных работ и собственно шлиховых поисков. Обязательными графическими приложениями к проекту являются геологическая и геоморфологическая карты, график производства всех видов работ, схема лабораторной обработки и исследования шлиховых проб, таблицы технико-экономических затрат по всем операциям. Основой для выполнения шлиховых поисков служат топографические карты и аэрофотоснимки, масштабы которых должны быть в 2 раза крупнее, чем масштабы отчетных картографических материалов.

Проведение шлиховых поисков разбивается на три периода — подготовительный, полевой и камеральный. В течение подготовительного периода, продолжительность которого не должна превышать 3 мес., начальник партии (отряда) составляет технический проект, смету, штатное рас-

писание и готовит первичную документацию. В полевой период, сроки которого обосновываются проектом, выполняются все виды работ, предусмотренные в нем. В состав полевых работ при производстве шлихового опробования входят подготовка к выходу в маршрут, выбор места отбора шлиховых проб и фиксация его на картах и аэрофотоснимках, отбор шлиховых проб (при необходимости с проходкой копушей), подноска (подвозка) проб к месту промывки, оборудование его, промывка проб, сушка и упаковка полученных шлихов, их документация и составление карты шлихового опробования. Осуществляется также выборочный просмотр шлихов для уточнения дальнейшего направления поисковых работ. Камеральные работы по обработке данных шлихового опробования по продолжительности не должны превышать полевой период. Они включают окончательную обработку, обобщение и интерпретацию полевых и лабораторных данных, составление раздела о результатах шлихового опробования к отчету геологосъемочной или поисковой партии и подготовку графических и текстовых приложений к нему в соответствии с проектом работ.

Шлиховое опробование проектируется как самостоятельный вид работ, проводящийся одновременно с геологической съемкой или поисками, и выполняется отдельным шлиховым отрядом, работающим в составе партии. Начальник партии специальным распоряжением устанавливает организационную структуру партии, определяет соподчиненность сотрудников на основе единоначалия, а также обязанности каждого сотрудника. В составе партии предусматривается постоянный и временный персонал на полевой и камеральный периоды работ. В полевой период персональный состав партии расширяется за счет привлечения временных сотрудников.

Типовой состав отряда шлихового опробования в периоды полевых и камеральных работ:

Начальник отряда (старший геолог) . . . . .	0,1
Техник-геолог . . . . .	1
Итого ИТР . . . . .	1,1
Рабочий IV разряда* . . . . .	1

Геолог является основным организатором и исполнителем работ отряда шлихового опробования и несет ответственность за качество и трудозатраты при проведении опробования. Техник-геолог отвечает за правильность документации, упаковки, транспортировки и сохранность шлиховых проб и полученных при их промывке шлихов, а рабочий-промывальщик — за качество промывки шлиховых проб; его работа контролируется геологом путем выполнения нескольких контрольных промывок на каждые 50–100 проб. Норма выработки поискового отряда зависит от проходимости территории (табл. 1).

\* Участвует только в полевых работах.

Таблица 1

**Нормы выработки на отбор и промывку шлиховых проб  
(в пробах на отряд-день)**

Категория проходимости	Объем пробы, м <sup>3</sup>			
	0,01	0,02	0,03	0,04
1	11–20	9–15	8–13	7–11
2	10–19	8–13	7–12	6–10
3	9–18	8–13	6–11	5–9
4	8–16	6–11	5–10	4–8

Геологсъёмочной и геологопоисковой партии может быть придана группа обработки и экспресс-анализа шлихов, представленная полевой шлиховой лабораторией, состоящей из минералога, техника и одного-двух лаборантов. Минералог является основным организатором и исполнителем работы полевой шлиховой лаборатории: он контролирует качество предварительной обработки шлихов вспомогательным персоналом и выполняет минералогические анализы шлихов. Техник принимает шлихи от группы отбора, регистрирует их, проводит гамма-спектрометрические определения ряда элементов в сером шлихе и отвечает за правильность лабораторной документации и сохранность шлихов на всех стадиях их предварительной обработки и анализа. Лаборанты осуществляют все виды предварительной обработки и подготовки шлиха к анализу, а также обработки и подготовки результатов минералогических анализов шлихов для передачи их заказчику.

Кадры для производства шлиховых поисков (техники, лаборанты, промывальщики) готовятся в средних технических специальных учебных заведениях, а также на курсах повышения квалификации при ПГО или вышестоящих организациях.

Приступая к шлиховым поискам, начальник партии обязан провести инструктаж сотрудников по технике безопасности исполнения всех видов полевых и камеральных работ и специальным приказом назначить ответственных по технике безопасности для каждого вида работ. В процессе работ начальник партии контролирует методическую правильность и экономическую рациональность решения поставленных задач, следит за исправностью и бережной эксплуатацией аппаратуры, оборудования, инструмента, соблюдением графика работ в целом и согласованностью между отдельными действиями, обеспечивает своевременное использование получаемых результатов и составление отчета с передачей результатов выполненных работ по актам.

## 1.2. Шлиховые поиски на разных стадиях геологоразведочных работ

В целях рационального и эффективного ведения геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые Министерством геологии СССР разработаны методические указания, обязательные для геологических организаций, министерств и ведомств СССР и союзных республик, осуществляющих геофизические, геологосъемочные и геологоразведочные работы. Эти работы выполняются в восемь последовательно сменяющих друг друга стадий.

Стадия 1 — региональное геологическое изучение территории СССР. Оно проводится в целях определения важнейших особенностей ее геологического строения, выявления основных закономерностей размещения в пределах регионов различных видов полезных ископаемых и прогнозной оценки их перспектив, позволяющей наметить площади для постановки более детальных работ. Региональные исследования подразделяются по масштабам работ на две подгруппы: геолого-геофизические исследования масштаба 1:1 000 000 — 1:500 000 и геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1:200 000 (1:100 000). Шлиховые поиски сопровождают в основном исследования второй подгруппы (масштабы 1:200 000 и 1:100 000), комплексированы с валунными, геохимическими, геоморфологическими, геофизическими наземными и дистанционными методами исследования и сопровождаются поисковым дешифрированием космфотоматериалов. В результате региональных работ выделяются перспективные геологические структуры, в пределах которых могут быть выявлены коренные месторождения неглубокого залегания и россыпи, устанавливаются поисковые критерии и признаки, оцениваются прогнозные ресурсы категории  $P_3$  и определяется направление дальнейших геологосъемочных и поисковых работ. Конечным результатом является Государственная геологическая карта, сопровождаемая картами полезных ископаемых и прогноза полезных ископаемых.

Шлиховые поисковые работы позволяют обнаружить в долинах крупных водотоков механические ореолы рассеяния, которые характеризуют выветривание месторождений, залегающих под маломощным покровом рыхлых отложений. На основании комплексных структурно-геологических, геоморфологических и шлихо-минералогических исследований намечается возможное решение вопроса о связи выявленных шлиховых ореолов с коренными источниками рудной минерализации или с участками возможного россыпеобразования.

Шлиховое опробование в масштабах 1:200 000 — 1:100 000 проводится маршрутным методом в районах с сильно расчлененным рельефом и площадным — в равнинных районах. При этом опробуются главные водотоки высоких порядков, гидросеть средних порядков, а также устьевые части мелких притоков. Шлиховому опробованию подвергаются в основном современные русловые фации, реже — древний аллювий террас,

делювиально-аллювиальные и озерные отложения, а в прибрежной части акваторий — образования пляжей и морских террас. Плотность отбора шлиховых проб определяется геоморфолого-геологическими особенностями территории поисков, деталями строения рельефа и свойствами шлиховых минералов. Согласно СУСНУ, на 1000 км<sup>2</sup> площади работ должно быть отобрано 400—800 проб при размещаях между ними по водотокам 2—1 км. Пункты отбора проб размещаются по возможности равномерно в долинах рек, и только в участках, геологически благоприятных для локализации тел полезных ископаемых, опробование сгущается. Так, более детально опробуются участки развития магматических комплексов, благоприятные для локализации оруденения складчатые и разрывные структурно-тектонические элементы, контактовые зоны интрузивных массивов, поля распространения гидротермально-измененных пород (сульфидизации, окварцевания, хлоритизации, серицитизации, турмалинизации, других подобных образований) и жильного кварца.

Региональные шлиховые поиски в потенциально рудных районах сочетаются с другими видами поисковых работ. Наиболее часто одновременно со шлиховым опробованием в пределах водораздельных пространств выполняется литогеохимическое опробование делювиально-элювиальных отложений или коренных пород в естественных обнажениях. В последнем случае отбирают протолочные пробы с целью установления коренных источников минералов, встреченных в шлиховых аномалиях. Кроме того, в отрезках речных долин, отличающихся малой активностью эрозионных процессов и застойным характером водотоков, вместо шлиховых используют литогеохимические пробы донных илисто-глинистых (пелитовых) осадков. Из поверхностных водотоков и естественных выходов на поверхность подземных вод отбирают гидрохимические пробы. Поисковые работы широко опираются также на данные различных региональных геофизических исследований в их наземных и воздушных вариантах. Сопоставление разнообразного фактического материала с результатами шлиховых поисков дает возможность оценить общие перспективы рудоносности региона в целом и наметить отдельные участки для более детальных исследований.

Стадия 2 — геологосъемочные работы масштаба 1:50 000 с общими поисками. При весьма сложном геологическом строении изучаемых территорий работы этой стадии могут выполняться, в виде исключения, в масштабе 1:25 000. Названные поиски проводятся в пределах перспективных территорий, выявленных в результате работ первой стадии. Они представляют собой основу планомерного крупномасштабного изучения геологического строения территорий и выделения локальных площадей и структур, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых. Работы осуществляются в первую очередь в пределах развивающихся горнорудных районов и проектируемых территориально-производственных комплексов.

Общие поиски, составляющие неотъемлемую часть геологической съемки масштаба 1:50 000 (1:25 000), направлены на всестороннюю оценку перспектив выявления полезных ископаемых, свойственных дан-

ной геологической обстановке, и выполняются комплексным методом с учетом конкретных структурно-геологических и ландшафтных особенностей района. Для обеспечения максимальной результативности работ данной стадии используется широкий комплекс опережающих подготовительных исследований – аэрофотосъемка, радиолокационная, тепловая и другие дистанционные съемки, площадные геофизические, геоморфологические, а также литолого-стратиграфические, петрографические и другие исследования. В результате уточняются структурно-информационные, литолого-стратиграфические и прочие поисковые критерии ожидаемого оруденения и устанавливаются его поисковые признаки.

При оценке территорий на россыпи проводится специализированное геолого-геоморфологическое картирование и формулируются морфо-структурные, фациально-динамические и минерало-геохимические критерии, обуславливающие положение участков россыпного образования. Прогнозные оценки проверяются шлиховыми, валунно-обломочными и геохимическими поисками, в результате которых определяется возможное положение в пространстве коренных тел полезных ископаемых или россыпей.

На основе сопоставления и анализа всех полученных материалов составляются Государственная геологическая карта масштаба 1:50 000, регистрационная карта полезных ископаемых и карта прогнозов их размещения. Для районов, перспективных на россыпи ценных минералов, отстраиваются также геоморфологическая, литолого-фациальная карта и карта четвертичных отложений. Названные карты сопровождаются обоснованной геолого-экономической оценкой прогнозных ресурсов полезных ископаемых категории  $P_2$ . Выделяются объекты, подлежащие дальнейшим исследованиям.

Шлиховой метод является одним из ведущих при общих поисках. Он преследует цель оконтуривания механических ореолов рессеяния в аллювии рек, элювиально-делювиальных отложениях и выявления связи шлиховых аномалий с коренными источниками. Опробование ведется площадным методом, который характеризуется достаточно равномерным размещением проб на изучаемой территории. Проводится систематическое опробование всей гидрографической сети: долин главных рек высоких порядков и всех их притоков протяженностью до 0,5 км (вплоть до водотоков самых низких порядков), а также сухой овражно-балочной сети. Если в конусах выноса притоков малой протяженности обнаружены полезные минералы, то эти притоки также опробуются.

Плотность опробования при шлиховых поисках данной стадии определяется геологическими особенностями района, его рельефом, степенью обводненности, а также свойствами минералов шлихов. Как правило, пробы при поисках масштаба 1:50 000 отбираются на расстоянии 500 м по речной долине, что составляет две-три пробы на 1 км; при работах масштаба 1:25 000 эта величина уменьшается до 250 м, т. е. четыре-пять проб.

При шлиховых поисках месторождений, рудные минералы которых абразивно малоустойчивы, расстояния между точками взятия шлиховых

проб сокращаются; для устойчивых первичных рудных минералов они могут быть увеличены. Опробование сгущается также в участках, благоприятных с геологической точки зрения для рудообразования — в экзо-контактовых частях интрузивных массивов и зонах развития горизонтов определенного литологического состава (проницаемых, пористых), поля развития жильных образований и развалов кварца, гидротермальных метасоматитов, в тектонически интенсивно переработанных участках и т.п.

Основным объектом шлихового опробования являются русловые фации. В случаях достаточно расчлененного рельефа шлиховые пробы отбирают на речных косах, в руслах рек, на пойме, в бортах террас, т. е. из естественных выходов рыхлых пород. При слабо расчлененном рельефе и плохой обнаженности опробование верхних горизонтов русловых фаций не дает надежных результатов, поэтому пробы получают из более глубоких частей долинных отложений, используя для этой цели копуши или мелкие шурфы. В случаях положительных результатов шлихового опробования аллювия опробуются делювиальные отложения, покрывающие склоны речных долин, и элювиальные образования водораздельных пространств.

Шлиховое опробование рыхлых отложений сопровождается отбором протоочных проб из коренных пород и комплексом других видов поисковых работ. Часто в пределах водоразделов ставятся литогеохимические съемки по рыхлым или коренным породам. При ограниченном распространении в русловых отложениях песчано-гравийных образований отбираются литохимические пробы из илисто-глинистых донных осадков. Исследование гидрохимических и почвенно-гидрохимических проб дополняет результаты шлихового опробования. Интересные данные нередко дает изучение ореолов обломочного рудного кварца, биохимическое опробование. Все виды поисковых работ тесно увязываются с различными геофизическими исследованиями.

Стадия 3 — поисковые работы. Работы данной стадии проводятся с целью выявления месторождений полезных ископаемых в пределах известных или потенциальных рудных полей и бассейнов, где при исследованиях второй стадии установлена возможность обнаружения месторождений, подтвержденная наличием перспективных проявлений полезных ископаемых или их прямых поисковых признаков. Масштаб поисковых работ, выполняющихся на четко локализованных перспективных площадях, соответствующая сеть поисковых наблюдений, замеров и опробования определяются поставленными задачами, предполагаемыми размерами объектов поисков и сложностью геологического строения района.

Поисковые работы третьей стадии осуществляются площадным и объемным методами с помощью наземных наблюдений, проходки поверхностных горных выработок, бурения скважин при использовании рационального комплекса поисковых методов и разнообразных видов детального опробования. При ориентировке поисков на выявление россыпей выполняются специализированные наблюдения; с целью дифференциации областей питания по насыщенности и интенсивности оруденения картируются и опробуются коренные источники россыпей и промежуточные кол-

лекторы. Картирование эрозионно-аккумулятивных уровней, анализ истории развития локальных морфоструктур, литолого-стратиграфическая корреляция продуктивных отложений позволяют выделить перспективные морфоструктуры и горизонты разреза рыхлых отложений, оценить роль промежуточных коллекторов в россыпеобразовании. На основании полученных материалов составляются геологические карты масштаба от 1:25 000 до 1:5000, комплекты специализированных карт и разрезов к ним тех же масштабов, показывающие закономерности локализации тел полезных ископаемых, дается обоснованная оценка возможного геолого-экономического значения прогнозных ресурсов полезных ископаемых категории Р<sub>2</sub>.

Шлиховые поиски могут быть направлены на выявление зон коренной минерализации или россыпей и выполняются несколько различно в зависимости от геологической ситуации и поставленных задач. Шлиховому опробованию подвергаются все генетические типы рыхлых отложений различного возраста. Систематически отбираются шлиховые пробы из русловых фаций всех постоянных водотоков участка поисков, а также самых мелких временных водотоков — логов и сухих балок, распадков. Пойменные отложения опробуются в копушах. Проводятся расчистки бортовых частей террас, и вскрытые разрезы опробуются погоризонтно. При поисках россыпей аллювиальные отложения долин вскрываются шурфами или скважинами, расположенными по профилям; опробуются эти отложения также погоризонтно. Элювиально-делювиальные отложения водораздельных частей опробуются площадным методом в копушах, расположенных по сетке 100×50, 50×25 и 25×10 м. Часто для отбора шлиховых проб используются также выкиды поисково-разведочных шурфов и канав, вскрывающих рыхлый чехол водоразделов.

Параллельно со шлиховым опробованием отбираются пробы различных коренных пород, в том числе несущих признаки окolorудных гидротермально-метасоматических преобразований — окварцевания, карбонатизации, лиственитизации, березитизации, родингитизации, сульфидизации, турмалинизации, гематитизации, лимонитизации и др. Шлиховые поиски комплексуются с литогеохимическими съемками по коренным или рыхлым породам, специализированными атмо- и биохимическими съемками, наземными и скважинными геофизическими наблюдениями. Интересные в поисковом отношении материалы может дать применение обломочно-речного метода. В составе галечного материала русловых фаций картируются ореолы рудного кварца, которые хорошо увязываются со шлиховыми аномалиями и могут использоваться для выявления зон коренной минерализации или россыпей.

Стадия 4 — поисково-оценочные работы. Эти работы ставятся на перспективных проявлениях полезного ископаемого, выделенных в результате геологосъемочных и поисковых работ второй и третьей стадий, а также по заявкам первооткрывателей. В качестве перспективных рассматриваются объекты, которые по совокупности геологических, геофизических, геоморфологических, геохимических критериев и признаков считаются благоприятными на обнаружение месторождений полезных ис-

копаемых. Таким образом, объектом изучения при поисково-оценочных работах служит площадь предполагаемого месторождения, и эта стадия является переходной от поисков к разведке месторождения. Основные цели работ — оценка возможного промышленного значения изучаемых месторождений, отбраковка проявлений, не представляющих интереса для промышленности, и выбор объектов для проведения предварительной разведки.

В ходе работ данной стадии детально исследуется поверхность и приповерхностная часть рудного поля путем выполнения геологических, геофизических и геохимических съемок. Тела полезных ископаемых изучаются и тщательно опробуются путем проходки канав, траншей, шурфов, бурения скважин. При крайне неблагоприятном рельефе используются глубокие скважины и подземные горные выработки. Рациональный комплекс исследований выбирается в зависимости от конкретных геолого-структурных и ландшафтно-геоморфологических особенностей строения перспективной площади. В ходе поисково-оценочных работ составляется геологическая карта, специализированные карты и разрезы масштаба 1:5000 — 1:2000 (до 1:1000 для небольших месторождений редких и благородных металлов). Должен быть окончательно установлен геолого-промышленный тип месторождения, нанесен на карту его ориентировочный контур и дан геологически обоснованный прогноз распространения полезного ископаемого на глубину.

При поисках россыпей изучаются состав продуктивных и перекрывающих отложений, распределение полезного компонента, устанавливаются основные параметры россыпи. Для этой цели осуществляются проходка горных выработок, бурение опорных профилей скважин, проводятся фациально-динамический анализ рыхлых отложений, взаимные корреляции динамических фаз аллювия. В приближенно геометризованном контуре месторождения подсчитываются запасы полезного ископаемого по категории  $C_2$ , а для менее детально изученной части месторождения оцениваются количественно и качественно прогнозные ресурсы полезного ископаемого категории  $P_1$ .

Шлиховое опробование на стадии поисково-оценочных работ приобретает ведущую роль при поисках россыпей и имеет подчиненное значение при всех прочих видах работ. Для выявления пространственного положения коренных минерализованных зон применяется площадное копушение делювия и злювия с отбором шлиховых проб по сетке 100×50, 50×25 и 25×10 м. Рыхлые отложения большой мощности вскрываются линиями шурфов или канавами с погоризонтным или поинтервальным отбором шлиховых проб. Шлихи исследуются в лаборатории комплексно. Шлихо-минералогические анализы включают фракционирование шлихов и диагностику минералов с определением их количественных соотношений. Они сопровождаются шлихо-геохимическими исследованиями фракций, при которых изучаются типоморфные особенности минералов, их химический состав и комплекс элементов-примесей.

Параллельно со шлиховыми отбираются пробы на геохимические и специализированные исследования. С целью выявления промежуточных

коллекторов и оценки их роли в питании россыпей проводится литолого-фациальное изучение толщ обломочных (преимущественно грубообломочных и смешанных) рыхлых или литифицированных пород разного возраста и генезиса. Подобные толщи вскрываются расчистками, шурфами, буровыми скважинами. Из них погоризонтно отбираются шлиховые, а в случае литифицированных разностей – протолочные пробы, которые подвергаются детальным минералогическим, геохимическим и специализированным исследованиям.

Для оценки россыпных участков применяются проходка шурфов и бурение скважин по системе профилей, пересекающих перспективные участки на всех эрозионно-аккумулятивных уровнях долин. Из горных выработок поинтервально отбираются шлиховые пробы. Выполняется также геохимическое и специализированное опробование. Шлиховое опробование сопровождается геофизическими наблюдениями – ВЭЗ, микрогравиметрией, микросейсмическими исследованиями, точной магнитной съемкой.

На последующих стадиях геологоразведочных работ (5–8) проводится разведка выявленных месторождений, и шлиховое опробование играет здесь вспомогательную роль.

### **1.3. Методика шлихового опробования речных систем**

Методика шлихового опробования речных систем в значительной мере зависит от циклов развития гидрографической сети и степени ее зрелости. Ю.А. Билибин показал закономерность смены процессов эрозии и аккумуляции в разных зонах речных долин в результате изменения режима неотектонических движений, что и находит отражение в размещении шлиховых аномалий и россыпей.

В верховьях речных систем выделяется зона зрелых долин предшествующего эрозионного цикла, для которой характерны долинные россыпи. Однако при незначительном проявлении боковой эрозии и слабом размыве каких-либо коренных источников могут формироваться лишь мелкие потоки рассеяния в современных русловых фациях. Несколько ниже по течению располагается зона углубления речных долин, в пределах которой преобладает активная донная эрозия. В результате происходит вскрытие коренных источников минерализации в бортах долин или размыв старых долинных россыпей. Освобождающийся рудный материал поступает в русла рек, в них возникают четкие шлиховые аномалии, а при благоприятных условиях – русловые и террасовые россыпи. Еще ниже размещается зона расширения речных долин, где господствует боковая эрозия, под воздействием которой осуществляются перемыв и уничтожение террас предшествующих эрозионных циклов, затрагиваются размывом бортовые части речных долин и вскрываются коренные минерализованные зоны. При этом формируются шлиховые аномалии в различных типах рыхлых отложений, русловые россыпи преобразуются в долинные и уничтожаются старые террасовые россыпи. Низовья рек представляют собой зоны зрелых долин нового эрозионного цикла, в которых разработка долин заканчива-

ется, преобладают процессы аккумуляции обломочного материала, его перемыв и дифференциация. Руслу рек в этих зонах меандрируют, перемывая обломочные накопления и концентрируя в них ценные минералы; возникают устойчивые шлиховые аномалии, происходит преобразование долинных россыпей в русловые.

Учитывая изложенное, методику шлихового опробования видоизменяют в зависимости от фазы развития речной системы в пределах как всей территории поисков, так и отдельных ее участков.

### *1.3.1. Опробование речных систем начальных фаз эрозионного цикла развития*

Речные системы молодого эрозионного цикла типичны для расчлененного горного рельефа с интенсивно проявленными новейшими тектоническими движениями, обуславливающими активное развитие речных долин. В силу невыработанности продольного профиля равновесия таких речных систем, процессы эрозии и денудации преобладают в них над аккумуляцией, речные долины переживают фазы углубления, отчасти — расширения, формируется резко расчлененный рельеф с глубоко врезаемыми речными долинами, крутыми склонами бортов, слабо меандрирующими руслами рек. В этих условиях господствуют процессы донной и боковой эрозии, в результате которых разрушаются коренные минерализованные зоны в бортах и их днищах, уничтожаются террасовые россыпи предшествующих эрозионных циклов. В подобных условиях преобладает транспортировка образующегося обломочного материала, а русловые фации представлены крупнообломочными галечно-гравийно-песчаными отложениями. Отмечается активное поступление полезных компонентов в современный аллювий — происходит активный современный рудный снос.

В пределах этих речных систем формируются отчетливые шлиховые аномалии в современном аллювии, а также в рыхлых отложениях других генетических типов. Они могут использоваться для поисков коренных минерализованных зон, промежуточных коллекторов и современных россыпей (русловых, косовых, долинных). Таким образом, речные системы начальных фаз эрозионного цикла служат основным объектом шлиховых поисков на разных стадиях геологоразведочных работ, и полученные результаты лежат в основе прогнозной оценки территорий на коренные месторождения и россыпи.

Оптимальной метеорологической обстановкой для выполнения шлиховых поисков является меженный период, так как в это время транспортирующая способность водотоков не имеет экстремального характера. Благодаря наиболее низкому стоянию уровня грунтовых вод в данный период обнажаются всевозможные участки концентрации грубообломочных отложений, обогащенных тяжелой фракцией, и становятся доступными для опробования такие формы, как косы, перекаты, участки коренного ложа рек, нижние части разрезов террас и бортов долин и т. п. Кроме того, в период быстрого спада вод после половодья и сезонов интенсивных дождей русловые и косовые отложения заметно обогащаются тяже-

лой фракцией, и их опробование позволяет получить после промывки повышенный выход шлиха.

Поисковые маршруты прокладываются по долинам рек, как правило, вверх по течению. Расположение проб в речных системах определяется масштабом поисков и их задачами. При региональных работах шлиховое опробование рыхлых отложений речной сети эрозионного цикла развития, по существу, сводится к отбору проб из современных русловых фаций. При этом опробуют аллювий водотоков высоких и средних порядков, располагая пробы через 1–2 км по ходу маршрута. В местах впадения притоков в водотоки высоких порядков принято сгущать сеть опробования: две шлиховые пробы отбирают из русловых фаций в долине главной реки (ниже и выше места впадения в нее притока) и одну-две в долине притока (выше его устья, вне зоны влияния главного водотока). Шлихи, полученные после промывки проб, подвергаются экспрессному минералогическому анализу в полевых лабораториях, в ходе которого определяется содержание полезных компонентов и их индикаторных спутников. Нанесение результатов на предварительные поисковые карты позволяет выделить перспективные для дальнейших поисков участки речных долин и выявить роль притоков в выносе ценных минералов.

На стадии общих поисков, а также при поисковых и поисково-оценочных работах шлиховые пробы располагают в пределах изучаемой территории по возможности равномерно, покрывая всю площадь в соответствии с условиями.

Равномерность размещения проб на площади достигается систематическим опробованием всей речной системы — постоянных водотоков всех порядков, вплоть до самых низких, временных водотоков и сухих оврагов, балок, распадков. Шлиховое опробование аллювия сопровождается опробованием делювиальных отложений бортов речных долин и элювия водораздельных пространств. Шлиховое опробование аллювия в долинах мелких притоков с крутым продольным профилем, особенно в приводораздельной их части, затруднено наличием грубообломочных свалов; в этом случае целесообразно получать пробы из делювиальных, пролювиальных и солифлюкционных образований в бортах долин и распадков. В ряде случаев пробы отбираются из естественных обнажений коренных пород с целью получения искусственных шлихов для выявления коренных источников минерализации.

Правильный выбор места отбора шлиховой пробы определяет получение достоверных результатов поисков. Шлиховые пробы располагают в тех участках русел рек, где уменьшается скорость водного потока и происходит накопление транспортируемого рекой обломочного материала. Именно здесь наблюдается максимальное обогащение аллювиального материала тяжелыми минералами, и промывка шлиховых проб дает значительный выход шлиха. Такими благоприятными для шлихового опробования являются участки, размещающиеся ниже областей морфологических изменений в строении речных долин — перегибов их продольного профиля (ниже порогов, перекатов), резкого расширения долин, крутых поворотов русла реки и т. п.

Таким образом, шлиховые пробы отбирают в головных частях кос, на выпуклых изгибах берега в местах крутых поворотов русла, на пляжах, отмелях, в старицах, участках, располагающихся выше препятствий в водном потоке (завалы, коряги, крупные валуны и т. п.), у выходов пород коренного ложа русла. Из опробования исключаются широкие долины крупных водотоков высших порядков, мощные конусы выноса, моренные отложения, а также участки территории, примыкающие к производственным объектам. В первом случае речные долины заполнены переработанным материалом дальнего переноса, не имеющим прямой связи с окружающими геологическими образованиями, а во втором велика роль техногенных факторов, не поддающихся учету при интерпретации результатов поисков.

Обычно опробуются грубообломочные, относительно мало сортированные отложения, накапливающиеся в участках снижения транспортирующей способности водного потока и обогащенные тяжелыми минералами.

Шлиховые пробы отбирают из галечников, неравномернозернистых гравийников, несортированных крупно- или разнозернистых песков с галькой. Наиболее благоприятны для шлихового опробования так называемые "месниковатые пески", т. е. плохосортированные отложения, содержащие значительное количество глинистой фракции, гальку и щебенку коренных пород; наличие глинистой примазки способствует обогащению этих песков тяжелой фракцией и получению при промывке таких проб высокого выхода шлихов разнообразного минерального состава. Не подлежат шлиховому опробованию тонкообломочные хорошо сортированные породы — глины, илы, мелкозернистые кварцевые пески дальней транспортировки. Они практически не содержат тяжелой фракции, и промывка их не дает представительных шлихов.

Глубина отбора шлиховых проб зависит от характера распределения по вертикали тяжелой фракции в обломочном материале. Обычно шлиховые пробы отбираются из поверхностных частей русловых отложений. Особенно благоприятны в этом отношении косы, так как они постоянно перемываются текучими водами реки и перемещаются; в результате наиболее подвижные зерна легких минералов вымываются, самый поверхностный слой косовых отложений обогащается тяжелыми минералами. Часто на песке косы виден черный налет отмытого рекой шлиха. Такие естественным путем образованные шлихи скапливаются в головной части косы, на ее выпуклом крае, выше крупных глыб коренных пород или плавника, лежащих на ней. Все эти участки и опробуют при шлиховании кос, причем пробы отбирают из поверхностных частей песчаных накопленных косы.

При отборе шлиховых проб на отмелях, пляжах, в руслах рек поверхностная часть обломочных отложений зачищается с целью удаления илисто-глинистых осадков, а задернованные аллювиальные образования вскрываются небольшими копушами; при этом снимается почвенный горизонт. В обрывах бровок пойменных террас шлиховые работы отбираются из расчисток, вскрывающих их разрез. Однако следует иметь в виду, что главная масса тяжелых минералов аллювия (полезных компонентов

и их индикаторных спутников) тяготеет к низам его разреза, обогащая приплотиковые горизонты. Кроме того, заметная концентрация тяжелой фракции наблюдается в крупнообломочных породах, лежащих на ложных плотиках. В силу этого шлиховые пробы обычно отбирают из горных выработок, расчисток, закопшек, вскрывающих, возможно, более глубокие горизонты аллювия, приближенные к истинному плотику или расположенные над ложными плотиками, что позволяет получить более достоверный материал о количественном содержании тяжелой фракции в обломочных породах и об обогащении ее полезными компонентами. С этой целью при систематическом отборе шлиховых проб главным образом из верхних частей разреза аллювия проводится также контрольное опробование его глубоких горизонтов, вскрываемых шурфами или расчистками. Это приобретает особое значение при прогнозной оценке территории на россыпи.

Характер плотика играет заметную роль в распределении тяжелой фракции в аллювии по латерали. В зависимости от состава пород коренного ложа речной долины и степени их тектонической переработки, рельеф поверхности плотика резко различен. При массивных однородных коренных породах плотик имеет довольно ровный рельеф и тяжелые минералы распределены в приплотиковых горизонтах аллювия равномерно. Если коренные породы неоднородны, подвержены интенсивным гипергенным изменениям, сильно трещиноваты, раздроблены или закарстованы, то рельеф поверхности плотика сложный, неровный, изобилует западинами, кавернами, ямами. В подобных случаях аллювий распределяется на плотике весьма неравномерно и наиболее грубообломочные его фации, обогащенные тяжелой фракцией, скапливаются в неровностях, западинах плотика, образуя "кусты" и "карманы", в которых концентрируются полезные компоненты. В таких участках с целью получения достоверных результатов шлихового опробования отбор проб производится по сгущенной сети, часто кустовым методом. Если плотик представлен рассланцованными, сильно трещиноватыми породами, сланцами (такой плотик носит название "ребровик" или "щетка"), тяжелые минералы накапливаются не столько в нижних горизонтах аллювия, сколько в поверхностной трещиноватой, элювированной части самого плотика, где нередко возникают резко обогащенные участки. В этом случае отбирают так называемые "щеточные" пробы методом задирки, т. е. в шлиховую пробу поступают не только нижние горизонты аллювия, лежащие на плотике, но и самые верхние части разрушенного плотика. Такие "щеточные" пробы трудны для промывки, но дают богатые шлихи.

Исходный объем (или масса) шлиховой пробы зависит от содержания в обломочных породах тяжелых минералов, которые, таким образом, определяют представительность полученного при промывке пробы шлиха. Первоначальный объем шлиховой пробы должен быть таким, чтобы после промывки минимальный выход шлиха составил 10–15 г; шлихи меньшей массы непредставительны и не могут обеспечить достоверность поисковых работ. Исходный объем или масса всех отбираемых шлиховых проб должны быть стандартными, что позволяет получать сопоставимые результа-

ты по всей территории в отношении количественного содержания шлихообразующих минералов в рыхлых породах. Стандартным считается исходный объем шлиховой пробы  $0,02 \text{ м}^3$  (или масса 40–50 кг – в зависимости от литологии обломочных пород). В труднодоступных районах и засушливых зонах, где требуется транспортировка проб к месту их промывки, в виде исключения отбирают шлиховые пробы объемом  $0,01 \text{ м}^3$  (20–25 кг).

Стандартный исходный объем (масса) шлиховых проб обеспечивается тарированием в начале полевого сезона пробных брезентовых мешков, которыми в дальнейшем пользуются для замера исходного объема проб, их хранения и транспортировки к месту промывки. Можно также определить среднюю массу промывочного лотка, заполненного рыхлой породой, путем его взвешивания, а затем учитывать количество промытых лотков на одну пробу, рассчитывая выход шлиха на ее исходную массу. Более точное предварительное тарирование пробных мешков и промывочных лотков производится с помощью ендовок. Это корытообразные деревянные ящики с ручками, имеющие следующие размеры (в см): сверху  $60 \times 30$ , внизу  $50 \times 20$  при высоте 20. Внутренний геометрический объем такой ендовки  $0,028 \text{ м}^3$ . Однако порода загружается в ендовку в разрыхленном состоянии, что уменьшает ее емкость по массе. Учитывая коэффициент разрыхления пород ( $K_p$ ), рассчитывают объем породы  $V_n$ , заполняющей ендовку; так, для талых пород  $K_p = 1,4$  и  $V_n = 0,02 \text{ м}^3$ , а для мерзлых  $K_p = 1,75$  и  $V_n = 0,016 \text{ м}^3$ . Для замера объема породы ее засыпают в ендовку с верхом, легким постукиванием дна о землю утрясают и сравнивают под линейку в уровень с краями. Затем определяют емкость тарных мешков или промывочных лотков.

### *1.3.2. Опробование речных систем завершающих фаз эрозионного цикла развития*

Речные системы завершеного цикла развития типичны для средне-, низкогорных и равнинных районов. В силу затухания новейших тектонических движений, процессы эрозии и денудации здесь уступают место процессу аккумуляции. Рельеф таких районов сглаженный, слаборасчлененный, со спокойными формами. Речные долины хорошо разработаны боковой эрозией, широкие, корытообразного поперечного профиля, с выработанным равновесным продольным профилем. В их бортах сохраняются террасовые комплексы, сформированные в предшествующие эрозионные циклы. Долины рек заполнены мощными аллювиальными отложениями, современные водотоки имеют медленный, застойный характер, их размывающая и транспортирующая способность незначительна, русла сильно меандрируют, часто заболочены.

В долинах таких рек преобладает аккумуляция тонкообломочного материала, не происходит размыв коренных минерализованных зон, отсутствует поступление полезного компонента в русловые фации, не возникают шлиховые аномалии в современном аллювии, представленном в основном илесто-глинистыми отложениями. В силу этого шлиховые поис-

ки в речных системах рассматриваемого цикла развития мало эффективны для обнаружения коренных месторождений полезных ископаемых, так как в современных русловых фациях механические ореолы рассеяния не образуются. Основной их задачей может быть выявление содержания полезных компонентов в отложениях террасовых комплексов, сформированных в более древние эрозионные циклы, что позволяет прогнозировать наличие террасовых или погребенных россыпей, решать вопросы связи их с коренными россыпеобразующими формациями.

Аллювий рек древних эрозионных циклов исследуют с применением копушей, расчисток, шурфов и буровых скважин. При этом вскрывают и опробуют весь разрез древнеаллювиальных отложений, вплоть до их нижних, приплотиковых горизонтов, в которых в основном концентрируется тяжелая фракция обломочных пород. Горные выработки (шурфы, буровые скважины) располагают по линиям, пересекающим всю речную долину и вскрывающим все эрозионно-аккумулятивные уровни в ее пределах. Линии размещают в перспективных участках речных долин, выделенных по данным поисковых работ второй и третьей стадий на основании геологических, геоморфологических, геофизических и специализированных исследований. Их задают в участках с нормальными продольным профилем и шириной речной долины, с хорошо выраженными морфологическими элементами. При наличии конусов выноса боковых притоков поисковые линии должны находиться ниже их по течению на 100–300 м.

При выборе конкретного места заложения поисковой линии шурфов или буровых скважин учитывают наличие морфоструктур, геологических и структурно-тектонических деталей, благоприятных для локализации россыпей или коренных источников минерализации. Нежелательно располагать линии горных выработок в участках перегибов продольного профиля или резкого расширения речных долин, в пределах их отрезков с большой валунистостью и наличием наледей; линии не задают в ущельях, трубах, щеках.

Линии поисковых выработок ориентируют вкрест простирания оси долины. Расстояния между ними должны отвечать требованиям соответствующих масштабов работ: при региональных поисках эти расстояния составляют 1,5–2 км, на стадии общих поисков – 0,5–1 км, а при поисково-разведочных работах – до 200 м. Расстояния между выработками на линии изменяются от 40 до 20 м в зависимости от масштаба исследований, сложности строения речной долины и ее морфологических особенностей. Выработки на линии располагают симметрично от одного борта долины к другому или от ее оси к увалам, начиная с той части, где их труднее разместить. Выработки не задают в неудобных местах – на обрывистых склонах, порогах, в местах скопления крупных валунов; в этих случаях их переносят на 10 м вверх или вниз по течению, на 6 м вправо или влево по створу.

При относительно небольших мощностях аллювия горные выработки удастся пройти до нижних, наиболее богатых приплотиковых горизонтов аллювия. Если мощность террасовых отложений большая, не всегда удастся достичь выработками истинного плотика: вскрываются лишь

верхние части разреза аллювия, и выработки останавливаются на горизонтах промежуточных ложных плотиков. В этих случаях необходимо проводить выборочное контрольное опробование над истинными плотиками, применяя более глубокое бурение. Опробуется весь разрез вскрываемых рыхлых отложений; шлиховые пробы отбираются из шурфов и скважин погоризонтно или поинтервално через каждые 0,2–0,5 м уходки. Таким образом, число шлиховых проб, отбираемых на каждой линии, достаточно велико, что позволяет выявить закономерности распределения полезного компонента по фациям аллювия разновозрастных террас и фиксировать различные по возрасту и генезису россыпи.

В ряде случаев бровковые части террас бывают обрывисты и обнажены, и эти естественные обнажения аллювиальных пород также используются для шлихового опробования. Чаще всего опробуются подмываемые рекой участки пойменных террас, особенно в период низкой воды, реже — более высокие надпойменные террасы. Опробование подобных естественных обрывов террас дает интересный в поисковом отношении материал, так как в этих случаях нередко вскрываются нижние приплотиковые горизонты аллювия, обогащенные тяжелой фракцией. Наибольшее внимание должны привлекать цокольные террасы, поскольку при их подмыве обнажается “спай” — место сочленения террасовых отложений с коренным цоколем, где максимально концентрируются тяжелые минералы. Обрывистые бровки террас расчищаются и производится их погоризонтное опробование.

Исходный объем проб, отбираемых при шлиховых поисках в речных системах завершеного цикла, может колебаться в зависимости от избранной методики поисков, но в каждом конкретном случае он должен быть единым, стандартным. При отборе шлиховых проб из керна буровых скважин этот объем может составлять 0,01–0,02 м<sup>3</sup>; при опробовании в шурфах и расчистках нередко отбирают крупные пробы объемом до 0,04 м<sup>3</sup> (до 100 кг), что позволяет увеличить точность определения содержания полезных компонентов в рыхлых отложениях. При названных видах шлихового опробования во всех случаях особое значение приобретает точность замера исходного объема пробы, для чего предпочтительно используют ендовки стандартных размеров и вместимости.

#### **1.4. Методика шлихового опробования делювиальных и элювиальных отложений**

Шлиховые поиски в делювиальных и элювиальных образованиях могут использоваться на стадии общих поисков в случаях слабого развития речной сети, но чаще применяются при поисковых, оценочных и разведочных работах крупных масштабов. Выполняются они в пределах перспективных территорий и прогнозируемых рудных полей или месторождений, где по данным предварительных исследований были установлены шлиховые, геохимические, геофизические аномалии, наблюдались рудные свалы или отмечались прямые поисковые признаки минерализации, было

проведено предварительное оконтуривание возможных рудоносных площадей и участков.

Цели шлиховых поисков в делювии и элювии — выявление коренных источников питания уже известных россыпей, определение направления рудного сноса, оконтуривание делювиального веера разноса и прогнозирование пространственного положения тел полезных ископаемых, прослеживание по простиранию зон коренной минерализации. Делювий и элювий опробуются в приводораздельных частях рельефа и на водоразделах; при этом проходятся копуши, реже — шурфы, каналы и траншеи, а также максимально используются естественные обнажения рыхлых пород. При наличии каменных грубообломочных осыпей и развалов, в их краевых частях и перегибах рельефа, как правило, скапливается глинисто-песчано-древянистый материал, который благоприятен для шлихового опробования. При активном оттаивании многолетней мерзлоты возникают мелкие потоки, выносящие древесно-песчаный материал, который также можно использовать для отбора шлиховых проб. Пробы размещаются на площади поисков по возможности равномерно.

Определение направления сноса полезного компонента от коренных источников и прогнозирование их положения в пространстве выполняются на стадии общих поисков или поисково-оценочных работ и являются первоначальной задачей опробования при поисках в делювии и элювии. Эти работы базируются на анализе результатов шлихового опробования основных речных долин, устьевой части более мелких притоков и обломочного материала сухих оврагов, балок и распадков, на основании которых выделяют перспективную для детальных поисков часть территории. Далее на этом участке в бортовых частях долины, параллельно ее оси, у подножия склонов проходят линию копушей или шурфов и отбирают шлиховые пробы. Выработки располагают на линии в зависимости от масштабов поисков на расстояниях 50—100—200 м.

Минералогический анализ шлихов, полученных после промывки проб, позволяет уточнить положение перспективного участка и его границы. Одновременно проводится его искаживание с целью выявления прямых поисковых признаков оруденения — свалов рудных обломков или околорудных гидротермально измененных пород, развалов кварца, а также своеобразных форм микрорельефа и геоботанических аномалий. Эти наблюдения могут сопровождаться отбором протоколочных проб коренных пород, литохимических проб из рыхлых отложений, ртутнометрическими и радиометрическими съемками, детальными геофизическими наблюдениями методами ЕП или магнитометрии.

Оконтуривание делювиального веера выполняется после получения первых положительных результатов линейного копушения или шурфовки. В пределах установленного перспективного участка вдоль бортов речной долины в направлении к водоразделу задается ряд линий, на которых в копушах, а при большой мощности делювия — в шурфах осуществляется массовый отбор шлиховых проб. В зависимости от масштаба детальных поисковых работ и характера рельефа расстояние между линиями составляет 50—200 м, а между выработками на линиях — 10—50 м.

В приводораздельной выровненной части участка поисков линейное опробование делювия заменяют площадным копушением. По сетке 80×20 или 40×10-м копушами вскрываются делювиально-элювиальные рыхлые породы и отбираются шлиховые пробы. Линейное или площадное копушение сочетается или взаимоувязывается с другими видами поисков и отбором разнообразных проб рыхлых образований.

Результаты экспрессного полевого предварительного просмотра отмытых шлихов наносят на поисковые планы и оконтуривают область делювия, содержащую полезные компоненты — делювиальный веер. Как правило, форма этой области в плане различается в зависимости от пространственной ориентировки тел полезных ископаемых по отношению к рельефу. Если простираение тела полезного ископаемого совпадает с уклоном рельефа, то делювиальный веер имеет форму треугольника, при косом расположении он трапециевидный. Вершина треугольного ореола или короткое основание трапеции обращены в сторону коренного источника минерализации.

Возможное простираение минерализованных зон или предположительная форма тел полезных ископаемых определяются путем копушения делювия и элювия короткими линиями. Эти работы могут выполняться в самых детальных масштабах в случаях, когда выявлены крупнолыбовые развалы рудного кварца, минерализованных обломков пород или обложенных рудных обломков. От точки обнаружения подобных рудных свалов выше по склону задается несколько линий копушей, параллельных склону и постепенно охватывающих все более широкую зону. Такое копушение линиями в ряде случаев предшествует проходке канав. Расстояния между линиями могут составлять 80—40 м, между копушами на линии — 20—10 м.

Копуши, в которых установлены наиболее высокие содержания в шлихах полезных компонентов, соединяются на планах линией, направление которой может отвечать вероятному простираению минерализованных зон. При групповом расположении копушей, в шлихах из которых отмечается максимальное обогащение полезным компонентом, на плане выделяется контур. Его положение в пространстве и форма могут соответствовать предполагаемому положению и форме тел гнездового или штокверкового типа; при общей вытянутости контура аномальной зоны возможно совпадение ее длинной оси с направлением минерализованных зон, представленных рядом мелких сближенных линейных тел полезных ископаемых.

Глубина отбора проб при шлиховых поисках в делювии и элювии обусловлена рядом факторов. Шлиховому опробованию подлежат супесчаные, суглинистые и дресвянистые образования, слагающие нижние части разреза делювия и элювия, перекрытые нередко довольно мощным почвенным горизонтом. Последний при отборе пробы удаляется, а далее выявляется рациональный для отбора пробы горизонт, максимально обогащенный тяжелой фракцией и полезными компонентами.

Распределение тяжелых минералов в разрезе рыхлого делювиально-элювиального материала и положение оптимальных для шлихового опро-

бования горизонтов определяются крутизной склонов, интенсивностью сползания обломочных продуктов и их дифференциацией в процессе передвижения.

При отмирающем, выположенном рельефе, характеризующемся замедленным продвижением продуктов выветривания в пониженные участки, происходит их гравитационная дифференциация, усиливающаяся в периоды снеготаяния, оттаивания деятельного слоя многолетней мерзлоты, интенсивных дождей. В результате тяжелые минералы концентрируются в нижней части разреза рыхлых отложений, в силу чего отбор проб предпочтительно проводят вблизи истинного плотика.

Для эрозионного, активизированного в своем развитии рельефа типичны крутые склоны, быстрое, часто хаотичное перемещение обломочного материала в пониженные участки без соответствующей его гранулометрической сортировки и гравитационной дифференциации. В результате этого тяжелые минералы обогащают верхние горизонты делювия (из них предпочтительно удаляется легкая фракция); в этом случае шлиховые пробы следует отбирать на глубине первых десятков сантиметров.

Гранулометрический состав делювия также влияет на распределение в нем зерен тяжелых минералов и, следовательно, на глубину отбора шлиховых проб. При достаточно мелкообломочном материале (глина, суглинок, песок с дресвой) пробы получают обычно с глубины до 40–50 см, а в случаях крупноглыбового делювия (сушенцы, глыбы, щебень без связующего мелкообломочного материала) их отбирают из горизонта появления в делювии супесчано-глинистых примазок, способствующих улавливаю и концентрации зерен тяжелых минералов.

Существенное воздействие на распределение минералов в толще обломочных пород оказывают также свойства самих минералов, в частности их плотность. Чем выше плотность минерала, тем активнее он перемещается в низы делювия, где и создает обогащенный горизонт. Так, золото, обладающее исключительно высокой плотностью, обогащает самые глубокие горизонты делювия, тяготея к плотнику; касситерит, которому свойственна меньшая плотность, концентрируется в средней части разреза делювиальных отложений; монацит, имеющий относительно невысокую плотность, характерен для поверхностных частей делювия, подстилающих почвенный горизонт.

## 1.5. Методика шлихового опробования прибрежно-морских отложений

Прибрежно-морские отложения подвергаются шлиховому опробованию в связи с поисками россыпей в береговой зоне акваторий; это могут быть россыпи латеральные или аллювиальные, погребенные в результате морских трансгрессий. Такие работы выполняются на стадии общих поисков и поисково-оценочных работ (масштабы 1: 50 000 – 1: 10 000).

Прибрежно-морские (латеральные) россыпи являются источниками таких ценных минералов, как рутил, ильменит, циркон, монацит; реже встречаются подобные россыпи касситерита, алмазов, золота, платины. Эти россыпи располагаются узкой полосой в зоне прилива – отлива

(зона пляжа, прибрежных дюн, берегового склона), характеризуются значительной протяженностью вдоль побережья, небольшой мощностью пласта и существенным обогащением полезным компонентом. Литологически они связаны с хорошо сортированными тонкозернистыми песчаными отложениями высокой степени окатанности. Шлиховое опробование является одним из основных методов поисков латеральных россыпей и комплексировается с геохимическими, структурно-геологическими и геофизическими исследованиями.

Шлиховое опробование прибрежной полосы суши осуществляется по серии профилей, ориентированных по нормали к береговой линии, расстояние между ними составляет 1,5–2 км; на профиле места отбора проб располагаются через 500 м. Отбор шлиховых проб проводится в колушах глубиной до 1 м. Объем проб стандартный – 0,02 м<sup>3</sup> (но в ряде случаев, при недостатке материала приходится отбирать пробы меньшего объема – 0,01 м<sup>3</sup>).

Отобранная шлиховая проба просеивается через крупное сито для отделения галечного материала и сокращается методом квартования: из нее отделяется дубликат (200–300 г), навески для спектрального (50 г) и гранулометрического (200 г) анализов, а основная часть пробы поступает на промывку с целью извлечения концентрата тяжелых минералов. Промывку шлиховых проб ведут обычно лотком, реже – на концентрационном столе. Одновременно с проведением шлихового опробования изучают формы рельефа, динамику берегов, строение и литологию прибрежно-морских отложений, выявляют и прослеживают положение древних береговых линий.

Шлиховое опробование прибрежной полосы моря состоит в отборе проб донных отложений по системе галсов, ориентированных перпендикулярно к берегу. Расстояния между галсами 2–4 км, а между точками наблюдения по галсу – 200–500 м. Привязка точек опробования осуществляется с помощью геодезической и высокоточной радионавигационной аппаратуры. Шлиховые пробы отбираются точно-задирковым методом с помощью дночерпателя; применяется также керновое опробование с помощью грунтовых трубок различных конструкций. Объем проб, извлекаемых с помощью дночерпателя, обычно не превышает 0,03 м<sup>3</sup>, а при керовом опробовании из взятой колонки проводится секционный отбор проб.

Одновременно со шлиховыми отбираются пробы для геохимических и литологических исследований, выполняется комплекс геофизических наблюдений – сейсмоакустическое профилирование, магнитометрия, реже – электропрофилирование. Из пробы донных осадков после квартования получают дубликат, навески для гранулометрического (200 г), спектрального (50 г) и ядерно-физического (50 г) анализов, а основная часть пробы промывается на концентрационном столе или в лотке для извлечения концентрата тяжелых минералов.

При промывке шлиховых проб из прибрежно-морских отложений выход шлиха зависит от гранулометрического состава исходного рыхлого материала и длительности транспортировки его от коренного источни-

ка. В случае шлихового опробования прибрежно-морских отложений ближнего сноса, представленных главным образом песчано-гравийными фракциями, зерна ценных минералов достаточно крупны и хорошо извлекаются при промывке в лотке. Если шлиховому опробованию подвергаются отложения дальнего сноса, в составе которых преобладают песчано-алевритовые фракции со значительной долей тонкого алеврита, лотковая промывка проб дает низкий выход шлиха и значительные потери зерен рудных минералов или их индикаторных спутников. В последних случаях вместо лотковой промывки нередко применяют магнетогидродинамические сепараторы (МГД-сепараторы), обработку всей пробы тяжелыми жидкостями без предварительной промывки или прямое определение содержания полезных компонентов в первичной шлиховой пробе специальными высокочувствительными методами.

## 1.6. Документация шлиховых проб и шлихов

За время полевого сезона каждый поисковый отряд или партия отбирают большое число шлиховых проб, а в масштабах крупных экспедиций насчитываются многие сотни и тысячи шлихов. Накапливается огромный и ценный в поисковом отношении фактический материал, который требует правильной документации и хранения. В силу этого документации шлиховых проб и получаемых при их промывке шлихов уделяется большое внимание, так как от тщательности, правильности и своевременности ее выполнения зависит обеспечение надежности фактического материала и успешной интерпретации результатов поисков.

В полевой книжке в момент взятия шлиховой пробы записываются следующие основные сведения: номер пробы, адрес места ее отбора, генетический тип опробованных отложений, литологический состав, глубина отбора и исходный объем (или масса) пробы. Следует подчеркнуть важность указания глубины отбора пробы, что позволяет оценивать тенденцию в возможном увеличении с глубиной содержания полезного компонента. Записи могут дополнительно сопровождаться схематическими зарисовками различных морфологических элементов рельефа, на которых отмечается положение отобранных шлиховых проб. Зарисовки показывают профили речных долин со сложными террасовыми комплексами, морфологические элементы строения рельефа, строение разрезов рыхлых образований в их естественных обнажениях или вскрытых расчистками, поверхностными горными выработками, буровыми скважинами. Сопоставление полевых записей и зарисовок с результатами лабораторных исследований шлихов позволяет в дальнейшем выявить возрастные и генетические взаимоотношения между разными группами механических ореолов рассеяния.

Этикетирование шлиховых проб проводится одновременно с их отбором и выполняется несколько различно при поисках разного масштаба и в разных географических и климатических условиях. На стадии общих поисков во время поискового маршрута шлиховые пробы промываются на месте их отбора. В этих случаях специальной документации шлиховых

проб не требуется и все внимание уделяется правильной документации полученных шлихов. После промывки высушенные шлихи упаковывают в двойные бумажные капсулы из бумаги типа "крафт". Шлихи хранят обязательно в двойных капсулах во избежание высыпания при возможном случайном их повреждении. Внутренний капсуль делают несколько меньшим по размеру; на нем надписывают номер шлиха, в него вкладывают этикетку. Этикетка выписывается на бумаге простым карандашом или шариковой ручкой; на ней указывается номер шлиха, адрес места его отбора, дата отбора и промывки пробы. На внешнем капсуле приводятся основные сведения о шлихе: название поисковой партии, номер шлиха, адрес места его отбора, объем промытой породы, фамилия промывальщика, дата отбора и промывки пробы, а также результаты предварительного просмотра мокрого шлиха (например: два знака золота). Перечисленные сведения, а также дублирование их позволяют избежать возможной в полевых условиях путаницы в нумерации шлихов.

При выполнении шлихового опробования в детальных масштабах (на поисковых, оценочных и разведочных стадиях), а также при опробовании ложковых отложений сухой овражно-балочной сети, при работах в засушливых или высокогорных районах с бурными немногочисленными мелкими ручьями, изобилующими перекатами, в районах Крайнего Севера шлиховые пробы не могут быть промыты на месте отбора и требуется их транспортировка гужевым или автомобильным транспортом к водоемам. Для этого шлиховые пробы помещают в плотные брезентовые мешки, снабжают этикетками и надежно завязывают. Обычно материал шлиховых проб бывает влажным, поэтому целесообразно сразу же после их отбора заполнять бумажные этикетки. Последние обычно заменяют деревянными бирками, на которых простым карандашом четко надписывают обычно номер шлиховой пробы и некоторые данные о ней (номер выработки, глубина отбора пробы). В дальнейшем отмытые из проб шлихи упаковывают в бумажные капсулы и этикетуют обычным способом, делая надписи на пакетах и вкладывая внутрь уже бумажные этикетки.

Карта шлихового опробования отстраивается обычно в двух экземплярах. В полевых маршрутных условиях одновременно с отбором шлиховых проб на топоснове точками наносят места их отбора и номера. В лагере поисковой партии после окончания маршрута на второй, чистой экземпляр карты шлихового опробования тушью четко наносят те же точки отбора проб. Эта дублирующая карта исключает опасность "потери" точек опробования и в дальнейшем служит основой для составления отчетной карты фактического материала.

Полевой шлиховой журнал ведется одновременно с выполнением шлихового опробования и содержит все первичные сведения об отобранных шлиховых пробах, дублируя основные записи в полевой книжке. В графах журнала указываются номера шлиховых проб, адрес мест их отбора, генетический тип опробуемых отложений, литологический состав и исходный объем пробы, глубина ее отбора, фамилия промывальщика, дата промывки. В примечаниях приводятся некоторые дополнительные сведения геолого-геоморфологического или иного плана, а также результаты поле-

Таблица 2

## I. Форма полевого журнала регистрации образцов и проб

№ п/п	Номер точки наблюдения	Номер образца	Адрес точки наблюдения	Характер выхода пород	Породы, минералы	Шлиф		
						Образец	Шлиф	
							прозрачный	полированный
1	Б-67	67/1	Р. Сыдыг, в 3 км выше устья, правый борт	Русловая фация	Песчано-гравийные отложения			
2	Б-67	67/2	То же	Скальный выход	Кварц из жилы	I	П	П
3	М-38	38/1	Руч. Невский, устье	Русловая фация	Крупнозернистый песок с галькой			

## II. Форма лабораторного журнала результатов полного полук количественного минералогического

№ п/п	Лабораторный номер анализа	Номер шлиха заказчика	Адрес места отбора шливовой пробы	Объем промывной породы, м <sup>3</sup>	Масса, г				
					шлиха	навески для анализа	фракций		
							ферромагнитной	парамагнитной	тяжелой див-магнитной
1	2120	67/1	Р. Сыдыг	0,02	68,4	17,2	2,06	10,31	1,92
2	2125	38/1	Руч. Невский	0,02	152,5	45,72	10,52	34,12	1,08

вого предварительного просмотра мокрого шлиха, выполняющегося сразу же после окончания промывки, так как в нем могут быть различимы знаки золота, зерна пирита и других сульфидов, являющихся типоморфными спутниками полезных компонентов шлиха. Полевой шливовой журнал в дальнейшем дополняется результатами лабораторного анализа шливов и прикладывается к отчету в качестве фактического материала.

Следует заметить, что современные шлиховые поиски не проводятся в отрыве от геологических, геохимических и прочих специализированных работ, и обычно они комплексуются с другими видами исследований. Таким образом, во время поискового маршрута одновременно со шлихо-

Отобранный материал		Пробы для анализа							Примечания
Шлих	минералогическое (минеральная палинологическое)	химического	декрепитового	гранулометрического	спектрального	рентгеноструктурного	на углерод		
Г		I							Касситерит (?)
Г			I		Г			I	Мелкая вкрапленность пирита Окисленный пирит

ческого анализа шлихов

Минеральный состав фракций, %							Содержание полезных компонентов, % г/м <sup>3</sup>				Состав сростков
магнетит	пирит лимонитизированный	гранат	пироксен	амфиболы	ставролит	эпидот	ильменита	рутила	циркона	касситерита	
28,53	4,23	0,59	1,25	7,94	3,71	3,41	26,47	0,43	2,31	0,21	Кварц с касситеритом
							746	12	65	6	
16,89	7,28	Ед.зн.	—	8,32	Ед.зн.	2,42	12,14	0,2	0,36	—	То же

вым опробованием отбираются разнообразные образцы и пробы для последующего камерального изучения. В связи с этим не всегда целесообразно вести отдельные полевые журналы по каждому виду опробования. Можно предложить форму полевого журнала, разработанную автором на основе многолетних комплексных шлиховых работ, выполнявшихся в различных районах Сибири (табл. 2).

В графах журнала указываются следующие сведения: номера точек наблюдений, адрес места наблюдения, номера отобранных образцов, название породы, из которой отобраны образцы, характер выхода породы, виды отобранных образцов для исследований (образец, штупф, шлиф

прозрачный, шлиф полированный, спектральный анализ, шлик, мономинеральные пробы, палинологические исследования, гранулометрия, декрептометрия, химические анализы, рентгено-структурные исследования, определение углерода).

В графах, касающихся отбора различных видов проб, в полевых условиях проставляются значки "I", что обозначает отбор пробы на какой-либо конкретный вид исследования; если проба для того или иного вида анализов не отбиралась, соответствующая графа оставляется пустой. После окончания полевых работ при передаче проб на различные лабораторные исследования в соответствующих графах знак "I" заменяют на знак "Г", а при получении результатов анализов проб – на "П". Таким образом, просматривая полевые журналы в камеральный период, легко можно проследить за ходом обработки собранного фактического материала и за получением аналитических данных. Кроме того, для какой-либо конкретной интересной пробы можно быстро получить возможность найти сравнительные данные по другим видам исследований.

Документация шликсов при передаче их на исследование в минералогические лаборатории также требует аккуратности и систематизации. Пакеты со шликсами, снабженные необходимыми надписями, подбираются в порядке номеров по десяткам или сотням, надежно упаковываются в пачки, обертываются крафт-бумагой и перевязываются; на пачках указывается название поисковой партии и номера шликсов (от ... до ...), находящихся в них. К подготовленным для отправки в лабораторию шликсам прикладывается сопроводительная ведомость, в которой для каждого шлика указывается полевой номер и адрес места отбора шликсовой пробы; общее число отправляемых на минералогический анализ шликсов и могут быть даны некоторые указания по методике исследований. Сопроводительная ведомость должна быть завизирована начальником партии или отряда.

## 1.7. Промывка шликсовых проб

Промывка проб рыхлых пород является тонким искусством, требует большого навыка и высокой квалификации. От совершенства ее выполнения зависит правильность интерпретации полученных результатов и обоснованность прогнозной оценки территории поисков. Выход шликсов из проб рыхлых пород, комплекс минералов и содержание их в шликсах в значительной степени зависят от качества работы промывальщика, и уже на этой стадии шликсовых работ может быть получен недостоверный фактический материал с заложенными в нем ошибками. Поэтому к промывке шликсов следует допускать только специально инструктированных опытных промывальщиков, не доверяя эту ответственную операцию случайным лицам: неквалифицированный шликсовщик-промывальщик "упускает" шлики или "перемывает" их и этим может свести на нет всю трудоемкую работу по опробованию.

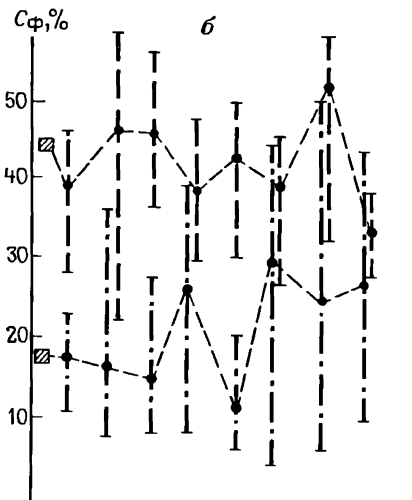
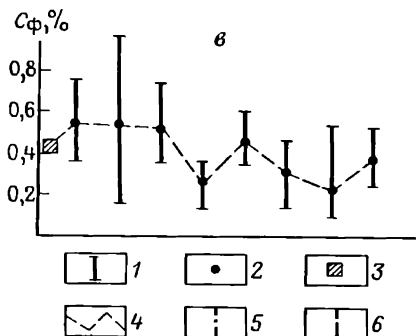
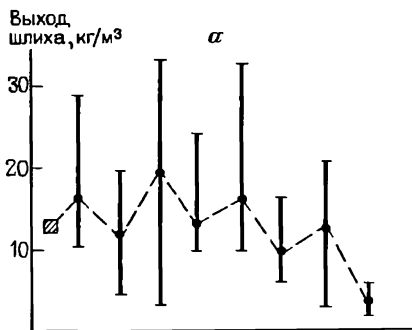


Рис. 1. Вариации показателей промывки шлиха у разных промывальщиках: а — выхода шлиха, б — в — содержания в нем различных фракций  $C_{\Phi}$  (б — ферро- и парамагнитной, в — тяжелой диамагнитной).

1 — дисперсия показателей у разных промывальщиков; 2–3 — средние значения: 2 — у одного промывальщика, 3 — у всех; 4 — вариации средних значений; 5–6 — содержание фракций: 5 — ферромагнитной, 6 — парамагнитной

Проведенные Е.М. Захаровой опытные работы по анализу особенностей извлечения шлиха из пробы рыхлых пород при их лотковой промывке показали, что извлекаемость определенных минералов зависит как от субъективных причин, так и от минерального состава (рис. 1). Безусловно, одним из основных факторов являются уровень квалификации промывальщика и индивидуальный стиль его работы. Выход шлиха из пробы повышается с ростом опыта и моральной ответственности промывальщика, сказываются также его личные особенности — уравновешенность, спокойствие либо эмоциональность, нервозность. Существенное значение имеет взаимосочетание морфологических и физических параметров минералов — формы и размеров зерен, габитуса кристаллов, плотности, твердости и механической устойчивости минералов.

Минералы, представленные в шлихах мелкими зернами, теряются при промывке чаще, так как относительная масса каждого зерна меньше. Зерна изометричного облика лучше удерживаются в лотке при промывке, а минералы призматические, удлиненные при неумелой промывке смь-

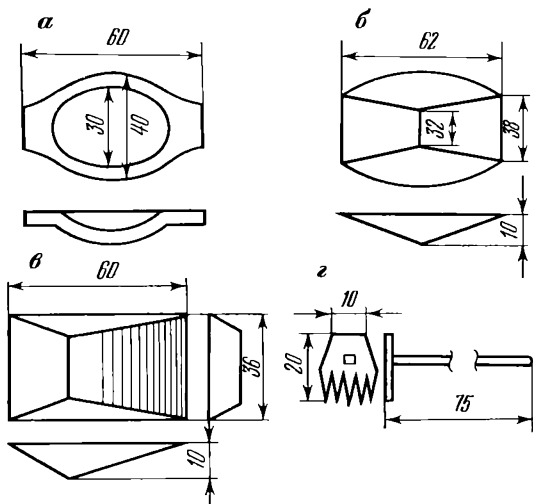
ваются с лотка. Наибольшие потери отмечаются в случае зерен пластинчатой морфологии. Повышение извлечения минералов в шлих в процессе промывки прямо пропорционально их плотности. Механически неустойчивые минералы в результате активного перемива и перемещения пробы в лотке во время промывки подвергаются интенсивному абразивному воздействию, в результате чего их зерна истираются, раскалываются, диспергируются и легче вымываются из пробы.

Таким образом, потери шлиховых минералов при лотковой промывке избирательны; увеличение потерь свойственно преимущественно минералам относительно невысокой плотности, призматического или пластинчатого облика, зерна которых имеют небольшие размеры и обладают пониженной механической устойчивостью.

Для промывки шлиховых проб используются различные приспособления. При общих поисках маршрутного характера обычно применяют легко переносимые лотки или ковши; при поисково-оценочных работах и предварительной разведке, носящих более стационарный характер и требующих нередко обработки крупных по исходному объему проб, промывку часто ведут с помощью микрошлюзов, винтовых сепараторов, гидршлюзов, бутар, вашгердов. Рассмотрим подробно лотковую промывку шлиховых проб как наиболее употребительную в практике шлиховых поисковых работ.

Известны различные типы лотков для промывки шлихов (рис. 2). Наиболее удобен в работе и чаще используется на практике лоток корейского типа. Он имеет две широкие наклонные плоскости, сходящиеся посередине, и две маленькие, наклоненные к широким (см. рис. 2, б). Размеры лотка следующие (в см): длина — 62, ширина в верхней части — 38, по дну — 32, высота — 10—12, толщина стенок у дна — 1,5; к концу рабочей плоскости стенки утончаются. В лоток таких размеров помещается около 0,01 м<sup>3</sup> разрыхленной породы. Изготовление качественного лотка требует умения и навыка и доступно не каждому мастеру. Лоток должен быть цельнодолбленным. Предварительно заготавливают крупную плаху из липы, кедра, березы, тополя, осины. Ее тщательно высушивают, далее делают разметку и начинают выдалбливать лоток. На внутренней поверхности готового лотка в его центральной части для лучшего улавливания шлиха при промывке делают поперечные насечки и обжигают. Тонкий конец рабочей плоскости лотка иногда укрепляют с наружной стороны узкой полоской белой жести для предохранения от растрескивания при высыхании. С этой же целью лоток во время полевого сезона хранят в замоченном состоянии и не допускают его высыхания.

Лоток должен содержаться в чистоте и исправности; загрязнение его ведет к появлению тонких жировых пленок на внутренней рабочей поверхности, что сильно снижает извлечение из проб тяжелых минералов и обедняет шлихи полезными компонентами. Нельзя применять для промывки проб лотки, составленные за неимением материала, подходящего для изготовления цельнодолбленного лотка, из подогнанных друг к другу частей, а также с трещинами в дне и выбоинами на широких рабочих плоскостях.



**Рис. 2. Приспособления для промывки шлихов:**

*а-в* — потки: *а* — сибирский, *б* — корейский, *в* — Солодянкина; *з* — гребок (размеры даны в сантиметрах)

В связи с дефицитностью материала для изготовления деревянных лотков делаются попытки использования современных материалов-заменителей, однако качественной замены долбленому деревянному лотку пока не предложено. В некоторых регионах (например, на Урале), а также в маловодных районах шлиховые пробы промываются в металлических деревенских ковшах или ковшах азиатского типа. Ковш малопроизводителен, но дает возможность вести промывку при незначительном объеме воды. В ковшах же выполняется и доводка шлихов.

Промывка шлиховых проб выполняется обычно в руслах рек с умеренной скоростью водотока. В условиях холодного климата промывку осуществляют в специальных чанах с подогретой водой. При сильной заболоченности и застойном характере водотоков пробы также промывают в чанах. В случаях труднопромывистых проб при малых размерах зерен полезных компонентов (например, в случае так называемого "плавучего" золота) с целью снижения потерь шлиха в условиях медленного тока воды либо используют прием перебива "из лотка в лоток", либо собирают на брезент смывый из лотка при первичной промывке материал ("хвосты"), проводя его повторную или даже многократную промывку. Подобные приемы значительно повышают извлечение полезных компонентов из шлиховых проб и позволяют дать более точную количественную характеристику содержания тяжелой фракции.

Промывка шлиховой пробы в лотке корейского типа состоит из трех последовательных операций: пробуртки пробы, собственно промывки и доводки шлиха.

Пробуторка проб выполняется в специально отведенном для этого пробуторочном лотке — он более вместителен и сделан грубее. Проба засыпается в лоток доверху, погружается под воду и замачивается. Затем с помощью железного гребка (см. рис. 2, з) перемешивается; при этом легкие глинистые частицы взмучиваются и уносятся током воды, а более крупные и тяжелые остаются в лотке. Одновременно проводится ручная отборка галечного материала: крупнообломочный материал отмывается над лотком от приставших глинистых и песчаных частиц, внимательно просматривается с целью выявления признаков минерализации и при отсутствии таковых выбрасывается. При наличии обломков или гальки с признаками минерализации (обохривание, многочисленные пустоты выщелачивания, метасоматически преобразованные породы и т.д.) из этого материала отбирают пробы для дальнейших исследований — спектрального анализа, изготовления шлифов и др. Глинистая фракция отмучивается до тех пор, пока в лотке не останется однородная песчаная фракция, при перемешивании которой вода над лотком будет оставаться чистой, прозрачной.

Собственно промывка, т.е. отмывка песчаной фракции, выполняется в промывочном лотке (он несколько меньше по размерам и изготовлен с особой тщательностью). При промывке вначале проводят активное и разнонаправленное потряхивание пробы в лотке. При этом лоток с промываемой пробой держат за короткую сторону и слегка наклоняют от себя, опустив его противоположный конец под воду. Затем лотку придают возвратно-поступательные и одновременно колебательно-вращательные движения, что заставляет воду с пробой в лотке активно перемещаться. В результате происходит дифференциация зерен отдельных минералов по плотности: тяжелые минералы (магнетит, ильменит, амфиболы и т.п. скапливаются в углублении в центре лотка, а более легкие (кварц, полевые шпаты, карбонаты, слюды и др.) постепенно перемещаются к наружному краю лотка и смыываются с него водой.

В эту стадию возникает опасность “упустить” шлик: при неумелой работе промывальщика зерна рудных минералов незаметно начинают сползать по дну лотка к его наружному краю и теряются вместе с песчаной фракцией. Во избежание таких потерь лоток время от времени приводят в горизонтальное положение, отбрасывают песчаную фракцию к его центру и зрительно проверяют, не попадает ли темный шлик к переднему краю лотка. После этого лоток полностью заполняют водой, пробу под водой перемешивают руками, несколько раз интенсивно утрясают, стремясь “усадить” шлик в центральное углубление лотка, а затем меняют рабочую плоскость лотка, поворачивая его другим концом к себе и вновь продолжают отмывку и сбрасывание песчаной фракции.

Промывку ведут подобным образом до тех пор, пока количество материала в лотке заметно не уменьшится (он будет заполнять лишь незначительную внутреннюю часть лотка), а при потряхивании пробы в лотке с водой у задней кромки промываемого материала не появится черная полоска, т.е. в центральном углублении лотка будет виден сам шлик.

Доводка шлика является заключительной и весьма ответственной

операцией, так как именно на этой стадии возможны наибольшие потери из шлиха полезных компонентов, обладающих относительно невысокой плотностью. Опытный промывальщик выполняет доводку наиболее осторожно, используя специальные легкие доводочные лотки или обычные деревенские ковши. Оставшийся в промывочном лотке концентрат материала шлиховой пробы переносят в емкость для доводки, тщательно смывая водой и неоднократно проверяя чистоту извлечения его из лотка.

При доводке шлиха в лотке его погружают одним концом под воду и качательно-круговыми движениями взмучивают в нем шлик, а затем, потряхивая, осторожно сгоняют к переднему краю рабочей плоскости лотка зерна легких минералов. Далее, осторожно зачерпнув воду задним концом лотка (т.е. взяв воду как бы от себя), сливают ее через передний край; при этом вода увлекает за собой легкие минералы. Эту операцию повторяют несколько раз, до получения в центральной части лотка однородного темного шлиха.

При доводке шлиха в ковше его почти полностью погружают в воду. Затем ковшу придается колебательно-вращательное движение и одновременно его, слегка наклоняя, погружают глубже в воду или приподнимают к поверхности. Зерна легких минералов взмучиваются и „переплывают“ через края ковша, а тяжелых скапливаются на дне.

Правильное определение конца доводки шлиха является крайне важным моментом. Промывку поисковых шлиховых проб, как правило, ведут до получения “серого” шлиха, т.е. шлиха, в котором сознательно оставляется неотмытым незначительное количество легкой фракции. В этом случае в шлихе будут сохранены зерна полезных компонентов не очень большой плотности (например, минералы группы монацита — монацит, ксенотим, танталониобаты, титанаты и их типоморфные спутники).

Момент окончания доводки шлиха отчетливо устанавливается по переплыванию через края лотка или ковша ярко-красных зерен граната, бурых зерен сфена, которые хорошо различимы в мокром шлихе благодаря яркой окраске. Нельзя осуществлять доводку шлиха до его однородного черного состояния, так как при этом теряется основная масса зерен минералов-индикаторов оруденения (некоторые полезные компоненты и их типоморфные спутники), обладающих относительно невысокой плотностью. Подобные „черные“ шлихи содержат главным образом ильменит, магнетит и другие малоинтересные в поисковом отношении минералы.

Доводку до “черного” шлиха можно выполнять только в случаях специализированных поисковых работ на определенную группу рудных минералов высокой плотности — золото, платину, иногда — касситерит, вольфрамит. Как правило, шлик лучше недомыть, т.е. оставить в нем небольшое количество зерен легких минералов (они легко могут быть удалены в лабораторных условиях), чем перемыть и при этом потерять важную поисковую информацию.

Высушивание шлихов производится различно в зависимости от обстоятельств. При массовом маршрутном шлиховом опробовании на стадии общих поисков полученные после промывки шлихи извлекают из лотка или ковша, аккуратно смывая водой в небольшие полотняные мешочки из

плотной ткани или в капсулы из плотной бумаги типа "крафт" с надписанными на них номерами шлихов, а по окончании маршрута высушивают и вкладывают этикетки.

Высушивать шлихи лучше всего естественным путем на солнце. Иногда, при благоприятных обстоятельствах, шлихи просушивают непосредственно в промывочном лотке, установив его на солнце несколько наклонно для стока воды. В дождливую, сырую погоду шлихи смывают водой из лотка в железный совок и подсушивают легким прогревом на костре (при доводке шлиха в ковше просушку осуществляют в нем же). Не следует при этом перегревать шлихи, так как некоторые минералы могут окислиться или растрескаться, что исказит интерпретацию результатов поисков.

Нормы шлихового опробования и отмывки шлихов зависят от масштабов и природных условий ведения поисков, промывистости материала, гранулометрического состава тяжелой фракции и полезного компонента в исходных породах. При общих поисках во время маршрута в условиях достаточно хорошей проходимости местности, легкости отбора проб (без проходки копушей и расчисток) и хорошей промывистости рыхлых пород за один рабочий день можно отобрать и промыть до 20 шлихов. В более сложных условиях работы эта норма снижается. В случаях сильноглинистых, труднопромывистых пород и мелких зерен полезных компонентов, требующих осторожной промывки, производительность работы промывальщика значительно падает.

При поисково-оценочных работах и на стадии предварительной разведки отобранные шлиховые пробы обычно транспортируют к месту промывки. Отбор проб проводится одновременно несколькими лицами как в маршрутных условиях по руслам или бортам рек, так и в поверхностных горных выработках, расчистках, буровых скважинах. В задачу промывальщика входит только отмывка шлиха и при этом выработка его заметно возрастает: за день работы может быть промыто до 30 шлихов, а при хорошо подготовленных условиях работы и более.

Промывка протолочных проб представляет определенные трудности. В дробленом материале протолочной пробы всегда присутствует значительное количество сростков минералов, образующихся за счет неполного раскрытия отдельных зерен при дроблении. Эти сростки, обладающие промежуточными плотностями по сравнению с плотностью слагающих их минералов, сильно искажают картину промывки и поведение минералов при этом. К тому же сказывается угловато-оскольчатая форма зерен, не свойственная обычным минералам. В связи с изложенным, промывку протолочных проб с целью извлечения из них концентрата тяжелых минералов (т.е. искусственного шлиха) с возможно меньшим количеством сростков целесообразно проводить не в промывочном лотке, а на винтовых сепараторах, микрошлюзах и малогабаритных концентрационных столах, которые дают более высокое и качественное извлечение тяжелой фракции из протолочной пробы.

В течение полевого сезона необходимо регулярно проверять качество работы промывальщиков и добиваться совершенствования их мастерства.

Качество промывки контролируется путем сопоставления выхода шлиха, полученного разными промывальщиками из проб, отобранных в одном и том же месте и промытых в однотипных условиях. Полезной бывает промывка специальных проб с заранее введенными контрольными зернами какого-либо рудного минерала (часто — касситерита), что позволяет определить потери тяжелой фракции каждым промывальщиком в силу индивидуальных особенностей приемов его работы. Кроме того, руководителем шлиховых поисков выполняются контрольные промывки шлихов у разных промывальщиков. Контрольные промывки следует проводить на каждые 50—100 шлиховых проб. Таким образом, каждый геолог-поисковик должен в совершенстве владеть методикой лотковой промывки шлихов.

## 1.8. Специализированные виды опробования при шлиховых поисках

### 1.8.1. Опробование коренных пород

Шлиховые поиски сопровождаются на разных стадиях геолого-поисковых работ отбором проб коренных пород, которые называются протолочными (или протолочками). Цели их изучения — определение связи шлиховых аномалий, выявленных в русловом аллювии, с первичными (коренными) источниками минерализации и прогнозирование пространственного положения последних. В большинстве случаев исследование состава тяжелой фракции коренных пород применяют при поисках полезных ископаемых, устойчивых в поверхностных условиях и обладающих достаточно высокой плотностью, — касситерита, вольфрамита, шеелита, золота и др. Для указанной группы минералов протолочное опробование коренных пород позволяет не только установить минерализацию, но и характеризовать количественно содержание ценных минералов в породах.

Практика показывает, что протолочное опробование может успешно использоваться также при поисках тех полезных ископаемых, ценные минералы которых представлены мелкой рассеянной вкрапленностью при низких валовых содержаниях, трудно диагностируются и могут быть пропущены при исследованиях. Это, например, такие минералы, как танталит, колумбит, микролит, ксенотим и др. С другой стороны, протолочное опробование коренных пород не дает надежных результатов в случаях поисков месторождений, полезные компоненты которых хрупки, имеют небольшую плотность, низкую твердость и совершенную спайность. Таковы, например, флюорит, барит, пирохлор, фергусонит, эшинит, киноварь и др. При дроблении проб подобные минералы сильно переизмельчаются и во время промывки уходят в шлам; но в этих случаях можно получить в результате протолочного опробования хотя бы качественную информацию.

Протолочные пробы отбирают одновременно со шлиховыми и в тех же участках. Это могут быть одиночные пробы коренных пород в их

естественных выходах в случаях плохой обнаженности участка поисков. При частых и протяженных выходах коренных пород пробы можно отбирать по профилям вдоль гривок, хребтов, бортов речных долин или в водораздельных частях. Если в обнажении наблюдается несколько различных типов пород, то для каждого из них отбирают отдельные проточные пробы.

Материал для проточной пробы может быть представлен одним крупным штуфом или несколькими более мелкими однотипными обломками породы. Материал пробы должен быть свежим, не затронутым процессами выветривания, очищен от вторичных окисленных корочек, остатков лишайников, мхов и других посторонних образований. Из сильно выветрелых разрушенных пород отбирать проточные пробы не следует, так как рудная минерализация в них может быть вторично изменена, выщелочена, что искажает результаты исследований.

При отборе проточной пробы в полевой книжке указывается местоположение обнажения, приводится характеристика состава коренной породы и проявлений процессов минерализации. Полученный материал укладывается в крупные пробные мешки и снабжается этикеткой, где указывается название поисковой партии или отряда, номер пробы, ее состав, дата отбора. Бумажная этикетка часто дублируется деревянной биркой с четко написанным простым карандашом номером пробы. Оптимальная исходная масса проб коренных пород определяется возможным содержанием в них полезных компонентов и методом дальнейшей обработки, так как чувствительность анализов возрастает с увеличением первоначальных навесок. Представительность проточных проб может сильно варьировать. В.А.Новиков рекомендует отбирать пробы массой от 1 до 32 кг, изменяя их начальную массу по ступенчатой шкале: 1 — 3, 2 — 10 — 32 кг. В.В.Ляхович показал зависимость представительности проточных проб от состава и типа исходных коренных пород. Так, для гранитоидов масса исходной пробы может составлять 8 — 10 кг, для пород щелочного состава, богатых тяжелой фракцией, — 5 — 6 кг, а для осадочных пород, в которых содержание тяжелых минералов заметно ниже, масса пробы должна быть увеличена до 15 кг.

Лабораторная обработка проточных проб начинается с их взвешивания на технических весах с точностью до 10 г. Далее проба поступает на дробление, выполняющееся обычно механическим способом. Правильный выбор степени измельчения материала проточной пробы снижает потери ценных компонентов. При недостаточной степени дробления остаются нераскрытые сростки рудных минералов с жильной массой, которые в дальнейшем теряются при промывке. Количество потерянного при этом полезного минерала трудно учесть. При передрабливании пробы зерна ценных минералов могут быть чрезмерно измельчены и также теряются при промывке, уходя в шлам и обедняя пробу.

Таким образом, необходимо определить рациональную степень измельчения материала проточной пробы в зависимости от его первоначальных особенностей. По мнению В.А.Новикова, основную часть проточных проб следует дробить до 0,315 мм, более крупнозернистые породы допус-

тимо измельчать до 1 мм, а в случаях мелкозернистых эффузивных гидротермально-измененных пород минеральные сростки могут быть раскрыты лишь при дроблении до 0,1 мм. Следовательно, шкала измельчения протолочных проб может иметь ступени: 1 – 0,56 – 0,315 – 0,18 – 0,1 мм. Ею следует руководствоваться при выборе конечной степени дробления проб, позволяющей обеспечить полное раскрытие сростков минеральных зерен, не допуская их переизмельчения и ухода полезных компонентов в шлам при последующей обработке.

Полученный после дробления зернистый материал подвергается сокращению методом вычерпывания, с помощью делителей или квартованием. Небольшая часть его отделяется в качестве дубликата, этикируется, упаковывается в пакет и в дальнейшем используется для разнообразных лабораторных исследований. Основная масса раздробленной пробы поступает в промывку для извлечения из нее искусственного шлиха. Промывать протолочные пробы, как уже было сказано (см. разд. 1.7), целесообразно с помощью винтовых сепараторов, микрошлюзов или концентрационных столов. Извлеченные искусственные шлихи (концентраты) взвешиваются и направляются на минералогический анализ. Лабораторная обработка концентратов тяжелых минералов, полученных из протолочных проб, несколько отличается от подготовки к анализу естественных шлихов. В связи с тем, что в этих искусственных шлихах количественно преобладают легкие минералы, фракционирование их следует начинать с отделения ферромагнитной фракции, а затем производить обработку тяжелыми жидкостями и дальнейшую дробную магнитную сепарацию, что позволит получить более чистые фракции, освобожденные от сростков.

### *1.8.2. Шлихо-геохимическое опробование*

Аналитическая база и ее широкие технические возможности в настоящее время позволяют модернизировать шлиховой метод поисков, значительно повысить его информативность и углубить основы прогнозирования и поисков полезных ископаемых. С этой целью А.В.Костериным (1972 г.) и В.Ф.Гуревым (1979 г.) был разработан вариант шлихового метода, названный шлихо-геохимическим. Он базируется на специализированном геохимическом исследовании шлихов и дает возможность получения дополнительной поисковой информации. Современный шлиховой метод поисков может рассматриваться, таким образом, как комплексный и распадается на две ветви – шлихо-минералогическую и шлихо-геохимическую, – взаимно-дополняющие и уточняющие друг друга.

Основой шлихо-геохимического метода служит представление о закономерном изменении состава минералов, слагающих породы и тела полезных ископаемых, что является отражением условий их эндогенного образования и последующего метаморфогенного и гипергенного преобразования. Особенно отчетливо это прослеживается на изменении содержания в минералах элементов-примесей.

Для потенциально рудоносных районов характерны рудогенная геохимическая специализация геологических формаций и обогащение их эле-

ментами-примесями, свойственными определенным геолого-геохимическим условиям минерализации. В результате в составе ряда минералов первичных пород появляются специфичные элементы-примеси или их комплексы, которые могут быть индикаторами проявления рудообразования.

Обогащение пород индикаторными микроэлементами происходит избирательно: повышенные их количества обычно отмечаются в так называемых минералах-концентракторах. К их числу относятся главнейшие породообразующие и акцессорные минералы пород, пространственно или генетически связанных с формированием тел полезных ископаемых, а также минералы зон окисления. Например, заметно повышенные содержания рудогенных микроэлементов свойственны таким широко распространенным минералам коренных пород, как амфиболы, пироксены, магнетит, ильменит, биотит, полевые шпаты, являющимся их концентраторами. Кроме того, аномальные содержания индикаторных элементов-примесей обычно фиксируются в акцессориях — апатите, цирконе, сфене, а также в минералах, слагающих тела полезных ископаемых или зоны окислительных гидротермально-измененных пород, — в кварце, хлорите, барите, турмалине, волластоните. Вторичные минералы зоны окисления месторождений также резко обогащаются рудогенными микроэлементами (например, лимониты, гидроксиды марганца).

В процессе выветривания и разрушения коренных пород и формирования экзогенных ореолов механического типа минералы-концентраторы входят в состав рыхлых образований различного генетического типа. При выполнении шлихового опробования они могут быть извлечены в шлихи. Эти минералы-концентраторы, содержащие индикаторные элементы-примеси, являются основными шлихообразующими. Это в конечном итоге приводит к созданию шлихо-геохимических: аномалий, выявляемых специализированными исследованиями шлихов. Таким образом, под шлихо-геохимической аномалией следует понимать участки развития рыхлых обломочных пород, тяжелая фракция которых содержит минералы-концентраторы с примесями индикаторных рудогенных элементов.

Шлихо-геохимические наблюдения основываются на традиционных шлиховых поисках, при этом используются уже отобранные и отмытые при их выполнении шлихи; минералогические анализы шлихов дополняются геохимическими исследованиями, что позволяет выявить аномалии индикаторных рудогенных элементов в минералах-концентракторах шлихов в тех случаях, когда сами минеральные зерна полезных компонентов в них не устанавливаются при обычном минералогическом анализе и перспективные участки могут быть прогнозированы только по косвенным признакам. Для геохимического исследования в общем случае могут быть использованы все фракции шлиха, содержащие минералы-концентраторы, т.е. ферро-, пара- и диамагнитные.

В конкретных геологических обстановках в зависимости от формационного типа ожидаемого оруденения выбирают и анализируют целесообразные для изучения фракции, максимально обогащенные минералами-кон-

центраторами и индикаторными элементами. Так, концентраторами олова, молибдена, вольфрама, ниобия, цинка являются амфиболы, биотит, сфен, ильменит, турмалин, слагающие парамагнитные фракции шлихов, которые преимущественно и анализируют при поисках месторождений названной группы элементов. При поисках золоторудных месторождений желательнее исследовать ферромагнитную фракцию, так как магнетит представляет собой основной концентратор золота. Носителем золота служит также пирит или его лимонитизированные разновидности, и при поисках оруденения золото-сульфидной формации целесообразно анализировать тяжелую диамагнитную (в случае находок неизмененного пирита) или парамагнитную (содержащую псевдоморфозы лимонита по пириту) фракцию.

Геохимические исследования фракций шлиха выполняются различными методами, из числа которых предпочтение отдается экспрессным высокочувствительным анализам, использующим малые навески. Наиболее простыми и оперативными методами определения элементного состава являются спектральные анализы: полные полуколичественные (до 50 элементов), сокращенные полуколичественные (до 15 элементов), количественные на отдельные компоненты (5-10 элементов), микро-спектральные, спектрохимические. Это исследования, для которых требуются небольшие навески (150–300 мг), характеризуются чувствительностью определений большинства элементов от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{-4}\%$ .

Из специализированных методов исследований в ряде случаев могут применяться следующие: декрептометрия, термолюминесценция, гамма-спектрометрия, пламенная фотометрия, ядерно-физические и перлово-люминесцентные определения, рентгено-структурный и квантово-оптический анализы. Для специализированных исследований необходимы довольно большие навески (10–20 г), материал которых должен быть классифицирован по размерности (наиболее удобна фракция 0,5–0,25 мм). В отдельных случаях большая величина исходных навесок препятствует массовому применению этих методов.

Из предназначенной для исследования фракции шлиха получают навески для анализов. Для выполнения полного и сокращенного полуколичественных спектральных анализов отбирается навеска массой 300-500 мг (размерность зерен 0,5–0,25 мм), которая растирается в небольшой агатовой ступке до состояния пудры (200 меш). Затем из нее отделяются части для выполнения определений: для общего спектрального анализа и спектрозолотометрии – по 150 мг, для перлово-люминесцентного анализа (У) – 30–40 мг, для определения ртути – 150 мг.

Для декрептометрических исследований требуется навеска массой 3 г, ее материал должен быть представлен зернами размером (–1+0,5) мм. Следует подчеркнуть, что пробы для декрептометрии не должны содержать карбонатов, которые при нагревании диссоциируют и искажают результаты эксперимента.

Для изучения термолюминесценции с помощью установки "Термолюм" используют фракцию 0,5–0,25 мм, исходная навеска не стандартизируется. Для исследований методом электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР) на спектрометрах типа "Минск" и РЭ-1306 навеска фрак-

ции 0,1 мм должна составлять 100 мг. Для гамма-спектроскопического и пламенно-фотометрического анализов, применяющихся для определения щелочей, урана и тория, необходимы достаточно большие навески (соответственно 20 и 5 г).

В зависимости от направленности поисковых работ и ожидаемого типа полезных ископаемых выбирается целесообразный комплекс геохимических исследований тех или иных фракций шлиха. Ферромагнитная фракция, представленная главным образом магнетитом, анализируется спектрально полуколичественно на широкий круг элементов, определенные ассоциации которых могут быть типоморфными для выявления формационных типов магматических пород. Так, в случаях преимущественного развития на территории поисков гипербазитовых комплексов в ферромагнитных фракциях обнаруживаются аномально высокие содержания примесей никеля, кобальта, хрома, ванадия. В потенциально золоторудных районах ферромагнитная фракция часто характеризуется резко аномальными содержаниями золота, что определяется спектрозолотометрией.

Парамагнитная фракция шлихов бывает обычно самой представительной. В состав этой фракции входят основные минералы-концентраторы элементов-примесей, в силу чего ее спектральное исследование дает интересный поисковый материал. Широкий набор выявляемых анализами элементов позволяет в целом установить геохимическую специализацию территории поисков, а ассоциация рудогенных элементов-примесей дает возможность прогнозировать коренное оруденение и его ожидаемые формационные типы. В предположительно золоторудных районах эта фракция исследуется также и спектрозолотометрическим методом.

Диамагнитная тяжелая фракция шлиха бывает весьма небольшой и ее обычно используют только для чисто минералогического изучения. Диамагнитная легкая фракция всегда весьма представительна, так как главная масса проб промывается до "серого" шлиха и в них сознательно оставляют, как уже было указано, легкие минералы. Специализированные исследования этой фракции могут дать ценный в поисковом отношении материал: в рудоносных районах она может быть сложена жильными (кварц) и гидротермально-метасоматическими (полевые шпаты) минералами, которые являются концентраторами рудогенных микроэлементов. В связи с этим легкая фракция подвергается полному полуколичественному спектральному анализу. С целью обнаружения в составе фракции щелочных полевых шпатов из зон околорудных метасоматитов проводится экспрессное определение щелочей (Na, K, Li). Декрептометрические, термолюминесцентные и ядерно-физические методы исследований позволяют установить присутствие рудного кварца в составе легкой фракции.

Таким образом, сочетание шлихо-геохимических исследований шлихов с их традиционным минералогическим анализом дает возможность получить дополнительную информацию и существенно расширить прогнозно-поисковые возможности шлихового метода.

### 1. 8. 3. Изучение гальки рудного кварца

В горно-таежных районах с омоложенным эрозионным рельефом в силу подчиненной роли процессов аккумуляции в долинах рек формируются в основном валунно-галечные отложения с незначительной долей песчано-гравийного материала. В силу этого шлиховые поиски в подобных районах не всегда выполнимы, менее эффективны, поэтому целесообразно сочетать их с обломочно-речными исследованиями, направленными на выявление рудных обломков в составе галечного материала русловых фаций. В районах, где известны месторождения кварцево-жильного типа, в крупнообломочный материал рек поступает большое количество обломков кварца — основного жильного минерала тел полезных ископаемых.

С одной стороны, кварц в силу высокой механической и химической устойчивости хорошо сохраняется в зоне гипергенеза при развитии экзогенных процессов и миграции. С другой стороны, он несет на себе ряд индикаторных признаков, свидетельствующих о его связи с рудообразованием, и благоприятен для минералого-геохимических исследований.

Рудный кварц, как показали лабораторные исследования, проведенные Е.М. Захаровой, обладает рядом типоморфных особенностей. Визуально он характеризуется голубовато-серыми, голубовато-белыми, белесыми окрасками, плохой прозрачностью в связи с обилием микровключений, обычно крупно- или среднезернист. Микроскопически границы его зерен четкие, но сложных очертаний — извилистые, фестончатые, сутуроподобные; по границам зерен наблюдаются выделения тонкозернистого роговикового регенерированного кварца. Отражением тектонической напряженности процесса рудоотложения и его стадийности являются пластические деформации, проявляющиеся в сложном, аномальном угасании зерен кварца.

Для рудного кварца типично присутствие включений углеродистых минералов — антраксолита и керита. Микровключения минералообразующей среды в нем обильны и разнообразны — жидкие, газово-жидкие, трехфазные с галитом в твердой фазе. По температурам гомогенизации и декрепитации этот кварц средне-высокотемпературный. Ему свойственно обогащение индикаторными элементами-примесями рудной ассоциации. Спектры ЭПР рудного кварца имеют сложный характер.

Выявление и картирование механических ореолов подобного рудного кварца в крупнообломочных отложениях рек может дать материал для прогнозной оценки территорий на коренное оруденение и россыпи. Картирование ореолов рудного кварца может выполняться, главным образом, на стадии общих поисков; при поисково-оценочных работах этот метод рассматривается как вспомогательный. Основная масса проб кварца отбирается из гальки руслового аллювия рек, отчасти — из делювия склонов и террасовых накоплений. Для решения вопроса о коренных источниках минерализации опробуется кварц коренных жил.

Пробы кварца отбирают из галечного материала современных русловых фаций и древнеаллювиальных террасовых отложений, из элювиально-делювиальных образований, а также отвалов старых старательских отработок. Плотность опробования соответствует кондициям на шлиховые поиски, и нередко шлиховые пробы и пробы кварца отбирают одновременно, в одних и тех же пунктах. В каждом пункте наблюдения производится массовый просмотр галечного материала с целью выделения морфологических типов или разновидностей кварца. При этом изучаются визуальные особенности кварца — его цвет, блеск, зернистость, прозрачность, степень однородности и прочие признаки. Особое внимание уделяется выявлению следов минерализации кварца — наличию пустот или каверн выщелачивания, сохранности в них охристых, землистых вторичных минералов, присутствию переработанных ксенолитов вмещающих пород, включений других жильных или рудных минералов и тому подобных особенностей. Каждый выделенный тип (или разновидность) кварца опробуется отдельно; таким образом, в каждой точке наблюдения одновременно отбирается несколько (три-четыре) проб кварца.

Для отбора проб кварца из коренных жил используются естественные выходы их на поверхность или крупноглыбовые развалы кварца. Опробуются также кварцевые жилы, вскрытые поверхностными горными выработками — шурфами, канавами, расчистками; в старых горно-промышленных районах можно опробовать отвалы подземных горных выработок (шахт, штолен и т.п.). Изучение кварца в точках наблюдения проводится так же, как и кварца из руслового галечника. По возможности исследуются особенности внутреннего строения кварцевых жил.

Из каждого типа (разновидности) кварца отбирается отдельная проба. Если в обнажении или горной выработке вскрывается несколько жил, каждая из них опробуется отдельно. При большой мощности и протяженности жил отбирается ряд проб кварца, характеризующих жилы по простиранию и вкрест простирания (по ряду профилей). Таким образом, в каждом пункте наблюдения одновременно отбирается несколько отдельных проб кварца.

Проба кварца должна состоять из нескольких кусков, предназначенных для лабораторных исследований. Отбирается крупный представительный образец кварца (размеры его стандартные) для визуального изучения; сколки с него используются для изготовления прозрачных, а в случае необходимости — и полированных шлифов. Кроме того, из ряда сколков отделяют навески для выполнения разнообразных анализов. Сколки кварца для лабораторных исследований должны быть чистыми, однородными, свежими, не затронутыми процессами гипергенных изменений и не содержащими ксенолитов вмещающих пород или включений (вростков) других минеральных фаз. Лабораторные исследования кварца проводятся комплексно и включают микроскопические наблюдения, спектральные анализы, термометрию и ядерно-физические методы.

Таблица 3

## Типы оптических дефектов кварца

Типы дефектов	Разновидности дефектов	Характер проявления	Границы зерен
Первично-кристаллизационные	Волнистое погасание: облачное  мозаичное	Пятнистое последовательное скольжение фронта погасания Пятнистое неодновременное скольжение фронта погасания Неодновременное погасание неправильных блоков	Ровные, полигональные, четкие
	Неправильная блочность		
Тектоно-метаморфические	Волнистое фронтальное погасание	Последовательное перемещение единого фронта погасания	Извилистые, лапчатые, типа "черепных швов", расплывчатые
	Блочность: неправильная  линейная	Неодновременное погасание неправильных блоков Фронтально-последовательное погасание субпараллельных блоков	
	Полосы деформации	Одновременное погасание системы параллельных полос	
	Грануляция	Развитие мелкозернистого агрегата за счет первичных крупных зерен	

При оптических исследованиях изучаются зернистость, характер границ зерен, наличие оптических аномалий (как следствие пластических деформаций), включений минералообразующей среды и других минеральных фаз, кварца разных генераций, зон гранулированного кварца. Для рудного кварца типичны отчетливо выраженные оптические дефекты (табл.3).

Спектральные исследования включают полные полуколичественные определения большого круга элементов (30-32 элемента) и спектрометрические определения ряда отдельных элементов (золото, ртуть и т.п.). Для их выполнения отбираются сколки кварца, которые механически дробятся и истираются до 200 меш; масса навески для каждого вида исследований должна составлять 150 мг. Рудный кварц обогащен элементами-примесями рудогенной ассоциации (например, типоморфны мышьяк, вольфрам, бор, серебро, медь, цинк, свинец). Парagenетическая связь его с конкретным типом магматизма выявляется по индикаторным ассоциациям микропримесей. Так, кварц, парagenетически связанный с базальтоидным магматизмом, обогащен примесями хрома, кобальта, никеля, титана, ванадия, а в случаях гранитоидного рудогенного магматизма — оловом, молибденом, ниобием, танталом, бериллием, литием, цирконием.

При термометрических исследованиях применяются метод гомогенизации включений и декрептометрические измерения. Для изучения микровключений методом гомогенизации изготавливаются пластинки толщиной 0,1-1 мм и в них исследуется морфология включений, их фазовый состав, генетические типы включений минералообразующей среды и температурные условия их гомогенизации. Включения в рудном кварце кварцево-жильных месторождений гомогенизируются в интервале температур 300–360 °С.

Для декрептометрических исследований сколки кварца дробятся механически и рассеиваются на ситах; для изучения отбирается класс (–0,5) – (+0,25) мм; масса навески для анализа 0,5–1 г. Исследования ведутся в интервалах температур 100–600 °С при скорости нагрева 50 °С/мин с регистрацией механических и звуковых импульсов, возникающих при взрывании перегретых газовой-жидких включений. Декрептограммы рудного кварца имеют резко выраженный доминирующий максимум в интервале температур 300–400 °С.

Ядерно-физические исследования выполняются методом электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР) и основаны на появлении структурных дефектов в кварце за счет вхождения рудогенных структурных микропримесей. С помощью радиоспектрометра могут быть получены спектры ЭПР, расшифровка которых дает суммарную концентрацию парамагнитных центров в пробах. Сколки кварца для ядерно-физических исследований подготавливаются аналогично пробам для термометрии; для исследований необходимы навески массой около 100 мг. Спектры ЭПР рудного кварца имеют сложный характер за счет возникновения обилия структурных дефектов, появляющихся при вхождении в структуру минерала рудогенных микроэлементов, и отличаются в силу этого повышенными концентрациями парамагнитных центров.

Из всего названного комплекса исследований кварца в каждой геологической ситуации выбирается рациональный набор методов. Орелы рудного кварца пространственно хорошо увязываются со шлиховыми аномалиями, но имеют более широкую распространенность, благодаря чему легче выявляются при поисках. Зоны россыпеобразования характеризуются аномально высоким содержанием в галечном материале кварца, среди которого преобладает кварц рудного типа. Орелы последнего пространственно достаточно тесно связаны с россыпными участками. Они являются также хорошим индикатором первичных минерализованных зон. Типоморфные особенности рудного кварца и индикаторность комплексов микропримесей позволяют прогнозировать возможный формационный тип коренного оруденения.

#### *1.8.4. Микрощлиховое опробование*

При поисковых и поисково-оценочных работах, направленных на выявление, главным образом, россыпных месторождений, нередко встает задача быстрой полевой прогнозной оценки территории. При шлиховых поисках проходит довольно значительное время от момента отбора пробы до получения результатов ее минералогического анализа. В связи с этим

нередко проверка прогнозов не всегда может быть осуществлена в текущем полевом сезоне. Подобный временной разрыв может быть ликвидирован при использовании дополнительного метода — микрошлихового опробования, позволяющего проводить экспрессную предварительную оценку изучаемых участков на россыпи и выделять потенциальные продуктивные горизонты в их разрезах. Таким образом, основной задачей микрошлихового опробования является быстрое выделение в разрезах полигенных и полихронных обломочных пород горизонтов, обогащенных тяжелой фракцией.

Работы выполняются в пределах локальных площадей, которые по результатам геолого-геоморфологических, геофизических и минералого-геохимических исследований были выделены как перспективные на поиски современных или погребенных россыпей. В ходе работ производятся расчистки бровокых частей пойменных и надпойменных террас, а сами террасовые отложения вскрываются горными выработками (чаще всего шурфами), расположенными по профилям, пересекающим все эрозионно-аккумулятивные уровни речной долины. Далее выполняется погоризонтное опробование разрезов рыхлых отложений пробами небольших объемов (так называемое малообъемное опробование).

Обычно отбирают пробы массой 1—2 г; в пробу должен входить только гравийно-песчано-алевритовый материал без гальки или щебенки коренных пород. Полученную пробу тут же промывают в воде в большой белой фарфоровой чашке. После отмывки легкой фракции на дне чашки остается черный остаток тяжелой фракции — микрошлих. Сравнивая по массе микрошлихи, можно установить те горизонты разреза, которые заметно обогащены тяжелой фракцией и потенциально могут быть россыпеносными. Сопоставляя результаты микрошлихового опробования по ряду профилей, можно более обоснованно ограничить благоприятные для россыпеобразования участки речных долин. Основная ценность микрошлихового метода — его экспрессность и возможность получения первых предварительных результатов непосредственно в поле, в процессе выполнения шлиховых поисков.

Подобные микрошлиховые поиски успешно применялись, например, на территории Западно-Сибирской низменности при поисках прибрежно-морских погребенных россыпей ильменита. Микрошлиховому опробованию подвергались терригенные породы мелового и третичного возраста, слагающие осадочный чехол. Эти отложения вскрывались горными выработками, расположенными по системе профилей, и производилось их погоризонтальное малообъемное опробование. Для продуктивных горизонтов россыпи были характерны богатые микрошлихи, содержащие значительное количество ильменита.

**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ШЛИХОВЫХ ПОИСКОВ**

Аналитический подход к обобщению и интерпретации результатов шлиховых поисков позволяет создать научную основу прогнозной оценки территорий на коренные или россыпные месторождения. Огромный фактический материал, получаемый в результате выполнения полевого шлихового опробования и лабораторных исследований шлихов, требует вдумчивой и целенаправленной систематизации его в виде таблиц, графиков, диаграмм и карт. Полноценный анализ этого массива данных и извлечение всей заключенной в шлихе поисковой информации требует использования автоматизированных методов обработки с помощью ЭВМ, что позволяет представить шлиховые аномалии как поля гипергенного рассеяния.

**2.1. Математическая обработка результатов минералогического исследования шлихов**

Изложение принципов математической обработки результатов шлиховых поисковых работ является предметом самостоятельных методических руководств. В настоящем учебном пособии ограничимся лишь самыми краткими сведениями, адресовав учащегося к специальной литературе. Из числа используемых в геологии математических методов, основанных на теории вероятностей и математической статистики, может быть применена методика проверки статистических гипотез и проведено статистическое разграничение геологических объектов, позволяющее разделить совокупность проб на ряд статистически однородных групп. Вероятностное распознавание образов позволяет классифицировать некоторую группу объектов на основе заданных требований или признаков. С помощью дисперсионного анализа может быть выявлена и оценена степень влияния на изучаемую случайную величину различных одновременно действующих факторов или выборочных данных. Тренд-анализ позволяет определить и исследовать закономерности изменения геологического признака в пространстве, что лежит в основе картирования аномалий в полях рассеяния.

Наиболее широкое применение в поисковой практике нашел корреляционный анализ, дающий возможность вычислять коэффициенты корреляции и сопряженности признаков с последующей оценкой взаимозависимости случайных величин (например, при выявлении парагенетических связей между химическими элементами, шлихообразующими минералами и т. п.). Целесообразно также проводить выбор и оценку информативных комбинаций признаков с целью отбраковки из массива аналитических данных неинформативных признаков, бесцельно осложняющих обработку результатов поисков.

Первоначальная обработка результатов шлихо-минералогических и шлихо-геохимических исследований состоит в подготовке выборок из аналитических данных, выдаваемых лабораториями заказчику. В одну

выборку включается совокупность проб, отобранных в однородных в металлогеническом и структурно-формационном отношении геологических или рудных районах, рудных полях, в пределах сильно расчлененной и сложной по истории формирования гидрографической сети или отдельных ее частей. Для каждой пробы в столбцах выписываются аналитические данные (признаки) в их количественном или бинарном выражении (например, данные о содержании в пробах минералов, химических элементов и т.д.). Подобные выборки в дальнейшем служат основой для математической обработки результатов на ЭВМ.

Шлиховая аномалия, как всякое поле рассеяния, характеризуется рядом параметров. Для поисковой оценки шлиховых аномалий и их разбровки при математической обработке результатов целесообразно рассчитывать средние содержания шлихообразующих минералов и связанные с ними значения дисперсии распределения и коэффициенты вариации, выявлять корреляционные связи между минералами, проводить кластеризацию шлихов. Оценка этих параметров и сопоставление с особенностями геологического строения территорий позволяют получить дополнительную прогнозно-поисковую информацию.

Статистические параметры шлиховых аномалий. Средние содержания шлихообразующих минералов необходимо устанавливать как для отдельных водотоков разных порядков, так и для бассейнов их питания или районов в целом. Значения средних содержаний минералов в шлихах варьируют для участков распространения определенных формационных комплексов. Так, в участках развития гипербазитов и габброидов аллювий рек обогащен их породообразующими минералами и соответственно шлихи характеризуются повышенными средними содержаниями магнетита, титаномагнетита, ильменита, хромита, оливина, пироксенов, отчасти — амфиболов. В то же время для участков с преобладанием пород гранитоидного ряда отмечаются повышенные средние концентрации в шлихах циркона, рутила, апатита, сфена, амфиболов.

Зоны проявления гидротермально-метасоматической минерализации фиксируются повышением средних содержаний в шлихах эпидота, хлорита, биотита, флюорита, сульфидов, турмалина и наличием зерен рудных минералов. В аллювии водотоков, благоприятных для россыпенакопления, заметно возрастают средние содержания в шлихах абразивно устойчивых минералов — апатита, циркона, рутила, граната, хромита, а также магнетита и вторичных продуктов изменения первичных рудных минералов, например псевдоморфоз лимонита по пириту. Следовательно, анализируя вариации средних содержаний ведущих шлихообразующих минералов как косвенный поисковый признак, можно прогнозировать потенциальную рудоносность территорий поисков в целом, особенно в случаях малой их обнаженности, залесенности, трудной доступности.

Второй параметр шлиховых аномалий — корреляционные зависимости переменных. Для оценки меры связи между минералами в гипергенных полях рассеяния применяется корреляционный анализ, позволяющий определить взаимозависимость в сонахождении минералов в шлихах и выявить их индикаторные шлихо-минералогические ассоциации. При-

существование минералов в шлихах и их количественные соотношения обусловлены, с одной стороны, парагенетическими их ассоциациями в коренных образованиях, а с другой, абразивной устойчивостью и особенностями миграции минералов в зоне гипергенеза. В результате сочетания этих двух групп факторов в рыхлых отложениях различного возраста и генезиса возникают чисто механические, но в то же время закономерные минеральные ассоциации, которые могут иметь индикаторное поисковое значение.

Таким образом, на основе корреляционного анализа можно выделять типоморфные шлихо-минералогические ассоциации: магматогенные, метаморфогенные, рудные, россыпеобразующие. Каждая из них включает закономерный комплекс минералов с устойчивыми корреляционными связями и характеризуется приуроченностью к определенным геологоструктурным участкам. Например, для одного из районов Сибири, сложенного магматическими образованиями основного состава, магматогенная шлихо-минералогическая ассоциация состояла из магнетита, ильменита, хромита, амфибола, пироксенов. В рудогенную ассоциацию входили пирит, гематит, барит, эпидот, амфибол.

Картирование шлихо-минералогических ассоциаций позволяет выявить зональность шлиховых полей рассеяния. Головные их зоны, прилегающие к коренным источникам шлиховых минералов, отличаются высокими корреляционными связями главных породообразующих минералов, что отражает их парагенетические ассоциации в коренных образованиях. По мере удаления от коренных источников комплекс минералов и их корреляционные связи в шлиховом поле рассеяния меняются в зависимости от абразивной устойчивости минералов и особенностей их транспорта: из ассоциаций исчезают минералы малой абразивной устойчивости (амфиболы, пироксены) и первоначальные корреляционные связи между подобными минералами распадаются. В периферических зонах шлиховых аномалий значимые корреляционные связи сохраняются лишь для абразивно устойчивых минералов — сфена, циркона, рутила. В участках россыпей создаются новые шлихо-минералогические ассоциации, отличающиеся высокими корреляционными связями между абразивно устойчивыми минералами — гранатом, сфеном, цирконом, рутилом и другими, способными претерпевать дальнюю транспортировку и перестроение.

Таким образом, использование корреляционного анализа, выявление индикаторных шлихо-минералогических ассоциаций и зональности шлиховых полей рассеяния может служить дополнительным критерием для прогнозирования пространственного положения коренных рудоносных формаций, зон первичной минерализации и участков возможного россыпеобразования.

Третий параметр шлиховых полей рассеяния — пространственная связь первичных формационных комплексов пород со шлиховыми аномалиями. Она может быть установлена на основе кластерного анализа, позволяющего сопоставлять шлихи по составу и количественным соотношениям шлихообразующих минералов. Следовательно, кластеризация шлихов в конечном итоге преследует цель разделения всей их совокупности на группы, которым свойствен однотипный минеральный состав и определенные

индикаторные ассоциации минералов. Картирование выделенных групп шлихов дает возможность выявить специализированные зоны полей рассеяния, обусловленные их структурно-геологическими особенностями. Так, участки потенциального россыпобразования могут характеризоваться преобладающим развитием групп шлихов, обогащенных магнетитом, лимонитом и его псевдоморфозами по пириту, апатитом, цирконом, рутилом при высоких взаимных корреляционных связях этих минералов. Таким образом, кластеризация шлихов также может дать дополнительную поисковую информацию для прогнозной оценки территорий.

## **2.2. Графическая обработка результатов шлиховых поисков**

Результаты минералогических исследований шлихов и математической обработки аналитических данных являются основой для составления различных типов шлиховых карт и специализированных графических материалов. Главное назначение этих карт — дать наглядное представление о пространственном размещении в разновозрастных рыхлых отложениях различных генетических типов полезных компонентов и их типоморфных спутников, оконтурить и установить их возможные связи с коренными образованиями, т. е. выявить перспективы территории поисков на обнаружение коренных или россыпных месторождений полезных ископаемых. Обычно составляют карты трех типов — фактического материала, ореольные и прогнозные.

### *2.2.1. Подготовка основы для составления шлиховых карт*

В качестве основы для шлиховых карт используют геологическую карту, которая может быть несколько схематизирована. Потенциальная связь полезных ископаемых со структурно-формационными комплексами подчеркивается дополнительными значками на карте и акцентируется в условных обозначениях. На карте отражаются все прямые или косвенные поисковые признаки, установленные при выполнении полевых наблюдений, а также прямые признаки выхода на поверхность коренных тел полезных ископаемых или зон минерализации.

Точки отбора шлиховых проб при подготовке основы для карт могут быть показаны двояко. Чаще их просто переносят с полевых карт шлихового опробования, проставляя первоначальные номера. В некоторых случаях выполняют дополнительные построения, желая учесть влияние сноса обломочного материала при развитии процессов его миграции от коренных источников. Для этого точку, отвечающую месту отбора шлиховой пробы в поле, трансформируют, перемещая ее вверх по водотоку или склону водораздела на половину расстояния между двумя соседними точками опробования. За трансформированными точками сохраняют их первоначальные номера.

Подготовленная чистовая основа для шлиховых карт размножается. Количество ее экземпляров должно быть достаточно большим,

чтобы обеспечить возможность составления вариантов рабочих карт разных типов.

### 2.2.2. Шлиховые карты фактического материала

Шлиховые карты фактического материала являются начальной стадией обработки полевых данных. На них регистрируется весь материал, собранный в процессе выполнения шлиховых поисков, и значками изображаются результаты минералогического исследования шлихов, представляемые в табличной форме лабораториями (см. табл.1). Обилие первоначального фактического материала не позволяет отразить его на одной карте, и нередко прибегают к составлению нескольких взаимодополняющих друг друга карт фактического материала. Большую помощь при этом оказывает проведение предварительного корреляционного анализа (см. раздел 2.1), на основе которого выявляются шлихо-минералогические ассоциации, которые и могут быть положены в основу разделения аналитических данных на серии карт.

Минеральный состав шлихов изображается в виде секторных диаграмм. Центр таких диаграмм располагают в месте отбора шлиховой пробы: в случае сгущенного опробования диаграммы шлихов выносят в стороны от места отбора проб. Генетический тип опробовавшихся отложений показывают цветом или характером контурной линии диаграммы: аллювий – сплошным черным контуром, делювий – пунктирным черным или сплошным синим, элювий – сплошным красным контуром. Суммарное количественное содержание минералов в шлихе передается размером диаграммы: чем выше содержание минералов в шлихе, тем больше диаметр диаграммы на карте; для низких, средних и высоких содержаний минералов в шлихе диаграммы могут иметь, например, диаметр 4, 6 и 10 мм соответственно. Минералы, обнаруженные в шлихе, изображаются цветом окраски внутреннего поля диаграммы. Цвет условных обозначений полезных компонентов шлиха на шлиховых картах фактического материала следующий:

Алмаз . . . . .	. . . . .	ярко-красный
Вольфрам . . . . .	. . . . .	синий
Золото . . . . .	. . . . .	желтый
Медь . . . . .	. . . . .	ярко-зеленый
Мышьяк . . . . .	. . . . .	голубовато-серый
Никель . . . . .	. . . . .	ярко-розовый
Олово . . . . .	. . . . .	коричнево-бурый
Платиноиды . . . . .	. . . . .	черный
Редкие земли . . . . .	. . . . .	светло-серый
Ртуть . . . . .	. . . . .	кирпично-красный
Свинец . . . . .	. . . . .	голубой
Сурьма . . . . .	. . . . .	коричневый
Тантал, ниобий . . . . .	. . . . .	оранжевый
Титан . . . . .	. . . . .	лиловый
Хром . . . . .	. . . . .	желто-зеленый
Цинк . . . . .	. . . . .	желто-бурый

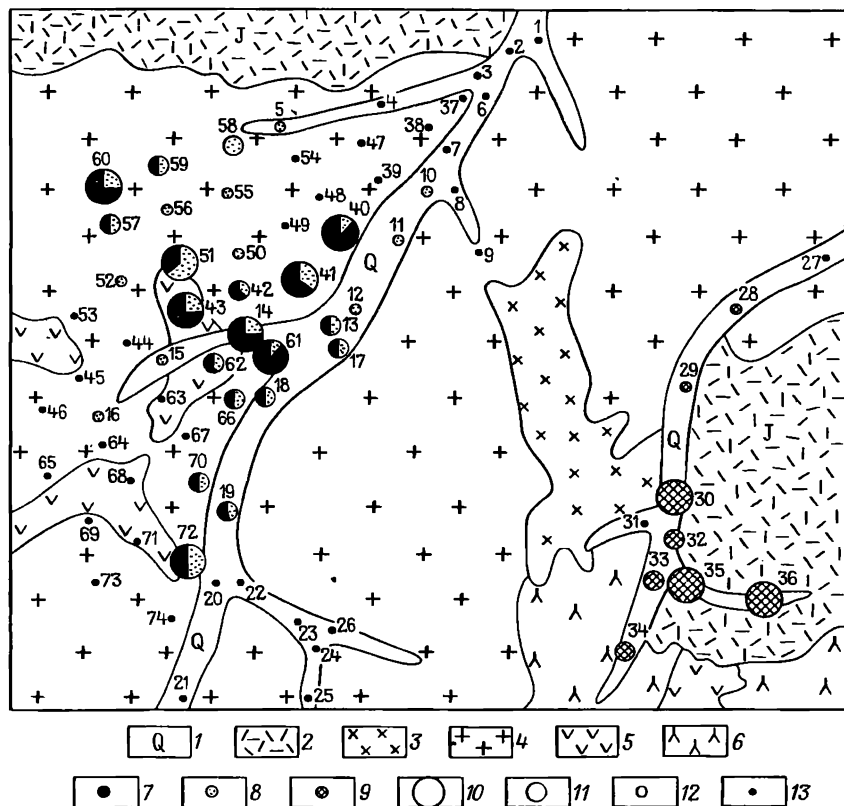


Рис. 3. Макет шлиховой карты фактического материала:

1 — русловые фации; 2 — андезитовые порфиры; 3 — кварцевые диориты; 4 — граниты; 5 — диабазы; 6 — габбро; 7-9 — минералы шлихов: 7 — полезный компонент, 8 — шеелит, 9 — циркон; 10-12 — содержания минералов в шлихах: 10 — весовые, 11 — десятки зерен, 12 — единичные зерна; 13 — пустые пробы

На карте может быть либо отдельно показан каждый встреченный в шлихе минерал, либо минералы могут группироваться в ассоциации на основе данных корреляционного анализа. В последнем случае цветовое обозначение выбирается по ведущему полезному компоненту. Следует подчеркнуть, что на картах фактического материала обязательно приводятся все шлихи, в том числе и те, в которых не обнаружено полезных компонентов. Пример возможного построения шлиховой карты фактического материала показан на рис. 3.

Минеральный состав шлихов может быть изображен и другими способами. Например, диаграмму шлихов можно разделить на четыре квадранта, каждый из которых „закрепляется“ за каким-либо минералом или ассоциацией минералов. Квадранты могут закрашиваться цветом,

соответствующим составу ведущего полезного компонента, или обозначаться различными штриховыми знаками и черной заливкой. Величина сектора закраски квадранта отражает количество полезного компонента в шлихе; если тот или иной полезный компонент (или минеральная ассоциация) в шлихе отсутствует, отведенный ему квадрант остается пустым.

В тех случаях, когда масштабы карты не позволяют показать минеральный состав каждого шлиха отдельно, изображается объединенная диаграмма для группы близко расположенных шлихов. В отдельные группы включаются шлихи, в которых установлено наличие полезного компонента или его ассоциации, и шлихи безрудные ("пустые"). Для группы "рудных" шлихов дается одна сводная секторная диаграмма, центр которой размещается в месте взятия наиболее богатой шлиховой пробы. В этой сводной диаграмме изображается суммарный минеральный состав шлихов всей данной группы. Объединение шлихов в подобных случаях удобно проводить на основе результатов кластерного анализа, включая в сводную диаграмму близко расположенные шлихи, попавшие в одну кластеризационную группу.

Минеральный состав протолочных проб показывается на шлиховых картах фактического материала так же, как и минеральный состав шлихов. В этом случае целесообразно изменить только форму диаграммы и принять, например, квадратные значки. Размеры значков отражают количественную сторону, а цветовая закраска внутренней их части — минеральный состав протолочных проб.

Шлиховые поиски комплексуются с другими видами поисковых работ, и при их выполнении отбирают разнообразные пробы, результаты анализов которых часто также приводят на шлиховых картах фактического материала. Данные анализов литохимических проб наносят в виде точек, около которых цветной тушью проставляется содержание в пробах ведущих рудообразующих элементов (в %). При наличии в пробе одновременно двух или более элементов содержание их надписывается около пробы в виде дроби. Результаты исследования гидрохимических проб отображают в виде химических индексов или условных значков, располагая их рядом с точкой отбора этих проб. Обычно указывается содержание рудообразующих элементов, их индикаторных спутников, сульфат-иона, отношение ионов  $[SO_4]^{2-}$  и  $Cl^-$  а также величина pH вод.

### 2.2.3. Ореольные шлиховые карты

Следующей стадией обработки результатов шлиховых поисков является составление ореольных карт. Они отражают динамику движения полезного компонента от коренного источника к пониженным участкам рельефа, где создаются шлиховые аномалии. На этих картах отрисовываются ореолы различных генетических типов.

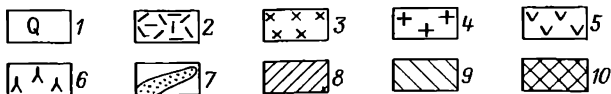
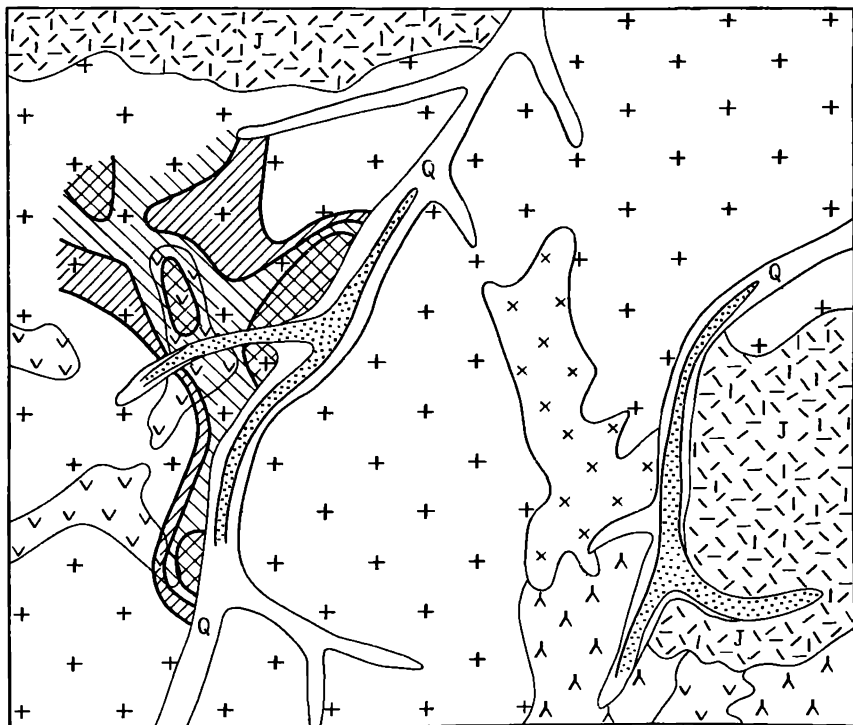
Эндогенные ореолы выделяются на картах по данным протоколного или литохимического опробования коренных пород. Сопоставляя серии карт фактического материала, анализируя особенности геологического строения территории поисков и оценивая выявленные поисковые признаки, устанавливают возможные коренные рудоносные образования. Это могут быть магматические формации, поля развития постмагматических или контактово-измененных пород, благоприятные для локализации оруденения стратиграфические горизонты или литологические разности пород. Все эти потенциально рудоносные геологические образования, с которыми прямо или косвенно можно связывать определенное оруденение, оконтуриваются на карте как эндогенные ореолы в соответствии с их геологическими границами сплошными цветными линиями. Цвет контуров эндогенных ореолов выбирается по ведущему полезному компоненту.

Экзогенные ореолы подразделяют по генетическому типу рыхлых отложений, при опробовании которых были выявлены шлиховые аномалии. Различают площадные ореолы в областях делювиальных шлейфов или элювия и потоки рассеяния в аллювии современной гидрографической сети со всеми ее мелкими притоками, оврагами и распадками.

Шлиховые площадные ореолы в области делювиальных и элювиальных отложений формируются в результате плоскостного смыва продуктов выветривания и представляют собой связующее звено между коренными рудоносными образованиями и аномалиями в современном русловом аллювии. Эти ореолы оконтуриваются по данным шлихового опробования делювия и элювия, а также с использованием результатов литохимического опробования рыхлых отложений. Для них приводится общий наружный контур, т.е. ограничивается аномальная область. Внутреннее строение аномалии изображается путем выделения зон с разными концентрациями полезного компонента. С этой целью обычно проводят изоконцентраты, отделяющие зоны с низким, средним и высоким содержанием полезных компонентов в рыхлых породах.

Площадные шлиховые ореолы могут быть мономинеральными (т.е. для каждого минерала создается своя карта аномалий) или полиминеральными (для индикаторных ассоциаций минералов в шлихах). Цвет изображения изоконцентрат выбирают по ведущему полезному компоненту. Внутреннее строение аномалии может быть подчеркнуто крапом или штриховкой каждой из выделенных зон. С поисковой точки зрения наиболее интересны максимумы шлиховых площадных ореолов, так как они в случае делювиальных отложений незначительно удалены от коренного источника минерализации, а в элювии пространственно тесно связаны с ним.

Шлиховые потоки рассеяния представляют собой еще более удаленные части шлиховых аномалий, оторванные от коренных источников и формирующиеся под влиянием преобладающей линейно-



**Рис. 4. Макет карты шлиховых ореолов:**

1 — русловые фации; 2 — андезитовые порфириды; 3 — кварцевые диориты; 4 — граниты; 5 — диабазы; 6 — габбро; 7–10 — шлиховые ореолы: 7 — потоки рассеяния в русловом аллювии, 8–10 — площадные ореолы в делювии с различной степенью их аномальности (8 — низкой, 9 — средней, 10 — максимальной)

направленной миграции продуктов выветривания. Они связаны с современными русловыми фациями, выявляются при их шлиховом опробовании и изображаются в виде полос (или лент), вытягивающихся вдоль русел рек и их притоков. Поскольку большинство шлиховых проб отбирается из аллювиальных отложений, потоки рассеяния являются основным видом экзогенных шлиховых аномалий и преобладают на ореольных картах.

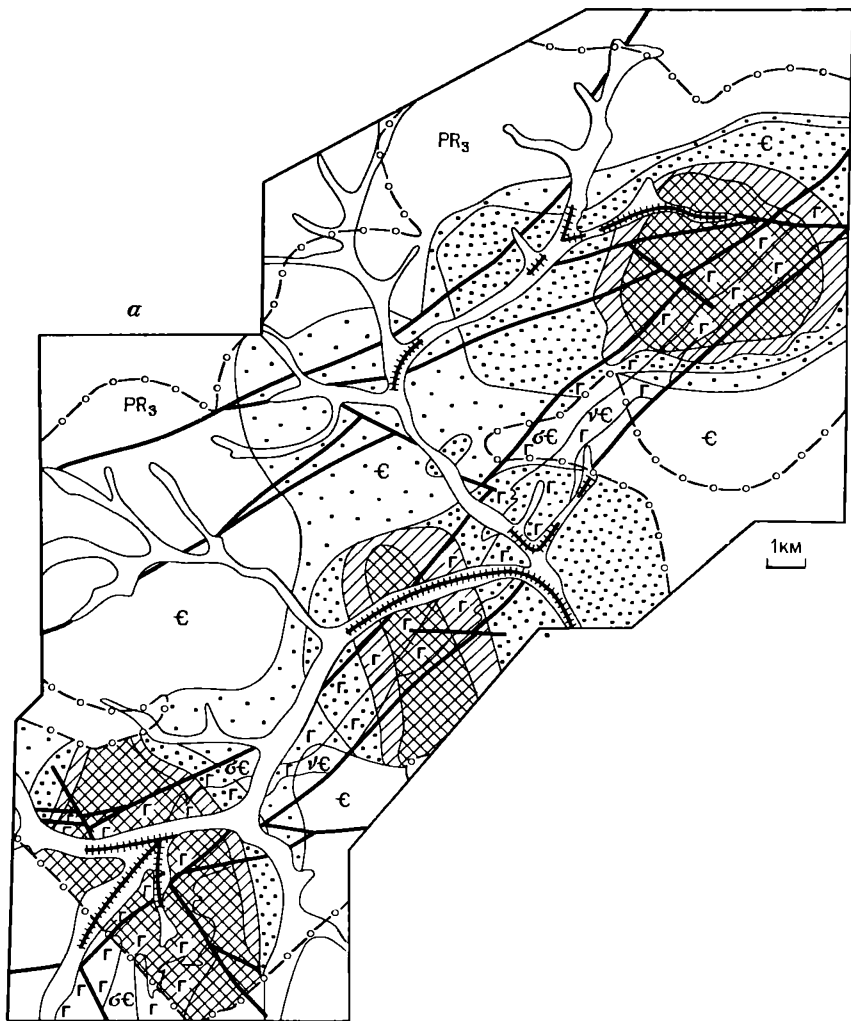
При изображении на картах эти потоки выклинивают в тех участках речных долин, где из аллювия исчезают полезные компоненты, и прерывают в неопробованных отрезках водотоков. Минеральный состав тяжелой фракции аллювия в шлиховом потоке рассеяния показывают для каждого минерала отдельно цветной закраской их лент.

Если в потоке рассеяния одновременно присутствуют два-три полезных компонента, то каждый из них должен быть представлен на карте самостоятельной цветной полосой вдоль русла рек. Эти полосы могут либо быть вложены друг в друга при количественном преобладании одного из минералов, либо быть равнозначными при одинаковом содержании минералов в аллювии. Часто для шлихо-минералогических ассоциаций, выявленных на основе корреляционного анализа, отстраивают полиминеральные шлиховые потоки рассеяния.

Количественное содержание полезных компонентов в русловых отложениях проявляется в различной ширине полос, изображающих поток рассеяния. Она увеличивается с ростом содержания минералов, но во всех случаях не должна превышать ширину речных долин. Обычно выбирают трехступенчатую шкалу для потоков рассеяния — для низких, средних и высоких количеств полезных компонентов. Пример ореольной шлиховой карты показан на рис. 4.

#### *2.2.4. Прогнозные шлиховые карты*

Заключительной стадией обработки результатов шлиховых поисков является прогнозная шлиховая карта. На ней отражаются разнообразные данные, полученные при проведении комплекса поисковых работ. С ореольных шлиховых карт переносятся максимумы моноили полиминеральных площадных аномалий и потоков рассеяния. На основании анализа результатов литохимических съемок на картах фиксируется также положение максимумов литохимических аномалий рудогенных элементов и их индикаторных спутников в коренных породах или перекрывающих их рыхлых образованиях. Если на территории поисков выполнялся комплекс геофизических поисковых работ, то установленные геофизические аномалии также приводятся на прогнозной карте. Сопоставление различных выявленных аномалий со структурно-геологическими и геоморфологическими особенностями территории позволяет прогнозировать возможное положение в пространстве зон коренной минерализации или отрезков речных долин, благоприятных для россыленакпления. Эти перспективные участки показываются на прогнозной карте в виде площадей для постановки более детальных поисково-оценочных работ с указанием их масштабов. Специальными знаками могут быть отдельно выделены площади для постановки дальнейшего шлихового опробования, лито-геохимических съемок, геофизических наблюдений, а также площади, в пределах которых для вскрытия перспективных зон должны быть пройдены поверхностные горные выработки.



**Рис. 5.** Примеры карт мономинеральных полей рассеяния магнетита (а) и эпидота  
**1** – кристаллические сланцы; **2** – породы диабазовой формации; **3** – гипербазиты  
 контуры речных долин; **6–9** – поля рассеяния различной степени аномальности:  
 поля рассеяния; **11** – русловые потоки рассеяния



### *2.2.5. Автоматизированное построение шлиховых карт с помощью ЭВМ*

При выполнении поисковых шлиховых работ и лабораторных исследований шлихов накапливается большой и разнородный массив фактических данных. Их систематизация, анализ и интерпретация требуют замены ручных операций обработки на формализованные автоматические, осуществляемые с помощью ЭВМ и основанные на стандартном алгоритме уравнивания интерполяции.

Выдача расчетных данных на периферийные устройства позволяет выполнять графические построения в разных масштабах и тиражировать результаты. В связи с этим целесообразно отстраивать специализированные карты полей рассеяния на основе результатов полных полуколичественных минералогических анализов шлихов с помощью ЭВМ. Однако такие карты в силу первоначальной неравномерности сети шлихового опробования могут содержать некоторый элемент условности и выявлять лишь общие закономерности и тенденции в развитии полей рассеяния. С другой стороны, машинная обработка информации и сглаживание первичных аналитических данных создают возможность некоторой интерполяции на близрасположенные участки, которые из-за специфики геолого-геоморфологической обстановки не могли быть опробованы.

Для построения машинных карт используются стандартные программы, в основе которых лежит метод полиномиальной аппроксимации. Для каждого конкретного района в соответствии с особенностями его рельефа выбирается рациональный радиус сглаживания данных с таким расчетом, чтобы были построены шлиховые поля рассеяния по долинам рек и их бортовым частям. Затем ЭВМ производит систематический автоматизированный перебор аналитических данных для ряда шлихов, входящих в разделенную на полиномы площадь, охватываемую избранным радиусом сглаживания данных. Определяется обобщенное значение коэффициентов для каждого полинома, затем подбирается оптимальный шаг разбиения полученных значений и с помощью графопостроителя отстраиваются и оконтуриваются зоны равных значений рассчитанных коэффициентов. В результате по зонам отрисовывается все поле рассеяния; максимумы его приближены к коренным источникам питания шлиховых аномалий.

Подобные поля рассеяния могут быть построены отдельно для каждого минерала, интересного в геологическом плане, т. е. могут быть отрисованы мономинеральные карты шлиховых полей (рис. 5). В ряде случаев бывает целесообразно строить карты полиминеральных шлиховых полей рассеяния для индикаторных шлихо-минералогических ассоциаций, устанавливаемых на основе корреляционного анализа. В этом варианте карт удастся осуществить, с одной стороны, свертывание большого объема информации и, с другой стороны, значительно повысить ее прогнозно-поисковое значение.

## 2.3. Методика составления специализированных графических материалов по результатам шлиховых поисков

Для всестороннего и углубленного анализа поисковых данных может быть составлен ряд специализированных графических материалов. Все они преследуют цель выявления и наглядного изображения особенностей размещения шлихообразующих минералов как в пределах всей территории поисков, так и в вертикальных разрезах полигенных и полихронных рыхлых отложений.

### 2.3.1. Карты вариаций состава тяжелой фракции аллювия

Вариации минерального состава тяжелой фракции аллювия определяются геолого-геоморфологической обстановкой, неотектонической активностью, соотношением процессов эрозии и аккумуляции, особенностями транспорта обломочного материала и абразивной устойчивостью шлихообразующих минералов.

Водотоки низких порядков имеют обычно малую протяженность, располагаются в пределах максимально поднятых неотектонических блоков, где преобладают процессы активной донной эрозии, происходит глубокий размыв коренных месторождений (сохраняются лишь их корневые части) или древних россыпей, а продукты размыва главным образом транспортируются за контуры этих блоков, что обуславливает их малую перспективность как на коренные месторождения (они уничтожены эрозией), так и на россыпи (не происходит концентрация полезных компонентов).

Водотоки средних порядков существенно более протяженны, приурочены к умеренно и слабо приподнятым неотектоническим блокам, в пределах которых широко проявлены процессы эрозии и аккумуляции, осуществляется активный размыв продуктивных горизонтов коренных образований и концентрируется в них. Оптимальные соотношения процессов эрозии и аккумуляции способствуют хорошей дифференциации обломочного материала, активному выносу алевро-пелитовых фракций, обогащению аллювия полезными компонентами различного гранулометрического состава и концентрации их в нижних горизонтах разреза аллювия. В пределах этих частей речных долин коренные минерализованные зоны вскрыты эрозией, формируют шлиховые аномалии, а при благоприятных геоморфологических условиях – и россыпи.

Водотокам высоких порядков свойственны большой водосбор и протяженность, связь с опущенными неотектоническими блоками, отсутствие поступления полезного компонента из коренных источников, что не способствует возникновению шлиховых аномалий.

Взаимосочетание перечисленных особенностей находит четкое отражение в вариациях минерального состава тяжелой фракции аллювия, картирование которых может дать дополнительную поисковую информацию. С этой целью могут быть составлены карты вариаций выхода шлихов

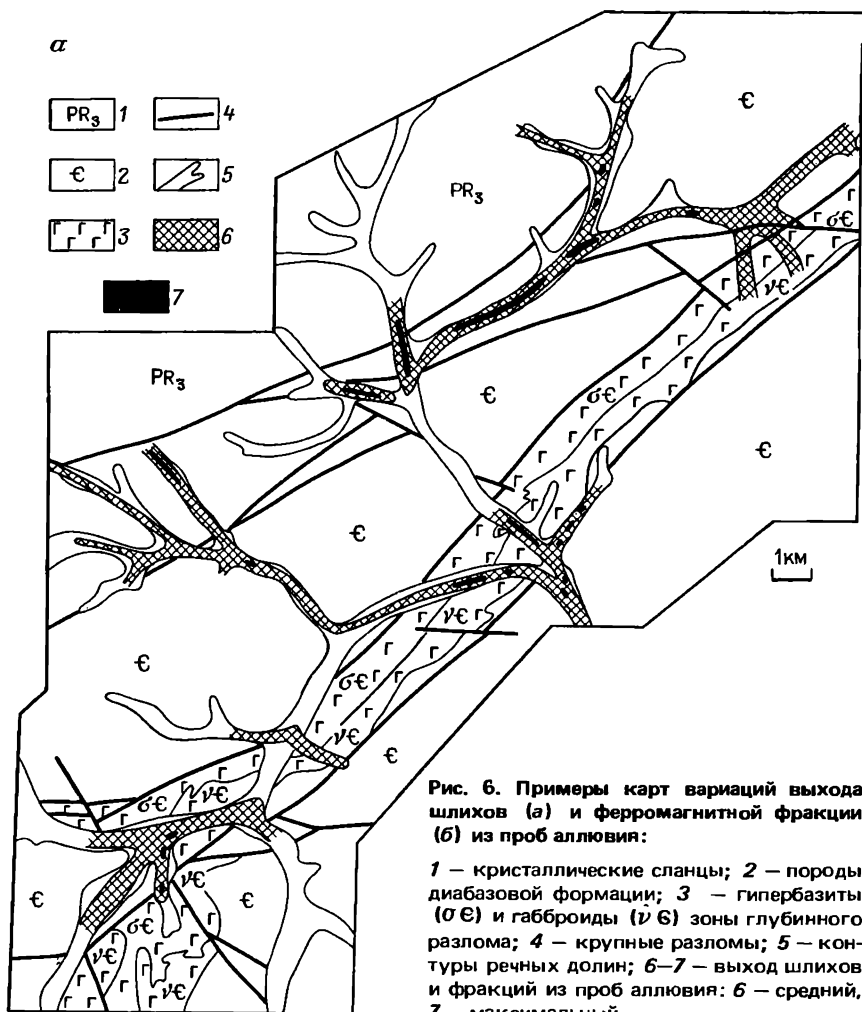
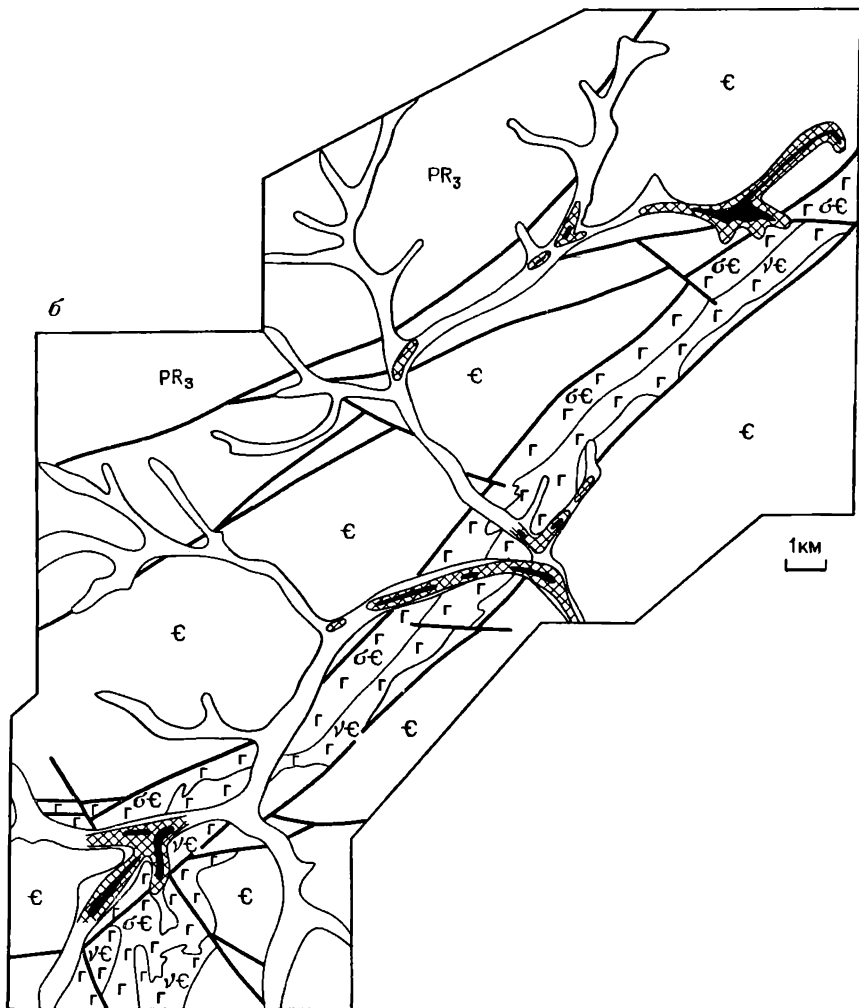


Рис. 6. Примеры карт вариаций выхода шлихов (а) и ферромагнитной фракции (б) из проб аллювия:

1 — кристаллические сланцы; 2 — породы диабазовой формации; 3 — гипербазиты (ГГ) и габброиды (ГГ); 4 — крупные разломы; 5 — контуры речных долин; 6—7 — выход шлихов и фракций из проб аллювия: 6 — средний, 7 — максимальный

из проб аллювия и карты вариаций содержания различных фракций в шлихах (рис. 6). Анализ этих карт позволяет прогнозировать положение коренных рудоносных формаций, зон транспорта обломочного материала и участков потенциального россыпеобразования. Так, аллювий водотоков низких порядков, вскрывающих корневые части зон эндогенной минерализации и вмещающие их породы, характеризуется в целом высоким выходом шлиха, обогащением его магнитными минералами, повышенными



средними содержаниями главных породообразующих минералов коренных формаций, присутствием рудного кварца в гальке русловых фаций. Аллювий водотоков средних порядков в целом обогащен тяжелой фракцией; для нее типично повышенное среднее содержание магнетита, абразивно-устойчивых минералов, присутствие рудогенных минералов; кроме того, легкие фракции аллювия содержат повышенные количества обломков зерен рудного кварца.



### 2.3.2. Шлихо-минералогические профили и колонки

При обработке результатов прогнозно-поисковых шлиховых работ минеральный состав тяжелой фракции аллювия может быть изображен в виде графиков, отражающих его вариации в продольных и поперечных профилях речных долин, а также в вертикальных разрезах рыхлых толщ.

При выполнении общих шлиховых поисков можно наглядно показать изменение минерального состава тяжелой фракции аллювия для каждого водотока в отдельности в виде продольных шлихо-минералогических профилей по речным долинам (рис. 7). Для их построения по оси абсцисс размещают точки отбора шлиховых проб аллювия в последовательности от верховьев водотока к его устью. По оси ординат откладывают содержания в шлихах фракций и минералов (в процентах). Графики строят обычно только для наиболее распространенных минералов, а полный минеральный состав шлихов может быть приведен в формализованном виде (значками) в расположенной под графиками таблице. При наличии достаточного фактического материала целесообразно построение также продольного геологического профиля речной долины.

Анализируя подобные графики и таблицы и сопоставляя их с геологическими данными, можно выделить участки поступления шлихообразующих минералов из коренных формаций в результате их активной эрозии, зоны транспорта обломочного материала и его аккумуляции, зоны подпитки из дополнительных источников. На графиках отчетливо прослеживаются взаимосвязи между минералами шлихов, что позволяет уточнить правильность выделения их типоморфных ассоциаций. Таким образом, подолинные продольные шлихо-минералогические профили дают дополнительную информацию для выделения перспективных зон на стадии общих поисков.

При детальных поисковых и поисково-оценочных работах, направленных на поиски россыпей и выполняющихся с использованием горных выработок, результаты шлихового опробования можно представить в виде отдельных шлихо-минералогических колонок или поперечных профилей речных долин.

Шлихо-минералогические колонки создаются в ходе первоначальной обработки данных шлихового опробования рыхлых отложений, вскрываемых скважинами, шурфами и другими горными выработками. На таких колонках изображается разрез рыхлых пород, дается его литологическая и гранулометрическая характеристика. Результаты исследования минерального состава шлихов показываются в виде графиков, на которых для каждого интервала опробования приводит-

---

Рис. 7. Пример продольного шлихо-минералогического профиля по долине реки:  
1—5 — графики вариаций содержаний в шлихах: 1 — парамагнитной фракции  $S_{\text{Ф}}$ ,  
2—5 — минералов  $S_{\text{М}}$  (2 — амфибола, 3 — лимонита, 4 — эпидота, 5 — Гидроксидов  
марганца); 6—10 — содержания минералов: 6 — единичные зерна, 7 — до 1%, 8 —  
до 5%, 9 — до 10%, 10 — более 10%

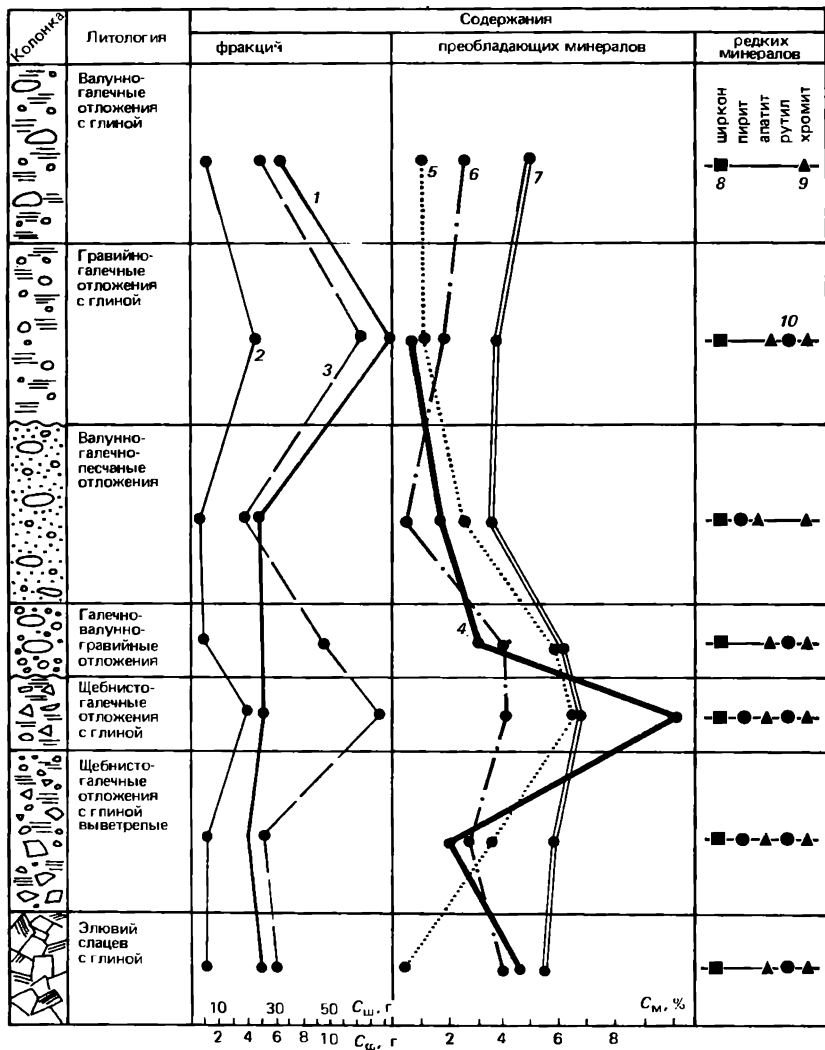


Рис. 8. Пример шлихо-минералогической колонки:

1-7 — графики содержаний: 1 — шлиха  $C_{ш}$ , 2-3 — различных фракций  $C_{ф}$  (2 — парамагнитной, 3 — ферромагнитной), 4-7 — преобладающих минералов  $C_M$  (4 — полезного компонента — золота, 5 — амфибола, 6 — лимонита, 7 — эпидота); 8-10 — содержания редких минералов (в %): 8 — 1,0; 9 — 0,1; 10 — 0,01

ся выход шлиха при промывке пробы, содержание в шлихе фракций, минералов (рис. 8). Сопоставление всех данных, содержащихся в таких колонках, позволяет наметить возможные продуктивные горизонты россыпей. Как свидетельствует практика, они могут, например, ха-

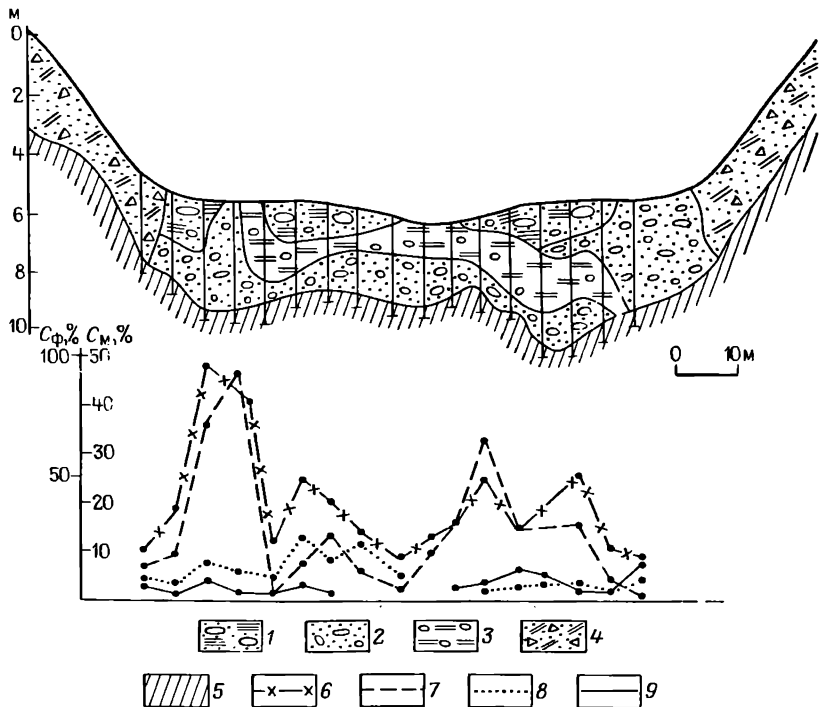
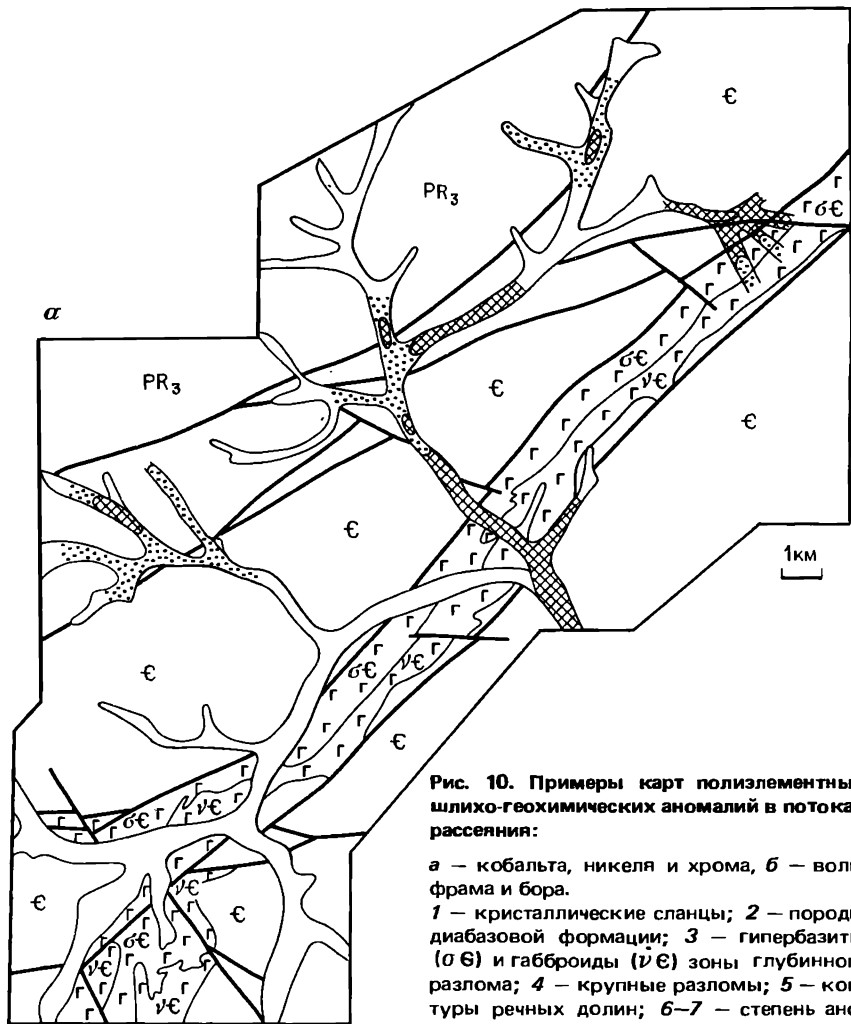


Рис. 9. Пример поперечного шлихо-минералогического профиля по долине реки. 1-4 — фаши: 1 — пойменная, 2 — русловая, 3 — озерно-болотная, 4 — склоновая; 5 — плотик; 6-9 — графики вариаций содержаний: 6 — парамагнитной фракции  $C_{Ф}$ , 7-9 — минералов  $C_{М}$  (7 — эпидота, 8 — лимонита, 9 — пироксена)

рактироваться повышенным выходом шлиха, обогащением его ферромагнитной фракцией, повышенными содержаниями лимонита и его псевдоморфоз по пириту.

Шлихо-минералогические поперечные профили речных долин составляются на основе результатов шлихового опробования керна скважин, расположенных по линиям профилей, пересекающих речные долины в участках возможного россыпеобразования. Они являются обобщением данных, отраженных на отдельных шлихо-минералогических колонках. На основании документации керна ряда скважин отстраивается геологический профиль. Результаты минералогического исследования шлихов изображаются в виде графиков, расположение которых увязывается с геологическим профилем. На этих графиках, как и на шлихо-минералогических колонках, показываются соотношения фракций шлихов и их минеральный состав (рис. 9). Анализ шлихо-минералогических профилей дает возможность наметить положение продуктивного пласта в разрезе аллювиальных отложений, выполняющих речную долину.



**Рис. 10.** Примеры карт полиэлементных шлихо-геохимических аномалий в потоках расседания:

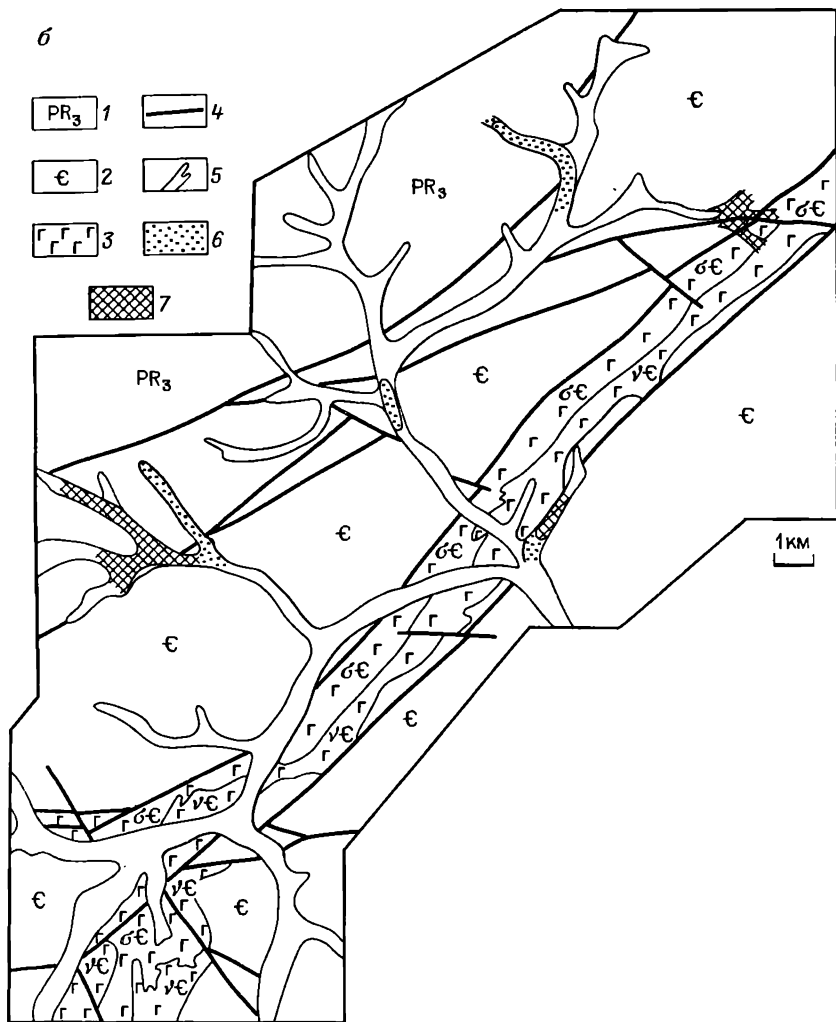
*а* – кобальта, никеля и хрома, *б* – вольфрама и бора.

1 – кристаллические сланцы; 2 – породы диабазовой формации; 3 – гипербазиты ( $\sigma Б$ ) и габброиды ( $\nu Е$ ) зоны глубинного разлома; 4 – крупные разломы; 5 – контуры речных долин; 6–7 – степень аномальности: 6 – средняя, 7 – максимальная

### 2.3.3. Графическая обработка результатов шлихо-геохимических исследований

Из перечисленного ранее комплекса шлихо-геохимических исследований наиболее часто выполняются спектральные полуколичественные анализы фракций шлихов, методика обработки результатов которых и будет кратко изложена.

Математическая обработка аналитических данных включает расчеты с помощью ЭВМ для ферро- или парамагнитных фракций шли-



хов средних содержаний элементов-примесей, дисперсии и коэффициентов вариации. На их основе определяется величина натурального геохимического фона содержаний элементов. Корреляционный анализ проводится с целью выявления взаимосвязей между элементами-примесями в минералах шлиха. На основании этих расчетов отбирают элементы, показавшие высокую взаимную корреляцию, и группируют их в индикаторные ассоциации элементов-примесей в минералах шлихов, отбраковывая неинформативные элементы. В последующей обработке данных и графических построениях исходят из уже выделенных индикаторных ассоциаций элементов.

Дальнейшее обобщение информации может выполняться различными способами. В случаях повсеместного присутствия элементов-примесей в минералах шлихов и большого разброса их содержаний целесообразно использовать аддитивный способ. Он предусматривает для каждого шлиха (или фракции) нормирование дискретных значений содержаний элементов на их натуральный геохимический фон и суммирование результатов. Число слагаемых, участвующих в расчетах, для каждой точки определяется набором элементов, входящих в индикаторную ассоциацию. В общем виде эту операцию можно записать следующим образом:

$$C_{ad} = \sum_i^{n_i} \frac{C_i}{C_{\phi_i}},$$

где  $C_{ad}$  — рассчитанный коэффициент, характеризующий аномалию в данной точке;  $C_i$  — выявленные анализами содержания элементов в шлихах (или фракциях) для данной точки;  $C_{\phi_i}$  — натуральный геохимический фон элементов, рассчитанный по всей совокупности точек для района поисков. Этот способ позволяет при дальнейшей графической обработке сгладить влияние низких содержаний индикаторных элементов и усилить роль аномальных их концентраций.

В случаях менее широкого развития индикаторных элементов-примесей в минералах шлихов и невысоких их концентраций для усиления контрастности аномалий можно использовать мультипликативный способ. Для каждого шлиха или фракции рассчитывают коэффициент  $C_m$  путем перемножения дискретных значений содержаний элементов, установленных при анализах. Число сомножителей, участвующих в расчетах, для каждой точки определяется набором элементов, входящих в индикаторную ассоциацию. Этот способ основан на менее трудоемких предварительных расчетах и позволяет более контрастно показать аномалии. Однако при этом искажается истинная картина распределения индикаторных элементов-примесей в минералах шлихов: в случае отсутствия в пробе хотя бы одного элемента из ассоциации, значение  $C_m$  обращается в ноль.

Графическая обработка результатов шлихо-геохимических исследований выполняется на той же картографической основе, которая используется и для шлихо-минералогических карт. При этом может составляться серия моноэлементных шлихо-геохимических карт, но удобнее представлять результаты в виде полиэлементных карт, на которых показываются аномалии индикаторных ассоциаций элементов-примесей в шлихах. Фактический материал выносится на карты в виде цифр, расположенных около точек отбора проб. В случае моноэлементных карт это будут выявленные анализы содержания элементов, а на полиэлементных картах — значения рассчитанных коэффициентов  $C_m$  или  $C_{ad}$ . Разноска фактического материала может проводиться в цветовом варианте по ведущему элементу в ассоциации.

На картах шлихо-геохимических ореолов изображаются аномалии площадного типа или потоки рассеяния по долинам рек, их общий контур

и внутреннее строение. Для этого изоконцентрами выделяют зоны равных содержаний элементов-примесей в шлихах (моноэлементные аномалии) или поля равнозначных величин  $C_m$  и  $C_{ад}$  для полиэлементных карт (рис. 10). Так, в районах развития пород базальтовой формации отчетливо картируются широкие площадные шлихо-геохимические аномалии индикаторной ассоциации кобальт-никель-хром-ванадий-марганец. Коренные минерализованные зоны сопровождаются локальными контрастными шлихо-геохимическими аномалиями рудогенных элементов-примесей в шлихообразующих минералах. Ассоциации элементов-примесей в шлихах определяются формационным типом оруденения: полиметаллические зоны проявляются аномалиями серебра, свинца, цинка и кадмия; зоны развития золото-кварцевой минерализации фиксируются по шлихо-геохимическим аномалиям олова, вольфрама, мышьяка, иногда бора.

Таким образом, анализ шлихо-геохимических карт и сопоставление их со шлиховыми картами дают возможность получить дополнительную поисковую информацию.

## ЧАСТЬ II

### МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ШЛИХОВ

---

Специфика минералогического анализа шлихов обусловлена небольшими размерами объектов исследования (обычно это зернистые фракции с размером выделений менее 1 мм) и проявлением гипергенных процессов, сильно искажающих внешний облик минералов. В силу этих причин минералогический анализ шлихов выполняется с применением оптических, микрохимических, люминесцентных и прочих специализированных методов исследования. Проведение этого анализа требует специально подготовленных кадров минералогов, свободно владеющих лабораторными методиками и обладающих навыками диагностики минералов. Различают три основных вида минералогических анализов шлихов: неполные, полные и детальные.

Наиболее распространенным видом являются полные анализы, при выполнении которых определяются все минералы шлиха, но с указанием в ряде случаев лишь минеральных групп без диагностики отдельных минеральных видов (например, группа пироксенов, амфиболов, гранатов и т. п.). Такие анализы проводятся чаще всего на стадии общих поисков с целью выявления шлиховых аномалий и перспективной оценки территорий.

Неполные анализы предусматривают идентификацию в составе шлихов только полезных компонентов и их индикаторных спутников. Их выпол-

Таблица 4

## Типы минералогических анализов шлихов

Полуколичественные		Количественные
обычные (рядовые)	повышенной точности	

*Схема анализа*

Взвешивание Рассев на сите 1,0 мм Деление классов в бромформе Магнитная сепарация	Взвешивание Рассев на ситах 1,0 и 0,315 мм Деление классов в бромформе, иодистом метиле, жидкости Клеричи Магнитная сепарация с дополнительным прокаливанием и химической обработкой Взвешивание фракций	Схема обработки аналогична таковой полуколичественного анализа повышенной точности. Используется комплексное фракционирование
Взвешивание фракций Анализ фракций	Анализ фракций с использованием иммерсионного, микрохимического методов	
Визуальное определение содержания минералов (в %)	Определение содержания полезных минералов размерно-зерновым методом, остальных — визуально (в %)	Определение содержания полезных минералов статистически-весовым методом

*Виды и области применения анализов*

Неполные анализы — рекогносцировочные поиски, полные и детальные — поисковые и поисково-оценочные работы	Неполные анализы — поисково-оценочные работы на определенных виды минерального сырья, полные и детальные — разработка схем обогащения руд	Неполные анализы — поисково-оценочные работы на определенных виды минерального сырья, полные и детальные — контроль технологических процессов
--	---	---

няют при поисковых и поисково-оценочных работах в пределах перспективных территорий, преследуя цель оконтуривания шлиховых аномалий и прогнозирования пространственного положения тел полезных ископаемых.

В ходе детальных анализов диагностируются все минералы шлиха с выделением минеральных видов в пределах групп, изучением типоморфизма минералов, особенностей их состава и выявлением типоморфных минеральных ассоциаций. Они проводятся при поисково-оценочных работах и на стадии предварительной разведки с целью оценки перспектив установленных тел полезных ископаемых и решения ряда тематических задач (табл. 4).

Таким образом, в зависимости от стоящих поисковых и прогнозных задач лабораторный анализ шлихов выполняется с различной степенью

детальности и с использованием различных методик. Выделяется две стадии в исследовании шлихов — подготовка их к анализу и собственно минералогический анализ.

### Глава 3

## МЕТОДИКА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ШЛИХОВ

### 3.1. Основные принципы фракционирования

Фракционирование шлихов с целью изучения их вещественного состава является одним из важнейших этапов минералогических исследований в лабораториях. Методы фракционирования основаны на различиях в физических и физико-химических свойствах разделяемых минералов. Наиболее часто используются различия в плотности, магнитных и электрических свойствах. При наиболее сложных комбинациях минералов в шлихах разделение их ведут также по смачиваемости, твердости, размерам и форме зерен и некоторым другим специфическим особенностям.

Таким образом, фракция — это группа различных минералов с близкими физическими свойствами. Фракционирование шлихов облегчает

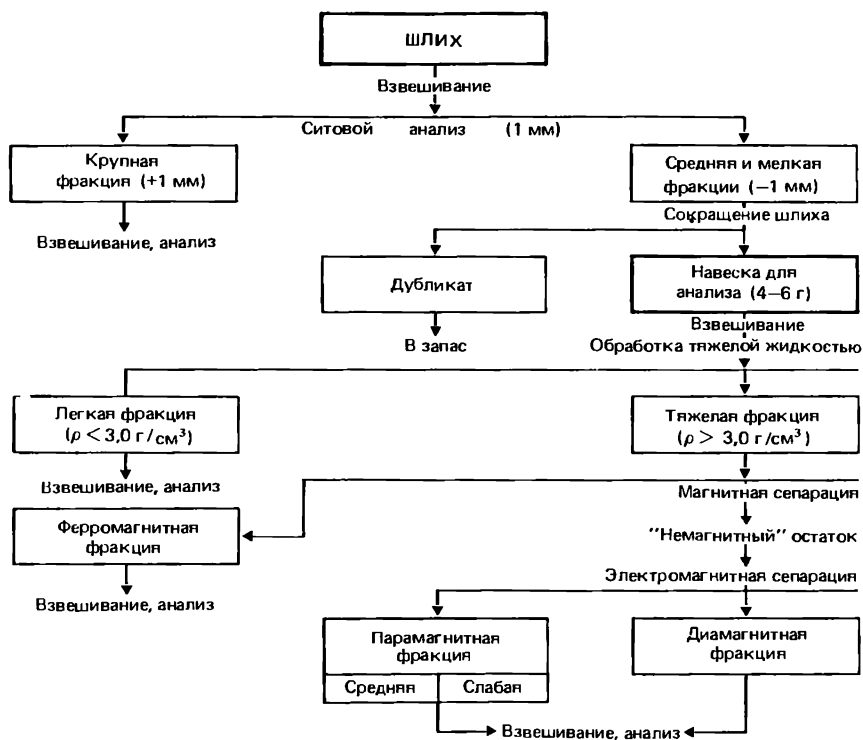


Рис. 11. Схема фракционирования "серых" шлихов

Минералы	Фракция									
	Сильно-магнитная	Тяжелая ( $\rho > 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ )			Легкая ( $\rho < 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ )			Проводниковая	Полупроводниковая	Непроводниковая
		Проводниковая	Полупроводниковая		Непроводниковая					
		Средне-магнитная	Немагнитная	Средне-магнитная	Слабо-магнитная	Немагнитная				
Анаказ										
Апатит										
Амфиболы										
Барит										
Берилл										
Биотит										
Вольфрамит										
Галенит										
Гематит										
Гранаты										
Золото										
Ильменит										
Карбонаты										
Касситерит										
Кварц										
Киноварь										
Кианит										
Колумбит										
Ксенотим										
Лимонит										
Монацит										
Магнетит										
Мусковит										
Оливин										
Пирит										
Пироклор										
Пироксены										
Пирротин										
Полевые шпаты										
Рутил										
Ставролит										
Сфалерит										
Силлиманит										
Сфен										
Танталит										
Топаз										
Турмалин										
Флюорит										
Халькопирит										
Хлорит										
Хромит										
Циркон										
Шеелит										
Эпидот										



Рис. 12. Распределение главных шлихообразующих минералов по фракциям при комплексном сепарировании.

1-4 — содержания минералов во фракциях: 1 — минерал преобладает, 2 — количество его значительно, 3 — незначительно, 4 — единичные зерна

задачу диагностики минералов, так как возможность вхождения какого-либо минерала в ту или иную фракцию определяется его свойствами, благодаря чему круг минералов, визуально близких между собой, заметно сужается. Кроме того, интересные в поисковом отношении минералы, встречающиеся в шлихах в редких зернах, могут быть сконцентрированы в определенной фракции, что снижает вероятность того, что они будут пропущены. В ряде случаев удается подобрать такие условия фракционирования, когда могут быть выделены близкие к мономинеральным фракции, в составе которых может существенно преобладать заданный минерал.

В лабораторной практике используется ряд типовых схем фракционирования шлихов. Последовательность выполнения отдельных операций определяется валовым составом шлихов и соотношением в них минералов высокой и низкой плотности. Ранее указывалось, что в зависимости от задач поисковых работ шлиховые пробы промываются до получения "серых" или "черных" шлихов. В связи с этим бывает целесообразным изменение последовательности проведения отдельных операций фракционирования. Основная масса шлиховых проб промывается до "серых" шлихов и их фракционирование начинается с обработки тяжелой жидкостью, а тяжелая фракция подвергается магнитной сепарации (рис. 11). Для „черных“ шлихов на первом этапе фракционирования отделяют ферромагнитную фракцию, далее пробу обрабатывают тяжелой жидкостью и выделенную тяжелую фракцию разделяют электромагнитом.

При решении специальных тематических задач, требующих выделения или концентрации заданного минерала в определенной фракции, применяют комплексное фракционирование. Возможное распределение минералов по фракциям при комплексной их сепарации показано на рис. 12.

Фракционирование шлихов включает подготовку их к анализу, магнитную и электрическую сепарацию и разделение в тяжелых жидкостях.

### 3.2. Подготовка шлихов к анализу

Взвешивание шлихов. Поступающий на исследование в лабораторию шлик взвешивается на технических весах с точностью до 0,01 г. Исходная масса шлиха приводится на наружном пакете, в который он упакован. Фракции, выделяемые в дальнейшем из шлиха, также взвешиваются, и масса их указывается на соответствующих пакетах. Сведения об исходном объеме шлиховой пробы, массе полученного при ее промывке шлиха и массе выделенных из шлиха фракций фиксируются в лабораторном шлиховом журнале (см. табл. 2). Все сведения о шлихе могут быть записаны также и на перфорированной или иной карточке при соответствующей форме хранения информации в лабораториях.

Ситовой анализ. Шлихи представляют собой разнородный по гранулометрическому составу материал, и для обеспечения более высокой точности фракционирования их рассеивают на ситах, выделяя узкие грануломет-

рические классы. В некоторых районах, где в составе обломочных пород преобладает хорошо отсортированный материал дальнего сноса, шлихи обычно мелкозернисты, однородны (например, шлихи из прибрежно-морских отложений), и необходимость в их ситовом анализе отпадает.

Ситовой анализ проводится с помощью стандартных наборов сит, в которых используются квадратные сетки. Набор включает сита с сетками 2,5—1,0—0,315—0,1 мм. Сита должны быть исправны, содержаться в чистоте и тщательно очищаться мягкой кисточкой после обработки каждой пробы во избежание загрязнения последующих проб.

При массовых анализах шлихов достаточен рассев их на сите с сеткой 1 мм. В результате от шлиха отделяется крупный класс (+1,0 мм), а остальная часть шлиха, представленная смесью средне- и мелкозернистых классов (—1,0 мм), не расситовывается. Крупная фракция взвешивается и анализируется после окончания исследования всех фракций шлиха, а фракция —1,0 мм подвергается дальнейшей обработке.

При выполнении точных количественных анализов шлихов и решении специальных вопросов проводят более дробный рассев на ситах, т. е. используют всю стандартную колонну сит, и дальнейшую сепарацию осуществляют отдельно для каждого гранулометрического класса. Ситовой анализ с помощью всего набора сит позволяет получить из шлиха большое количество классов, проследить изменения их минерального состава и закономерности распределения полезного компонента по классам.

Сокращение шлиха и взятие средней пробы. Сокращение шлиха преследует цель выделения из него дубликата и средней пробы. Средняя проба — это часть шлиха, которая предназначена для лабораторных исследований и отражает его средний минеральный состав; отделение дубликата шлихов дает возможность проводить повторные (контрольные) анализы или специализированные исследования. Средняя проба отбирается из шлиха не во всех случаях. При малом выходе шлихов (массой около 10 г) сокращать их не следует, так как при этом теряется представительность навесок для анализа. Шлихи также не сокращают в случаях поисков редко встречающихся полезных компонентов (например, золота, платины, тантала и др.).

Масса навески для анализа определяется содержанием полезного компонента в исходной шлиховой пробе и соответственно в шлихе, а также размером его зерен, чувствительностью анализа. Для анализа обычно отбирают половину или четвертую часть первоначального шлиха; при большой массе шлихов проводят дальнейшее их сокращение, но пределом считается 1/16 часть шлиха. Навеска для анализа отбирается с таким расчетом, чтобы в ней было не менее 2 г минералов высокой плотности. Практика показывает, что достаточными по массе и представительности являются навески массой до 10 г. Слишком большие навески для анализа осложняют последующее фракционирование, и выполнение этих операций требует необоснованной затраты времени.

Сокращение шлиха проводится вручную или механически. Самый простой, но достаточно точный метод — квартование. Для квартования шлих в пакете хорошо перемешивают и через большую воронку высыпают

на стекло или гладкую бумагу. Образовавшийся конус выравнивают стеклом в плоский равномерный слой, а затем делят крестообразно на четыре части. Две части, расположенные по диагонали друг к другу, объединяют для дальнейшего сокращения шлиха. Повторяя подобную операцию 2—4 раза, получают навеску для анализа заданной массы; вся оставшая часть шлиха составляет дубликат.

Более точное и быстрое сокращение шлиха выполняется с помощью специальных лабораторных делителей. Наиболее часто используется лабораторный делитель Джонса, представляющий собой приемник, состоящий из ряда отделений, разгружающихся в противоположные стороны. Шлих равномерно пересыпают через приемник, и материал, разделяясь на части, поступает в две небольшие емкости, расположенные под приемником. Одной такой операцией достигается сокращение шлиха вдвое, а двух — четырех достаточно для извлечения необходимой навески; прочую часть шлиха объединяют в дубликат.

Выделенная для анализа навеска взвешивается с точностью до 0,01 г, масса регистрируется в лабораторном журнале, а навеска поступает на фракционирование. Дубликат упаковывают в пакет, на котором надписывается номер шлиха, и передают на хранение.

### 3.3. Фракционирование шлихов

#### 3.3.1. Магнитная сепарация

Если поместить минерал во внешнее магнитное поле, он намагничивается, т. е. создает собственное магнитное поле, которое накладывается на внешнее. Количественной характеристикой намагниченого состояния вещества служит намагниченность  $M$ . Коэффициент пропорциональности между намагниченностью вещества и напряженностью намагничивающего поля  $H$  называется магнитной восприимчивостью вещества  $\xi$ .

По магнитным свойствам выделяют три группы минералов: диа-, пара- и ферромагнетики. У диамагнетиков магнитные моменты атомов в отсутствие внешнего магнитного поля равны нулю; при их намагничивании во внешнем магнитном поле вектор магнитной индукции собственного магнитного поля минерала имеет обратный знак. Для парамагнетиков в отсутствие внешнего магнитного поля характерен отличный от нуля магнитный момент; при внесении во внешнее магнитное поле они намагничиваются пропорционально его магнитной индукции. Ферромагнетиками называется своеобразная группа парамагнетиков, которые обладают самопроизвольной намагниченностью и внутреннее магнитное поле которых во много раз превышает внешнее.

Для определенного минерального вида магнитная восприимчивость может варьировать, что обусловлено изоморфизмом элементов в составе минералов, дефектами их кристаллических решеток или наличием вростков чужеродных минеральных фаз (рис. 13).

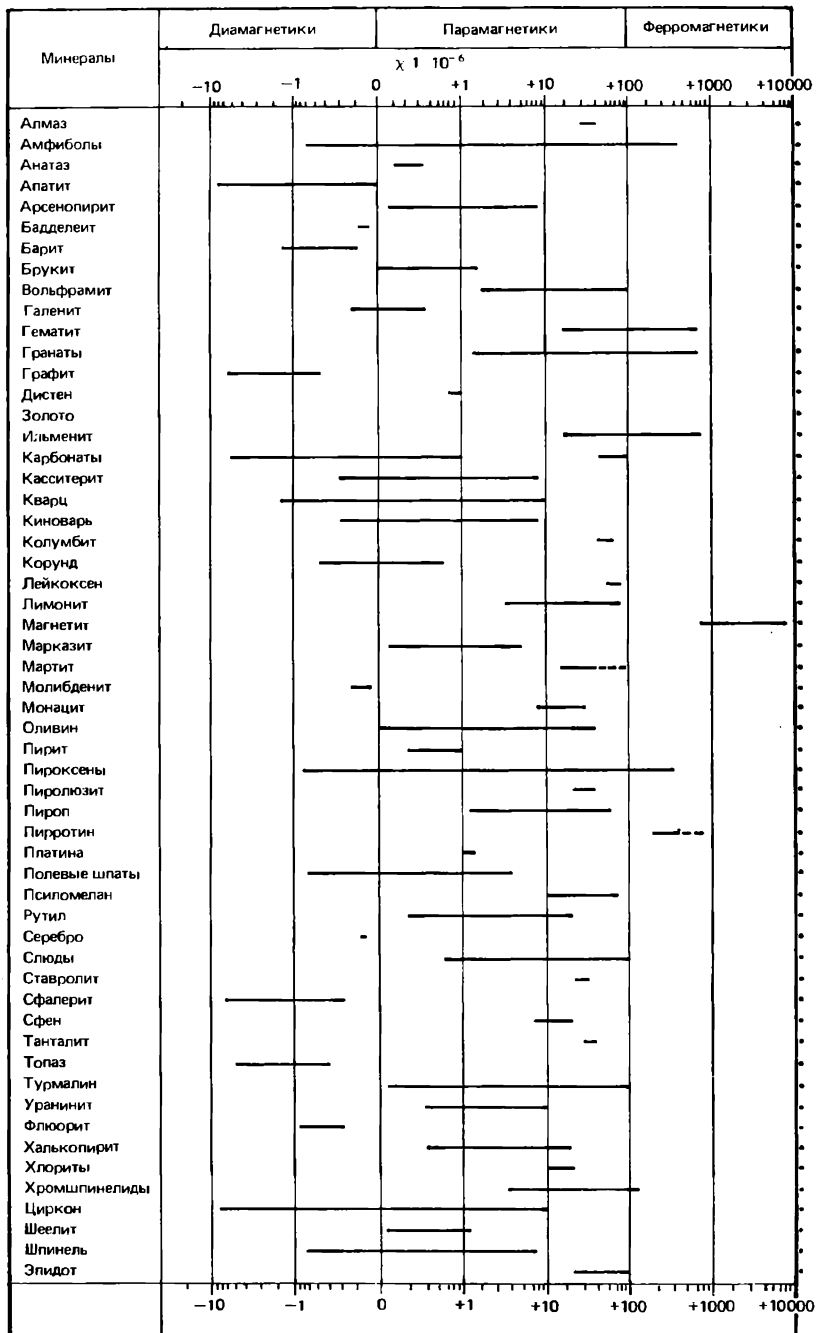


Рис. 13. Удельная магнитная восприимчивость минералов  $\xi$ .

Сепарация постоянными магнитами. Постоянные магниты создают слабые магнитные поля напряженностью менее  $12 \cdot 10^{-4}$  А/м, в которых могут быть извлечены лишь ферромагнитные минералы, обладающие высокими значениями магнитной восприимчивости, превышающими  $3,8 \cdot 10^{-3}$ . Ферромагнитные минералы могут быть выделены с помощью любого постоянного магнита; удобны в работе ручные магниты марок РМЧ (ручной магнит в чехле), МРК (магнит ручной круглый) и МРП (магнит ручной плоский). Подготовленную для сепарации навеску для анализа рассыпают тонким слоем на листе бумаги или на стекле и затем подносят к ее поверхности постоянный магнит, полюса которого обернуты калькой — ферромагнитные минералы притягиваются к магниту. Держа магнит с налипшими на него ферромагнитными минералами над другим, чистым листом бумаги, освобождают его рабочие плоскости от кальки и сбрасывают выделенную фракцию. Эту операцию повторяют до тех пор, пока к магниту не перестанут притягиваться ферромагнитные минералы. Хорошо зарекомендовал себя в работе магнит РМЧ, который позволяет вести разделение как сухим методом, так и в воде.

Удобен и практичен постоянный многополюсный магнит. Он представляет собой продолговатую рамку, закрытую пленкой, в которой закреплен подвижный якорь с вмонтированной в него рифленой намагниченной пластиной. В одной части рамки якорь укрепляется специальными приливами, а из другой свободно вынимается. К рассыпанной тонким слоем на листе бумаги или стекле навеске для анализа подносят рамку с закрепленным якорем, слегка касаясь поверхности пробы. Магнитные минералы притягиваются якорем магнита и удерживаются на пленке. Затем, держа магнит с фракцией над чистым листом бумаги, переводят якорь в противоположную часть рамки и вынимают, сбрасывая при этом ферромагнитную фракцию. Обработку пробы продолжают до полного отделения фракции.

Отделенная ферромагнитная фракция взвешивается и упаковывается в бумажный капсюль, на лицевой стороне которого надписывается номер шлиха, название фракции и ее масса.

Сепарация электромагнитами. Электромагниты создают сильные магнитные поля напряженностью  $8 \cdot 10^4$  —  $16 \cdot 10^5$  А/м, в которых проявляют свои магнитные свойства минералы, имеющие магнитную восприимчивость в пределах  $n \cdot 10^{-4}$  —  $n \cdot 10^{-5}$ . Это обширная группа парамагнитных минералов, которые могут быть подразделены на средне- и слабомагнитные путем вариаций напряженности полей электромагнитов.

Электромагниты, использующиеся в лабораторной практике, различны по конструктивным особенностям. Хорошо зарекомендовали себя электромагнит системы Окунева, универсальный электромагнит марки УЭМ-1Т, более специфичные сепараторы марок СЭМ-1 и СИМ-1, а также новые модели сепараторов СМД и ЭЛ.

В шлиховых лабораториях широко применяется универсальный электромагнит типа УЭМ-1Т, предназначенный для выделения разнообразных по магнитности фракций путем использования сменных полюсных накопечников и изменения напряженности рабочих магнитных полей от

$12 \cdot 10^4$  до  $2 \cdot 10^6$  А/м. Сепарацию можно выполнять тремя различными способами.

I способ – выделение ферромагнитной фракции с помощью многополюсных гребенчатых наконечников, между которыми помещена открытая стеклянная трубка. При силе тока около  $1,7 \cdot 10^{-10}$  А через стеклянную трубку равномерно просыпают подготовленную для сепарации навеску для анализа. Ферромагнитные минералы удерживаются выступами гребенчатых полюсных наконечников, “прилипают” к стенкам стеклянной трубки, а все прочие минералы падают вниз в приемник. Закончив сепарацию, сбрасывают отделенную ферромагнитную фракцию в другой приемник, сняв магнитное поле электромагнита.

II способ – выделение парамагнитных фракций с помощью клиновидных полюсных наконечников. Остаток навески для анализа, полученный после извлечения ферромагнитной фракции, рассыпают тонким равномерным слоем на стекле и подносят к рабочей зоне электромагнита. Парамагнитные минералы “налипают” на полюсные наконечники, а диамагнитные остаются на стекле. Периодически включая и выключая электромагнит и сбрасывая с его полюсных наконечников отделенную часть пробы в приемник, производят ее полную очистку.

Меняя условия работы, можно получить разные по степени магнитности парамагнитные фракции – средней и слабой магнитности. Фракция средней магнитности может быть выделена при силе тока  $1,7 \cdot 10^{-10}$  –  $3,3 \cdot 10^{-10}$  А, зазоре полюсных наконечников около 1,5 мм и расстоянии между стеклом с пробой и нижней рабочей плоскостью полюсных наконечников около 1 см. Для извлечения фракции слабой магнитности касаются стеклом с пробой полюсных наконечников при прочих аналогичных первом случаю условиях; при необходимости сила тока может быть увеличена до  $3 \cdot 10^{-10}$  –  $5 \cdot 10^{-10}$  А. Для ускорения процесса сепарации к электромагниту УЭМ-1Т придается роликовая приставка, позволяющая медленно продвигать пробу в рабочей зоне.

Выделенные парамагнитные фракции взвешиваются и укладываются в пакеты, на которых надписывается название фракций и их масса.

III способ – получение магнитных фракций методом суспензий с помощью конусных наконечников и специальной приставки к электромагниту. Способ применяется для обработки тонкозернистых проб (0,1–0,05 мм) с целью повышения чистоты выделяемых фракций.

Для магнитной сепарации проб может использоваться универсальный постоянный ручной магнит С-5 (магнит А.Я. Сочнева), хорошо зарекомендовавший себя на практике. Основным элементом его является колодка из сплава магнико. Выступающая ее часть служит для отделения ферромагнитных минералов. Парамагнитные минералы могут быть извлечены с помощью специальной накладки-скобы или двух других боковых рабочих поверхностей колодки, имеющих различную ширину межполюсных зазоров. Этот магнит особенно удобен в полевых условиях, где он полностью может заменить электромагнит: с его помощью получают обычно четыре фракции – магнетитовую, ильменит-гранатовую, пироксен-амфиболовую и монацит-сфеновую.

### 3.3.2. Краткие сведения о методах электрической сепарации

Из числа электрических свойств минералов для фракционирования используются различия в удельном электрическом сопротивлении  $\rho$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  (рис. 14, 15).

По электропроводности минералы могут быть разделены на три группы. Минералы-проводники электричества имеют величину удельного электрического сопротивления в пределах  $1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-4}$  Ом·м и обладают электронной, реже — ионной проводимостью. Полупроводниковые минералы характеризуются высоким удельным электрическим сопротивлением ( $\rho = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^8$  Ом·м) и электронной, дырочной и смешанной проводимостью. Диэлектриками являются минералы с электронной проводимостью; их удельное электрическое сопротивление очень велико — до  $1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^{17}$  Ом·м. Электрические свойства определенного минерального вида варьируют благодаря переменному составу минералов и обусловлены вхождением элементов-примесей или проявлением процессов гипергенного преобразования. Электрическая сепарация проб может выполняться двумя способами: сухим методом в воздушной среде и в жидком диэлектрике.

Сухой способ электрической сепарации осуществляется с помощью сепараторов ЭС-I, ЭС-II, МЭП-2. Он основан на использовании поля коронного разряда, электростатического и комбинированного полей. Главными узлами сепаратора являются коронирующий, отклоняющий и осадительный электроды. Проба загружается для разделения в бункер и с помощью вибрирующего лотка подается в электрическое поле высокого напряжения. Минералы-проводники мгновенно отдают свой отрицательный заряд осадительному положительному электроду и отталкиваются от него. Минералы-диэлектрики сохраняют отрицательный заряд и удерживаются на поверхности осадительного электрода, а минералы-полупроводники занимают промежуточное положение. В результате из пробы могут быть извлечены три фракции, различающиеся по величине удельного электрического сопротивления слагающих их минералов.

Способ сепарации в жидком диэлектрике базируется на способности ряда минералов поляризоваться в электрическом поле. Диэлектрический сепаратор ДСК-1 состоит из стеклянного сосуда, заполненного жидким диэлектриком и двух дисковых электродов, создающих неоднородное электрическое поле. В зависимости от величины диэлектрической проницаемости (ДП) и способности минералов поляризоваться одни из них притягиваются к электродам и удерживаются в поле, а другие — выталкиваются.

### 3.3.3. Сепарация по плотности

Плотность минералов определяется массой составляющих их элементов и строением электронных оболочек атомов, обуславливающих кристаллохимические особенности структур. Основываясь на различиях в плотностях минералов, можно проводить их сепарацию путем погружения в среду с известным значением ее плотности. В качестве таких сред ис-

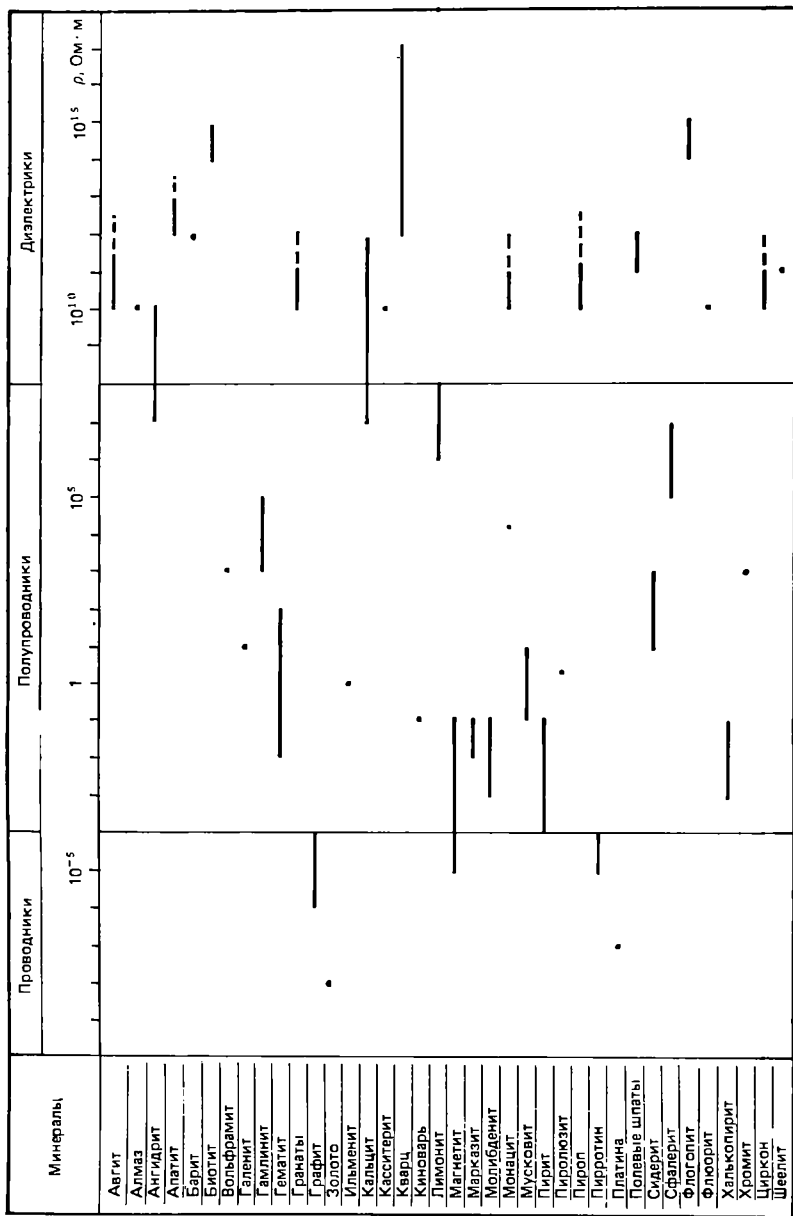


Рис. 14. Удельное электрическое сопротивление минералов  $\rho$

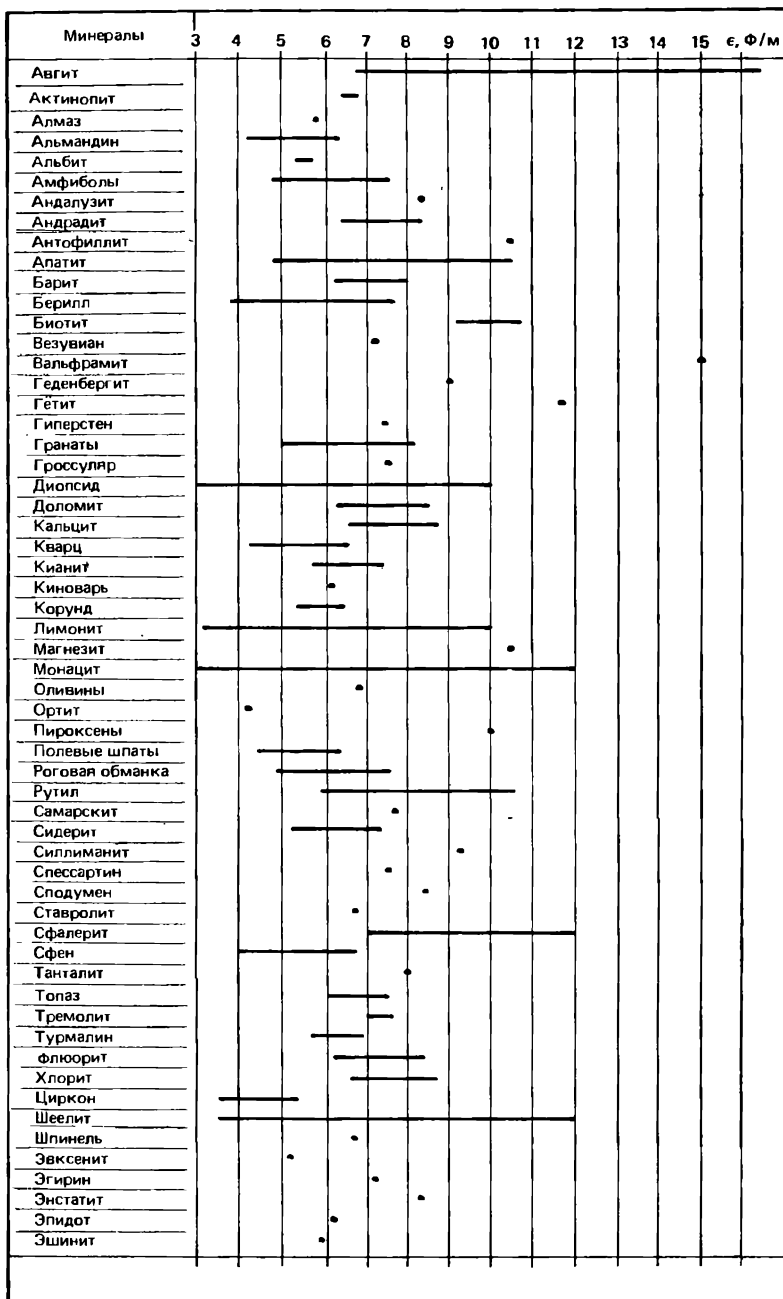


Рис. 15. Относительная диэлектрическая проницаемость минералов ε

Таблица 5

## Краткая характеристика некоторых тяжелых жидкостей

Название	Состав	Плотность, $\rho \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Цвет	Растворители	Особые свойства
Трибромметан (бромформ)	$\text{CBr}_3$	2,89	Бесцветен	Спирт этиловый, эфир, ацетон, бензол	Разлагается на свету, летуч, токсичен
Тетрабромэтан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	2,97	—	Ацетон, спирт этиловый, бензин, бензол, эфир	Мало токсичен, легко фильтруется
Жидкость Туле	$\text{HgJ}_2 + 2\text{KJ}$	3,19	—	Вода	Токсична, разлагает сульфиды, вязкая
Иодистый метилен	$\text{C}_2\text{H}_2\text{I}_2$	3,32	—	Спирт этиловый, бензол, ацетон, бензин	Ядовит, легко разлагается
Жидкость Клеричи	$\text{CH}_2(\text{COOH})\text{TI} + \text{HCOOTI}$	4,27	Желтый	Вода	Разлагается на свету, ядовита

пользуют так называемые тяжелые жидкости, плотность которых изменяется в пределах  $2,9 \cdot 10^3 - 4,27 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (табл. 5).

Тяжелые жидкости являются веществами токсичными, что требует строгого соблюдения правил техники безопасности при работе с ними. Все операции с тяжелыми жидкостями должны производиться только в вытяжном шкафу при наличии хорошей тяги и с использованием средств индивидуальной защиты — халатов, резиновых перчаток, а иногда и защитных очков.

Сепарация минералов по плотности с помощью тяжелых жидкостей может выполняться в делительных воронках, заменяющих их химических воронках с резиновым шлангом и зажимом или в стеклянных стаканах и фарфоровых чашках. В случаях шлихов, представленных тонкозернистым материалом классов менее 0,25–0,1 мм, эффективен метод сепарации по плотности с помощью центрифугирования.

Делительную или химическую воронку укрепляют на штативе, заполняют тяжелой жидкостью (чаще всего используют трибромметан — бромформ) и в нее высыпают пробу, предназначенную для разделения. Перемешав пробу с тяжелой жидкостью, дают материалу дифференцироваться по плотности: легкие минералы всплывают на поверхность жидкости, тяжелые опускаются в нижнюю часть воронки; таким образом возникают две фракции. Открыв кран делительной воронки, вначале спускают на чистую химическую воронку с фильтром тяжелую фракцию, а затем на другую воронку с фильтром — легкую. Иногда удобно вести разделение минералов по плотности в небольших фарфоровых чашечках: всплыва-

ющую в тяжелой жидкости легкую фракцию сливают через край стакана или чашки на фильтр, а на дне остается тяжелая фракция.

Отфильтрованная от полученных фракций тяжелая жидкость вновь используется для сепарации. Тяжелая и легкая фракции, находящиеся на фильтрах, промываются от остатков сорбированной тяжелой жидкости каким-либо растворителем (для трибромметана растворителем чаще служит этиловый гидролизный спирт марки ВО). Промытые фракции высушиваются в сушильном шкафу при температуре 60–80 °С, взвешиваются и анализируются.

Промывные воды, содержащие раствор тяжелой жидкости, собираются для ее дальнейшей регенерации. Для регенерации трибромметана (бромформа) промывные воды помещают в большую делительную воронку и разбавляют двукратным количеством дистиллированной воды. Хорошо изболтав раствор, дают ему отстояться — бромформ выпадает в виде белой эмульсии. После отстаивания в течение нескольких часов он отделяется, фильтруется и вновь может быть использован.

#### Глава 4

### МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ ШЛИХОВ

Минералогические исследования шлихов преследуют цель диагностики минералов и определения их количественных содержаний. Предварительная диагностика минералов проводится путем изучения их внешнего облика. При этом широко используются эталонные коллекции шлихообразующих минералов для сравнения внешнего вида изучаемых минералов с эталонными образцами. Более точная диагностика минералов основывается на результатах кристаллооптических, микрохимических и люминесцентных исследований. В случаях трудноопределимых минералов применяют специализированные методики — локальные микроаналитические, рентгено-структурные, дифрактометрические, спектральные и др. При этом часто прибегают к изготовлению запрессовок (брикетов) из минералов шлихов, которые можно изучать в проходящем или отраженном свете, с помощью электронного микроскопа и других приемов.

#### 4.1. Визуальные методы диагностики

Для визуального изучения минералов шлихов используют бинокулярные стереоскопические микроскопы. Последняя их модель марки МБС-9 имеет высококачественную оптику, увеличенное в диаметре поле зрения и удобна в эксплуатации. Бинокулярный стереоскопический микроскоп обеспечивает объемное изображение в проходящем и отраженном свете при увеличении от 3,5 до 119. Визуальные особенности минералов разделяются на две группы — собственно диагностические признаки и следы транспортировки зерен от коренных источников.

#### 4.1.1. Диагностические признаки минералов

Габитус кристаллов — очень надежный диагностический признак. Кристаллы минералов, обладающих высокой абразивной прочностью, полностью или частично сохраняются в шлихах. Форма кристаллографической огранки специфична для каждого минерала, что позволяет однозначно определять его.

Окраска минералов проявляется в шлихах своеобразно в силу наложения гипергенных процессов при транспортировке зерен, что не позволяет считать ее достоверным диагностическим признаком. Надежнее определяется минерал по цвету его порошка, т. е. по цвету черты. Для изучения цвета черты минерала выбирают зерно, лишенное вторичных пленок, и вдавливают его в обратный конец деревянной ручки препарировальной иглы. Закрепив зерно подобным образом, прочерчивают им по бисквиту, а цвет получившегося порошка минерала (цвет черты) рассматривают в бинокулярный микроскоп.

Блеск минералов определяется в бинокулярном микроскопе не точно, так как при искусственном освещении все минералы приобретают несвойственный им отблеск и не всегда удается надежно установить истинный тип блеска. Характер блеска минералов выражен более четко на свежем изломе зерен. Чаще всего у минералов наблюдается стеклянный, алмазный и металлический блеск. При отнесении блеска к металлическому дополнительно устанавливают цвет черты: у минералов с металлическим блеском черта черная.

Твердость минералов шлихов может быть оценена лишь относительно — по облику зерен и характеру царапания. Зерна мягких минералов имеют обычно сглаженную, „матированную“ поверхность, мутноваты и округлы; зерна твердых минералов угловаты, оскольчатые, поверхность их лишена механических дефектов, часто в шлихах сохраняются кристаллы. Для определения твердости методом царапания отделяют два-три зерна диагностируемого минерала, накрывают их предметным стеклом и, с некоторым усилием надавливая, перемещают его. Мягкие минералы (твердость  $< 3$ ) не оставляют на стекле следа и бесшумно рассыпаются в порошок. Минералы средней твердости (от 3 до 5) едва заметно царапают стекло и раздавливаются с хрустящим звуком. Твердые минералы ( $> 5$ ) оставляют на стекле ясный след, при раздавливании рассыпаются на осколки с резким скрипящим звуком, на стекле появляется выбоина, ямка. Количественно твердость минерала (микротвердость) может быть определена в брикетах (запрессовках) с помощью прибора ПМТ-3 или ПМТ-5.

Спайность и характер излома довольно трудно установить для зерен шлиховых минералов, так как их маскирует окатанность зерен и пленки вторичных образований. Для исследования этих свойств минералы раздавливают и рассматривают характер получившихся осколков. Минералы с весьма совершенной спайностью нередко рассыпаются на пластинчатые, удлиненные, а нередко и тонкие игольчатые обломки с ровными краями. Минералы с хорошей спайностью при раздавливании дают правильные

удлиненные осколки, ограниченные ровными, гладкими сколами по спайности, которые сильно блестят при поворачивании осколков иглой. Минералы, не обладающие спайностью, распадаются с образованием оскольчатых обломков неправильной формы с характерным раковистым изломом.

Прозрачность минералов выявляется по просвечиванию минерала или характеру его порошка. Для определения прозрачности минерал помещают на столик бинокулярного микроскопа на стеклянной пластине и подсвечивают снизу с помощью осветителя. Прозрачные минералы при этом просвечивают, часто хорошо различима их природная окраска. Полупрозрачные минералы просвечивают только у краев зерен, где также видна их природная окраска. Непрозрачные минералы при подсветке остаются темными, черными, а по краям окружены светящейся каймой.

#### *4.1.2. Признаки дальности транспортировки минералов от коренных источников*

Эта группа признаков важна для прогнозной оценки территорий и играет особую роль в том случае, когда необходимо определить возможное пространственное положение коренного источника и степень его удаленности от места отбора шлиха, содержащего полезный компонент.

Форма и размер зерен обуславливают способ переноса минералов в поверхностных потоках, что влияет на степень их окатанности. Изометричные крупные зерна перекатываются по дну потока, при этом подвергаются сильному механическому воздействию и окатываются. Мелкие зерна пластинчатой или игольчатой формы переносятся в поверхностных водотоках во взвешенном состоянии и значительно меньше истираются и окатываются. Отметим, что судить по степени окатанности минерала о дальности его транспортировки можно, лишь сравнивая зерна, близкие по форме, размерам и абразивной устойчивости.

По степени окатанности зерен выделяют три группы. Слабоокатанные зерна имеют угловатые, оскольчатые очертания, нередко среди них сохраняются кристаллы; для среднеокатанных зерен типичны сглаженно-угловатые формы, поверхность их выровненная, признаки габитуса кристаллов различимы не всегда; сильноокатанные зерна округлы, овальные, лепешко- и палочковидны. В зависимости от химической устойчивости минералов и длительности транспортировки их поверхностными потоками на зернах могут появляться следы коррозии, царапания, истирания, скальпирования. Вследствие этого поверхность зерен приобретает дефекты и становится ямчатой, бугорчатой, штрихованной, ступенчатой или сглаженной, матовой; химически неустойчивые минералы при этом покрываются пленками вторичных образований, которые нередко целиком облекают зерно (одевают его "рубашкой").

Таким образом, вблизи коренных источников часто сохраняются сростки, зерна минералов обычно крупные, угловатые, неокатанные, поверхность их чистая, лишённая механических дефектов и пленок вторичных продуктов. По мере транспортировки обломочного материала от источника сноса происходит полное раскрытие сростков, уменьшение

размеров зерен, увеличение степени их окатанности. На значительном удалении от коренных источников зерна минералов сильно окатаны, корродированы, поверхность их несет следы интенсивной механической обработки, матированная, покрыта "рубашками" вторичных продуктов.

#### 4.2. Кристаллооптические методы диагностики

Оптические исследования прозрачных минералов применяются с целью их диагностики, так как по визуальным признакам многие минералы трудно определимы, особенно в случаях бесцветных зерен, которые разделяются главным образом по оптическим константам. Аппаратурой для кристаллооптических исследований может служить петрографический поляризационный микроскоп. Методика выполнения кристаллооптических исследований подробно излагается в соответствующих руководствах, поэтому в данном учебном пособии ограничимся лишь краткими указаниями к их выполнению.

Препараты для кристаллооптических исследований готовятся с помощью иммерсионных жидкостей; при необходимости закрепления зерен применяют раствор желатина или обычную воду, в которые помещают зерна минерала, и препарат подсушивают. При предварительных наблюдениях для погружения минерала удобно пользоваться вместо иммерсионных жидкостей менее токсичной средой — глицерином ( $n_{г\lambda} = 1,47$ ), в котором зерна минералов мало подвижны, что облегчает исследования. В случаях трудно диагностируемых минералов изготавливают запрессовки (брикеты) или цементные шлифы.

Для получения препарата для оптических исследований от фракции шлиха отделяют два-три зерна неизмененного минерала, лишенных включений и сростков, помещают их на предметное стекло, раздавливают стеклянным пестиком или другим предметным стеклом. На полученные осколки зерен минерала наносят иммерсионную жидкость или каплю глицерина и накрывают препарат тонким покровным стеклом.

В проходящем свете без анализатора (объективы 8х или 20х) изучают окраску минерала и плеохроизм, наличие спайности и величины показателей преломления. Для определения относительной величины показателей преломления лучи, пропускаемые поляризатором, несколько диафрагмируют, исследуют характер границ, рельеф обломков зерен минерала и наличие шагреновой поверхности, наблюдают полоску Бекке. По комплексу этих признаков минералы можно разделить на три группы в соответствии с относительной величиной показателей преломления. Для низкопреломляющих минералов типичны нечеткие, тонкие границы осколков зерен, отсутствие шагреновой поверхности, почти неразличимая полоска Бекке. Минералы со средними величинами относительных показателей преломления имеют четкие, резкие границы обломков зерен, отчетливо видимую полоску Бекке, хорошо проявленную шагреновую поверхность. Высокопреломляющим минералам свойственны широкие темные границы зерен, окруженных глубокими теневыми каймами, маскирующими полоску Бекке, резко выраженная шагреновая поверхность.

В проходящем свете с анализатором (объективы 8x и 20x) выявляют отношение минерала к поляризованному свету (изотропный или анизотропный минерал), а также угол погасания, знак удлинения и относительная величина двупреломления. Угол погасания может быть установлен для осколков зерен, обладающих спайностью или имеющих вытянутую форму. Знак удлинения минерала определяется с помощью компенсатора или кварцевого клина, для чего зерно ориентируют так, чтобы его длинная сторона совпадала с направлением хода компенсатора, т. е. под углом  $45^\circ$  к кресту нитей окуляра. В случае повышения интерференционной окраски при вводе компенсатора удлинение минерала считается отрицательным ( $N_p$ ), а в случае понижения — положительным ( $N_g$ ).

Относительная величина двупреломления может быть приблизительно оценена по характеру интерференционной окраски минерала. По относительной величине двупреломления минералы условно можно разделить на три группы. Обломки зерен минералов с низким двупреломлением в краевых частях имеют серые интерференционные окраски, повышающиеся в центре до оранжево-красных и красно-синих тонов. Минералам среднего двупреломления присущи яркие оранжево-красные, фиолетово-синие интерференционные окраски, причем нередко можно наблюдать два-три порядка окрасок, расположенных зонально. Высоко двупреломляющие минералы обнаруживают нежные перламутровые интерференционные окраски высших порядков, близкие к белому цвету.

В сходящемся свете определяют осность минералов, их оптический знак и величину угла оптических осей. Для исследования необходимо поднять конденсор и открыть его диафрагму, включить вогнутое зеркало. В препарате подбирают крупный осколок минерала с низкой интерференционной окраской, фиксируют прижимными папками препарат на столике микроскопа и ставят объектив 60x, хорошо его центрируют. Включив анализатор, линзы Лазо и Бертрана, наблюдают характер получившейся фигуры; для большей ее четкости полезно слегка задиафрагмировать линзу Бертрана.

Одноосные кристаллы дают темный крест для разрезов, перпендикулярных к оптической оси; в случаях косых разрезов видны балки этого креста, перемещающиеся параллельно нитям окуляра при вращении столика микроскопа. Оптический знак определяют с помощью компенсатора, наблюдая возникающие окраски в квадрантах оптических осей: желтая окраска II и IV квадрантов свидетельствует о положительном оптическом знаке минерала, синяя — об отрицательном.

Двуосные кристаллы образуют интерференционную фигуру, распадающуюся на две изогнутые гиперболы. Чаще приходится иметь дело со случайными косыми разрезами минералов, в которых определяется только одна из оптических осей, в связи с чем видна лишь одна ветвь гиперболы, вращающаяся вокруг ее конца при вращении столика микроскопа. Оптический знак минерала устанавливают при введении компенсатора: оптически положительные кристаллы обнаруживают синюю окраску на выпуклом крае гиперболы и желтую — на внутреннем крае; обратное расположение окрасок свойственно оптически отрицательным кристаллам.

Методика иммерсионных исследований подробно излагается в специальных руководствах, поэтому здесь приводятся лишь общие краткие сведения. Количественное определение величины главных показателей преломления минералов осуществляется путем погружения обломков зерен в иммерсионные среды с известными показателями преломления, последующего сравнения и постепенного выравнивания показателей преломления среды и минерала. Метод основан на оптическом эффекте, возникающем на границе раздела двух сред с разными показателями преломления (полоска Бекке). Для исследования используют стандартные наборы жидкостей, включающие 98 препаратов, показатели преломления которых варьируют от 1,408 до 1,780. Следует напомнить, что иммерсионные жидкости с течением времени изменяют свои параметры и требуется систематическая проверка показателей преломления с помощью рефрактометра ИРФ-22.

Препарат готовят так же, как и препараты на глицерине, но средой в данном случае служат иммерсионные жидкости. Последовательно меняя жидкости и проводя наблюдения, добиваются выравнивания показателей преломления среды и минерала по разным его кристаллографическим направлениям. Измеряют главные показатели преломления: для одноосных кристаллов  $N_o$  и  $N_e$ , для двуосных  $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$ ; изотропные минералы имеют один показатель преломления  $N$ .

### 4.3. Микрохимическая диагностика минералов

Микрохимические методы исследования широко применяются при минералогическом анализе шлихов с целью уточнения диагностики минералов. Эти методы требуют незначительного количества исходного материала для выполнения отдельных реакций (два-три зерна), высокочувствительны, позволяют получить отчетливые конечные результаты при минимальной затрате времени. Для проведения качественных микрохимических реакций минерал переводят в раствор воздействием концентрированных кислот или путем предварительного сплавления и последующего растворения сплава. Растворение в кислотах или сплавление осуществляют в небольших фарфоровых тиглях при нагревании на горелках.

Качественные микрохимические реакции могут выполняться четырьмя основными методами — капельным, пленочным, микрорископическим и сухим. Капельные реакции основаны на получении в конечном результате характерной окраски: часть раствора минерала переносят на кусочек фильтровальной бумаги, добавляют каплю реактива-проявителя и оценивают результат по появившейся окраске. При пленочных реакциях возникают окрашенные пленки на поверхности зерен испытуемых минералов. Микрорископические реакции вызывают образование характерного кристаллического осадка, выпадающего из раствора минерала при прибавлении реактива-осадителя; реакцию удобно выполнять на часовом стекле, а результаты наблюдать в бинокулярный микроскоп. Сухие реакции основаны на получении окрашенных перлов при

сплавлении минерала в ушке платиновой проволоки или окрашивании смеси минерала с кристаллическим растворителем после тщательного их растирания в фарфоровом тигле.

Проведение микрохимических реакций требует соблюдения правил техники безопасности, предусмотренных для работы с концентрированными кислотами, щелочами и токсичными веществами.

**Барий.** Для диагностики бария минерал сплавляют в фарфоровом тигле с  $K_2S_2O_7$ , сплав растворяют при растирании стеклянной палочкой в дигиллированной воде, подкисленной  $CH_3COOH$ , и прибавляют каплю 5%-ного раствора  $K_2CrO_4$  – выпадает желтый мелкокристаллический осадок  $BaCrO_4$ .

**Бериллий.** Минералы бериллия переводят в раствор сплавлением в фарфоровом тигле с  $Na_2CO_3$ . Полученный сплав растворяют в воде при растирании стеклянной палочкой, переносят раствор на фильтр и добавляют насыщенный спиртовой раствор хинализарина – красно-фиолетовая окраска хинализарина изменяется на синюю.

**Бор.** Минералы бора для растворения сплавляют в фарфоровом тигле с  $Na_2CO_3$  или  $KOH$ , сплав растворяют в воде при растирании. Полученный раствор переносят на фильтр и добавляют каплю 0,01%-ного раствора хинализарина в концентрированной  $H_2SO_4$ . В присутствии бора первоначальная розовато-фиолетовая окраска реактива меняется на синюю.

**Висмут.** Висмутсодержащие минералы растворимы в кислотах, причем в случае сульфидных соединений при этом выделяется порошковатая сера. Минерал растворяют в  $HNO_3$ , полученный раствор переносят на фильтр и смачивают каплей 10%-ного водного раствора тиомочевины – появляется желтое окрашивание. Эта реакция весьма чувствительна и специфична для сульфидов висмута.

**Вольфрам.** Минералы вольфрама представлены в шлихах шеелитом и вольфрамитом, очень редок сульфид вольфрама – тунгстенит. Определение этого элемента существенно осложняет железо, поэтому метод выполнения реакции выбирается в зависимости от предполагаемого минерального вида.

Для диагностики шеелита два-три зерна минерала кипятят в фарфоровом тигле с концентрированной  $HCl$  – зерна минерала покрываются желтой пленкой и выпадает мелкокристаллический желтый осадок. При введении кусочка металлического олова или цинка пленка и осадок приобретают темно-синюю окраску.

Вольфрамит может быть определен пленочной реакцией: минерал сплавляют в фарфоровом тигле с  $K_2S_2O_7$ , избыток плавня выщелачивают водой, подкисленной  $HCl$ . На зернах вольфрамита образуется светло-серая пленка.

**Железо.** Минералы, содержащие  $Fe^{2+}$ , растворяют в  $H_2SO_4$  (1:1) или  $HCl$  с добавлением нескольких кристалликов соды до появления желтой окраски раствора (в случае слабого растворения минерала – осторожно нагреть). Полученный раствор переносят на фильтр и добавляют каплю 2–3 %-ного водного раствора  $K_3[Fe(CN)_6]$  – возникает зелено-синяя ок-

раска (турнбуллева синь). Для определения  $\text{Fe}^{3+}$  минерал растворяют в концентрированной  $\text{HCl}$ , раствор переносят на фильтр и исследуют двояко: 1) прибавляют каплю 3%-ного водного раствора  $\text{KCNS}$  — образуется буро-красное пятно; 2) прибавляют каплю 3%-ного водного раствора  $\text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$  — появляется синее окрашивание (берлинская лазурь).

**Золото.** Диагностика самородного золота не вызывает затруднений и редко требует применения микрохимических исследований; оно инертно к кислотам и растворяется при нагревании в царской водке. Диагностика теллуридов золота сложна и требует микрохимической проверки. Минералы растворяются в концентрированной  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с выпадением ржаво-красного осадка или окрашиванием раствора в фиолетово-красный цвет (растворение удобно вести в фарфоровом тигле). Если полученный раствор осторожно выпарить и сухой остаток растворить в воде, то после прибавления к нему капли 5%-ного раствора  $\text{SnCl}_2$  в концентрированной  $\text{HCl}$  появляется пурпурно-красное окрашивание (кассиев золотой пурпур).

**Кобальт.** Минералы кобальта растворяют в концентрированной  $\text{HNO}_3$ , прибавляют каплю  $\text{H}_3\text{PO}_4$  для обесцвечивания соединений железа и каплю двойной ртутно-родановой соли  $(\text{NH}_4)_2 \text{Hg}(\text{CNS})_4$  — выпадают темно-синие игольчатые кристаллы (для приготовления реактива растворяют 8 г  $\text{HgCl}_2$  и 9 г  $\text{NH}_4 \text{CNS}$  в 100 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ).

**Марганец.** Минералы марганца разнообразны и их диагностируют различными методами. Псиломелан, вад и браунит при кипячении в фарфоровом тигле в концентрированной  $\text{HCl}$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$  окрашивают раствор в красно-фиолетовый цвет. Пиролюзит определяется по появлению синего пятна на фильтре при смачивании зерен минерала раствором уксусного бензидина (1 г бензидина растворяют в 100 мл 10%-ного  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Труднорастворимые марганецсодержащие минералы сплавляют в фарфоровом тигле с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{KOH}$  — грязно-зеленая окраска сплава свидетельствует о присутствии марганца.

**Медь.** Минералы меди растворяют в фарфоровом тигле при подогревании в концентрированной  $\text{HNO}_3$  или  $\text{HCl}$ , раствор переносят на фильтр, смачивают каплей 10%-ного  $\text{NH}_4\text{OH}$  — возникает голубое окрашивание. При прибавлении капли 1%-ного спиртового раствора рубеановой кислоты окраска меняется на грязно-зеленую (реакция весьма чувствительна). В случае отсутствия рубеановой кислоты голубое пятно на фильтре смачивается 5 %-ным спиртовым раствором  $\alpha$ -бензоиноксима — появляется зеленое окрашивание.

**Молибден.** Молибденсодержащие минералы трудно растворимы, и их обрабатывают при кипячении в фарфоровом тигле концентрированной  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  или сплавляют с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с последующим растворением сплава при растирании в  $\text{HCl}$  (1 : 1). Полученный раствор минерала переносят на фильтр, смачивают каплей  $\text{NH}_4\text{OH}$  (10%-ный) и прибавляют кристаллик ксантогеновокислого калия — образуется малиново-красное пятно. Проверку можно провести другим способом: раствор минерала на фильтре смачивается каплей 3%-ного водного раствора  $\text{KCNS}$  — появляет-

ся розовато-оранжевое пятно, которое меняет окраску на кроваво-красную при прибавлении капли 15%-ного раствора  $\text{SnCl}_2$  в  $\text{HCl}$  (1:1).

**Мышьяк.** Минералы мышьяка растворяются при нагревании в фарфоровом тигле в концентрированной  $\text{HNO}_3$  или  $\text{HCl}$ . Раствор переносят на часовое стекло и добавляют к нему каплю насыщенного водного раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  – выпадает мелкокристаллический желтый осадок. Если к раствору минерала добавить каплю насыщенного раствора  $\text{SnCl}_2$  в концентрированной  $\text{HCl}$ , медленно выпадают бурые или черные хлопья.

**Никель.** Минералы никеля растворяют при кипячении в фарфоровом тигле в концентрированной  $\text{HNO}_3$  или предварительно сплавляют с содой и сплав растворяют в воде с добавлением  $\text{HNO}_3$  (1:1) при растирании стеклянной палочкой. Полученный раствор минерала переносят на фильтр и добавляют 1%-ный спиртовой раствор диметилглиоксима – возникает яркое розово-малиновое окрашивание. Следует отметить также, что раствор минерала в концентрированной  $\text{HNO}_3$  имеет зеленоватую окраску, которая меняется на синюю при прибавлении капли 10%-ного  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**Олово.** Микрохимическое определение олова применяется для диагностики касситерита и носит название реакции “на оловянное зеркало”. Для ее выполнения два-три зерна минерала помещают на кусочек металлического цинка и, наблюдая в бинокляр, наносят каплю  $\text{HCl}$  (1:1). В результате на поверхности зерен касситерита образуется серебристо-серая пленка восстановленного олова – “оловянное зеркало”. Если раствор минерала снять с цинка фильтром и добавить каплю насыщенного водного раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ , появится синее окрашивание.

**Платина.** Для микрохимического определения платины минерал кипятят в фарфоровом тигле в царской водке (три части  $\text{HCl}$  + одна часть  $\text{HNO}_3$ ), раствор переносят на часовое стекло, добавляют каплю дистиллированной  $\text{H}_2\text{O}$ , каплю концентрированной  $\text{HCl}$  и кристаллик  $\text{KCl}$  – из раствора выпадают лимонно-желтые октаэдрические кристаллы хлорплатината калия.

**Ртуть.** Ртуть определяется при диагностике киновари: два-три зерна минерала кипятят в фарфоровом тигле в царской водке (три части  $\text{HCl}$  + одна часть  $\text{HNO}_3$ ). Раствор переносят на часовое стекло и добавляют каплю 30 %-ного водного раствора  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  и каплю насыщенного водного раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$  – возникает сине-фиолетовая окраска раствора, а при высокой концентрации ртути выделяются темно-синие копьевидные кристаллы, образующие лучистые сростки.

**Свинец.** Свинцоводержащие минералы растворяют в фарфоровом тигле в концентрированной  $\text{HNO}_3$  до выпаривания; сухой остаток растворяется в воде при растирании стеклянной палочкой. Полученный раствор переносят на часовое стекло и добавляют кристаллик  $\text{KJ}$  – выпадает чешуйчатый ярко-желтый осадок, обладающий перламутровым, шелковистым блеском.

**Сера.** При диагностике сульфидов сера может быть выявлена путем растворения минералов в концентрированных кислотах, что сопровождается выделением сероводорода, усиливающимся при нагревании.

В сульфатах сера определяется по кристаллоскопической реакции. Минерал растворяют в концентрированной HCl при подогревании в фарфоровом тигле, раствор переносят на часовое стекло и добавляют каплю 10 %-ного водного раствора BaCl<sub>2</sub> — выпадает тонкокристаллический бесцветный или белесый осадок.

Серебро. Минералы серебра довольно разнообразны, но в большинстве случаев они растворяются в концентрированной HNO<sub>3</sub> на холоду или при нагревании. Полученный раствор переносят на часовое стекло и добавляют к нему каплю HCl (1:5) — образуется белый творожистый осадок, который растворяется при прибавлении капли 10 %-ного NH<sub>4</sub>OH.

Сурьма. Для диагностики антимонита зерна минерала помещают на часовое стекло и смачивают каплей 20%-ного водного раствора KOH — на поверхности антимонита появляется оранжево-красная пленка. Сульфосоли сурьмы растворяют в фарфоровом тигле в концентрированной HNO<sub>3</sub>, подогревают до выпаривания и сухой остаток растворяют в капле концентрированной HCl, затем добавляют каплю 10 %-ного NH<sub>4</sub>OH. Полученный раствор переносят на фильтр и добавляют каплю роданина "С" (0,01 г роданина в 100 мл H<sub>2</sub>O) — сурьма устанавливается по изменению ярко-красной окраски реактива на фиолетовую.

Тантал и ниобий. Зерна минерала сплавляют в фарфоровом тигле с K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub> или KOH; сплав растворяют в 5%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — зерна минералов Nb и Ta и покрываются серой пленкой, которая переходит в ярко-желтую (Ta) или оранжево-красную (Nb) при добавлении капли таннина (1%-ный раствор в 5%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и последующем слабым нагревании (не кипятить!). Следует пользоваться свежеприготовленным раствором таннина, так как при длительном хранении он становится непригодным.

Титан. Минерал сплавляют в фарфоровом тигле с K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub> до появления светло-желтой окраски, сплав охлаждают и растворяют в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1), растирая стеклянной палочкой. Затем к раствору добавляют каплю насыщенного водного раствора H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и каплю H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3%-ной или 10%-ной) — возникает желтая окраска, которая постепенно исчезает.

Торий. Минерал сплавляют с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в фарфоровом тигле при длительном интенсивном прогреве, сплав растворяют в HCl (1:1) при растирании стеклянной палочкой, раствор выпаривают и сухой остаток вновь растворяют в концентрированной HCl. Полученный раствор переносят на фильтр и добавляют каплю 0,1%-ного водного раствора торона — появляется яркое малиново-красное окрашивание.

Уран. Минерал сплавляют с H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub> или KHSO<sub>4</sub> в фарфоровом тигле, сплав растворяют в HCl (1:1) при растирании палочкой. Образовавшийся раствор переносят на фильтр, добавляют каплю насыщенного водного раствора гипосульфита (для обесцвечивания солей железа), а затем наносят каплю 5%-ного водного раствора K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] — появляется бурое окрашивание. Минералы урана хорошо диагностируются по люминесценции: сплавляют зерно с NaF и в ультрафиолетовых лучах наблюдается яркое желто-зеленое свечение.

Фосфор. Минерал растворяют при нагревании в концентрированной HNO<sub>3</sub> или сплавляют в фарфоровом тигле с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> с последующим ра-

створением сплава в  $\text{HNO}_3$  (1:5). Раствор переносят на часовое стекло и добавляют кристаллик  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  – выпадает тонкокристаллический ярко-желтый осадок.

**Хром.** Минерал сплавляют в фарфоровом тигле с  $\text{KOH}$  или смесью равных частей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{O}_2$ . Сплав растворяют в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:1) при растирании стеклянной палочкой, переносят раствор на фильтр и добавляют каплю 1%-ного спиртового раствора дифенилкарбазида – фиолетово-красная окраска реактива изменяется на синюю.

**Цинк.** Минерал сплавляют в фарфоровом тигле с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и растворяют сплав, растирая его в воде, подкисленной  $\text{HNO}_3$  (некоторые минералы растворимы при нагревании в 20%-ной  $\text{HNO}_3$ ). Полученный раствор переносят на фильтр, добавляют маленькую каплю  $\text{CuSO}_4$  (0,2%-ный раствор в 40%-ном  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и каплю двойной ртутно-родановой соли (8 г  $\text{HgCl}_2 + 19$  г  $\text{NH}_4\text{CNS}$  растворяют в 100 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) – возникает серо-сиреневое (до темного, почти черного) окрашивание. В случае присутствия в минерале железа появляется интенсивное буро-красное окрашивание, которое маскирует результаты микрохимического определения цинка, но оно легко обесцвечивается добавлением капли 25%-ного водного раствора  $\text{SnCl}_2$ .

#### 4.4. Люминесцентные методы диагностики

Люминесценцией называется неравновесное излучение минералом света, избыточное над тепловым. В зависимости от способа возбуждения люминесцентного свечения выделяются его различные виды. Фотолюминесценция возбуждается световыми фотонами из ультрафиолетовой области спектра, рентгеновские лучи вызывают рентгенолюминесценцию; катодолюминесценция обуславливается электронным пучком лучей, бомбардировка ионами в электрическом поле приводит к проявлению ионолюминесценции; известна также термостимулированная люминесценция.

Всем процессам люминесценции свойственно испускание фотона при электронном переходе из возбужденного состояния в основное в центре. Центром люминесценции называется частица (примесный или собственный атом, ион, молекула и т.п.), которая под действием источника люминесценции переходит в возбужденное состояние. К собственным люминограмм относятся  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{U}^{6+}$ ,  $\text{W}^{6+}$ ,  $\text{Mo}^{6+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ; к изоморфно-примесным катионам-люминогенам принадлежат  $\text{TR}^{2+}$ ,  $\text{TR}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Ti}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ .

Возвращение возбужденного центра в нормальное состояние сопровождается люминесцентным излучением. Если поглощенная энергия преобразуется частично или полностью в тепловые колебания решетки, процесс называют тушением (гашением) люминесценции. Ионами-гасителями люминесценции являются  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и другие элементы, а также центры окраски (например, радиационные), поглощающие фотоны люминесценции.

По длительности проявления люминесценции различают флюоресценцию – свечение не наблюдается после прекращения действия его возбудителя – и фосфоресценцию – свечение сохраняется длительное время после

Минералы	656,3		620		589,3		486,1		430		404,7 λ, нм					
	Цвет люминесценции															
	красный	красно-красный	оранжево-красный	оранжевый	оранжево-желтый	золотисто-желтый	желтый	зеленовато-желтый	желтовато-зеленый	зеленый	голубовато-зеленый	зеленовато-голубой	голубой	беловато-голубой	синий	синева-фиолетовый
Александрит																
Алмаз																
Апатит																
Барит																
Берилл																
Волластонит																
Гипс																
Доломит																
Кальцит																
Кварц																
Клейофан																
Корунд																
Малакон																
Повеллит																
Полевые шпаты																
Турмалин																
Сидерит																
Силлиманит																
Скаполит																
Смитсонит																
Сподумен																
Топаз																
Тремолит																
Флюорит																
Целестин																
Церуссит																
Циркон																
Шеелит																
Янтарь																

— 1                      - - - - - 2                      ..... 3

Рис. 16. Люминесценция минералов.

1—3 — тип коротковолнового излучения: 1 — ультрафиолетовое, 2 — катодное, 3 — рентгеновское; λ — длина волны светового излучения

прекращения действия его возбудителя. Люминесцировать могут безжелезистые минералы-диэлектрики (оксиды, оксоосили, галогениды), некоторые полупроводники (например, сульфиды) и отдельные гомоатомные минералы (алмаз, муассанит — рис. 16).

Фотолюминесценцию минералов шлихов изучают с помощью приборов, дающих ультрафиолетовое излучение; это осветитель ОИ-18, ОИ-18А, люминескопы ЛСП-101, ЛСП-103, "Шеелит", "Минилюм" и лазеры типа ЛГИ-21 с ультрафиолетовой длиной волны (λ = 337 нм). Большинство минералов люминесцирует в коротковолновом ультрафиолетовом диапазоне (λ ~ 230—250 нм), для получения которого применяют светофильтры типа УФС-2, УФС-5, УФС-1.

Люминесцентный осветитель типа ОИ-18А предназначен для освещения

исследуемых объектов ультрафиолетовым светом и может использоваться со стереоскопическими микроскопами типа МБС. Источник света – ртутно-кварцевая лампа ДРК-120, питающаяся от сети переменного тока через пульт зажигания ПРЛ-6. С помощью стандартного набора светофильтров, входящих в комплект осветителя, можно осветить объекты только в диапазоне длин волн 360–440 нм, поэтому для исследования минералов необходимо использовать дополнительные светофильтры, указанные выше. Для наблюдения люминесценции минералов шлих помещают на столик бинокулярного стереоскопического микроскопа, на окуляры одевают светофильтры ЖС18-1, облучают объект ультрафиолетовым светом и просматривают шлих.

Люминесцентный микроскоп “ЛЮМАМ” предназначен для исследования видимой люминесценции объектов, возбуждаемой лучами зелено-синие-фиолетового участка спектра и ультрафиолетовыми лучами. Спектральная область возбуждения люминесценции 360–550 нм. Источником света является ртутная лампа ДРШ-250-3, питающаяся от сети переменного тока. Для изучения люминесценции минералов шлих помещают на столик микроскопа и, включив ртутную лампу, исследуют объект микроскопически. Люминесценцию объекта можно видеть при освещении возбуждающим светом сверху, через конденсор, и по методу фазово-темнопольного контраста.

Криолюминесценция. Ряд минералов не обнаруживает фотолюминесценции при комнатной температуре, но способен активно проявлять ее после охлаждения в жидком азоте ( $T = 77 \text{ K}$ ). При этом в значительной степени замораживаются колебания решетчатых, прекращается рассеивание энергии возбуждения и происходит преобразование энергии ультрафиолетовых лучей в световое излучение. Подобную фотолюминесценцию называют криолюминесценцией. Она характерна для касситерита, киновари, циркона, флюорита, ангидрита, родонита, родохрозита, датолита, данбурита, силикатов и гидроксидов уранила. Исследования криолюминесценции минералов проводят с использованием осветителя ОИ-18, снабженного светофильтром УФС-2, или люминескопа ЛСП-103. Пенопластовую емкость специальной конструкции заполняют жидким азотом и в нее с помощью держателя с зажимом опускают кварцевую пробирку с материальным шлихом. Спустя 10–30 с (после прекращения вскипания) пробирку вынимают, помещают на столик бинокулярного микроскопа в пучок ультрафиолетовых лучей и наблюдают криолюминесценцию.

Катодолюминесценция минералов широко применяется в лабораторной минералогической практике, так как она присуща большому числу минералов, и свечение весьма интенсивно. В большинстве случаев это флюоресценция, но ряд минералов (например, кальцит, флюорит) способны фосфоресцировать. Отдельные минералы, обладающие фосфоресценцией, в процессе облучения заметно нагреваются, и их свечение сохраняется более длительное время после прекращения облучения.

Для изучения катодолюминесценции минералов используют катодные трубки (ячейки), в которых облучение производится пучком электронов, фокусирующихся при электрическом разряде в вакууме. На практике шлихо-

вые лаборатории наиболее часто оборудованы катодными трубками с холодным катодом.

Катодная установка системы Комовского состоит из разборной металлической ячейки (катодной трубки), на электроды которой через искровой разрядник и трансформатор подается ток высокого напряжения. Вакуумный насос создает в трубке разрежение 133,3 МПа. Изучаемый объект (шлих, фракция, сколок образца) помещается внутрь катодной трубки; она плотно закрывается, и создается вакуум, в котором за счет эмиссии электронов с катода возникает люминесценция. При исследовании мелкозернистого материала шлихов результаты облучения наблюдают в бинокулярный микроскоп, укрепленный на штанге непосредственно над катодной ячейкой.

Термолюминесценция используется сравнительно редко при диагностике минералов шлихов. Сущность явления термолюминесценции такова. При воздействии на минералы ионизирующего облучения электроны и дырки могут захватываться ловушками, создаваемыми дефектами в кристаллической решетке. При нагревании образца минерала или шлиха происходит освобождение электронов (дырок) и рекомбинация их с более устойчивыми центрами, а выделяемая при этом энергия возбуждает центры свечения. Кривые термосвечения изучаются на установках типа "Термолюм".

Люминесцентные методы позволяют не только диагностировать минералы, но и приближенно количественно оценивать их содержание в шлихах. Оценку содержания люминесцирующего минерала ведут визуально, подсчитывая число отдельных светящихся зерен; при большом их количестве содержание выражают в процентах.

При исследовании шлихов люминесцентными методами необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, и к работе с коротковолновыми облучателями могут быть допущены только специально обученные лица, аттестованные на знание правил техники безопасности. При работе с названными установками требуется применение средств индивидуальной защиты (очки!) и регулярное проветривание рабочего помещения во избежание избыточного озонирования воздуха.

#### **4.5. Количественный минералогический анализ шлихов**

В зависимости от масштабов поисков и стоящих перед ними задач выделяют три типа количественно-минералогических анализов шлихов: полуколичественный, полуколичественный повышенной точности и количественный.

##### **4.5.1. Полуколичественный анализ**

Анализы этого типа выполняются при общих поисках и предусматривают визуальное определение содержаний минералов. Шлихи фракционируются по упрощенной схеме, включающей ситовой анализ на одном сите (1 мм) и выделение трех магнитных и двух диамагнитных фракций. Минералы диагностируются только до минеральных групп. Содержание

минералов устанавливается визуально и выражается в процентах от массы фракции с последующим пересчетом на весь шлик. По желанию заказчика содержание полезных компонентов пересчитывается в граммах на кубический метр объема исходной пробы. При незначительном количестве минерала его содержание выражают числом зерен.

При визуальном определении содержаний минералов полезно использовать специально изготовленные количественные эталоны, где задано некоторое конкретное содержание какого-либо минерала (в процентах). Сравнивая частоту встречаемости заданного минерала в эталоне и анализируемого минерала во фракции шлика, уточняют его содержание. Ошибки определения могут превышать 5 % за счет завышения количества минералов яркого блеска и окраски, а также за счет различий в форме и размерах эталонных и изучаемых минералов.

#### 4.5.2. Полуколичественный анализ повышенной точности

Эти анализы проводятся при поисковых работах в пределах перспективных рудных полей с целью выявления зон коренной минерализации определенных полезных компонентов или россыпей. Фракционирование шлихов, тяжелых фракций дробленых пород, а иногда и концентратов выполняется по более сложным схемам. Применяется ситовой анализ на двух ситах (1,0 и 0,315 или 0,1 мм) и раздельное фракционирование по классам. В каждом из классов помимо основных выделяются и дополнительные фракции на электромагнитах и в тяжелых жидкостях, что позволяет выявить распределение компонента по классам и фракциям шлика. Минералы диагностируются до минеральных видов с использованием специальных методик исследования. Количественное определение содержаний минералов может быть осуществлено визуально (выражается в процентах) или методом подсчета зерен на стандартной площади.

Более точные результаты можно получить, подсчитывая число зерен на стандартной площади с помощью специальной сетки-накладки к окуляру бинокулярного микроскопа. На стандартной площади определяют общее число всех зерен минералов  $N$  и отдельно число зерен анализируемого минерала  $n$ . Подобные подсчеты проводятся на нескольких площадях в разных частях фракции, и рассчитывается среднее содержание минерала во фракции по объему  $C_v$  (в процентах) по следующему соотношению:  $C_v = 100 n/N$ . Полученные данные пересчитывают на массовую долю (содержание)  $C_m$  (в процентах)

$$C_m = \frac{100 C_v \rho_1}{C_v (\rho_1 - \rho_{cp}) + 100 \rho_{cp}},$$

где  $C_m$  — содержание (массовая доля) определяемого минерала во фракции, %;  $C_v$  — подсчитанное содержание (объемная доля) минерала

во фракции, %;  $\rho_1$  – плотность определяемого минерала, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ср}}$  – суммарная средняя плотность прочих минералов фракции, кг/м<sup>3</sup>.

Для полезных минералов шлиха данные расчетов могут быть представлены в весовых единицах, т.е. в граммах на 1 м<sup>3</sup> или 1 т рыхлых песчано-глинистых пород, подвергавшихся опробованию, исходя из следующих соотношений:

$$C = \frac{M m_2 C_m}{100 V m_1}; \quad C = \frac{M m_2 C_m}{100 \rho V m_1},$$

где  $M$  – масса всего шлиха, г;  $m_1$  – масса навески для анализа, г;  $m_2$  – масса фракции, содержащей анализируемый минерал, г;  $C_m$  – рассчитанное при количественном анализе содержание (массовая доля) определяемого минерала во фракции, %;  $V$  – исходный объем (для дробленых пород – масса) первоначальной пробы, поступившей в промывку на лотке, м<sup>3</sup> (г);  $\rho$  – плотность рыхлых пород, поступивших в промывку, кг/м<sup>3</sup>.

#### 4.5.3. Количественный анализ

Количественные минералогические анализы выполняются при исследовании разведочных, промышленных, товарных шлихов или тяжелых фракций дробленых пород, концентратов технологических проб и продуктов обогащения при изучении обогатимости россыпей и разработке схем обогащения проб. Для этого проводится весьма дробное фракционирование проб, тщательный рассев на узкие классы на стандартной колонне сит (см. раздел 3.2), многократное разделение магнитной части пробы на специальных электромагнитных (СИМ-1) и электрических (ЭС-1, ДСК-1) сепараторах, последовательное фракционирование немагнитной части в наборе тяжелых жидкостей. Этим достигается выделение малокомпонентных или мономинеральных фракций и создается возможность изучения распределения полезного компонента по различным фракциям и классам. Количественный анализ выполняется различными способами: весовым методом, подсчетом зерен изучаемого минерала в стандартном числе зерен фракции и статистически-весовым методом.

Весовой метод. В результате мономинерального фракционирования получают отдельную фракцию исследуемого минерала (или ряд его отдельных фракций по классам), доччищают ее под бинокулярным микроскопом и производят точное взвешивание на аналитических весах. Получив истинную массу минерала во фракции, пересчитывают ее на содержание во фракции (в процентах) и далее – в единицы массы (в граммах на 1 м<sup>3</sup> или на 1 т). Результаты полного количественного анализа выражают в виде дробей: в числителе указывают содержание (объемную долю) полезного компонента во фракции в процентах (при разделении первоначальной пробы на классы вычисляют суммарное содержание полезного компонента в шлихе, выражаемое также в процентах), а в знаменателе – его содержание в пересчете на единицы массы.

Подсчет зерен полезных компонентов в стандартном числе зерен фракции. Более точные данные по сравнению с ранее описанным мето-

дом подсчета зерен на стандартной площади можно получить, проводя подсчеты в заранее определенном количестве зерен минералов.

Большое влияние на точность анализа оказывает метод отбора средней пробы для анализа. Среднюю пробу можно извлечь квартованием, методом вычерпывания и дорожки. Для отбора средней пробы методом дорожки фракцию распределяют на стекле и через равные интервалы сметают кисточкой материал вверх и вниз от дорожки. Из выделенных двух частей фракций одну вновь сокращают аналогичным способом, повторяя подобную операцию несколько раз до получения средней пробы. Эту пробу распределяют на стекле в виде дорожки и отсчитывают заданное число зерен минералов (чаще 300–500 зерен), а затем в них определяют число зерен каждого минерала в отдельности. Далее вычисляют содержание минералов во фракции (в процентах) и их массу во фракции и полученные данные пересчитывают на содержание минералов в единицах массы в исходной пробе. Применяя метод подсчета в стандартном числе зерен фракции, условно допускают, что зерна разных минералов имеют равный объем.

Статистически-весовой метод был разработан Н.В. Ивановым (1963 г.). Он предусматривает подсчет числа зерен исследуемого минерала в средней пробе фракции. Применение этого метода требует выполнения двух условий: предварительной дробной и строгой классификации материала по крупности зерен и знания средней массы одного зерна каждого анализируемого минерала в каждом классе. Эта масса определяется предварительно перед началом количественного анализа данным методом, для чего отбирается и взвешивается большое число зерен заданного минерала из фракций по классам. Для обеспечения требований количественного минералогического анализа следует отобрать и взвесить 1000 зерен, что дает статистическую точность определения средней массы одного зерна 3,16 %. Массовое взвешивание отобранных зерен производится на аналитических весах с точностью до 0,0001 г или на микроаналитических весах с точностью до 0,00001 г.

Получив для ряда минералов данные о средней массе одного зерна, можно выполнять подсчеты, для чего фракция, которую необходимо анализировать, тщательно перемешивается и сокращается методом квартования или полного вычерпывания. Отделенная для количественного подсчета часть фракции, или средняя проба, распределяется в виде дорожки на стекле, и в ней подсчитывается число зерен каждого минерала. После окончания подсчета средняя проба взвешивается на аналитических весах. Масса каждого минерала в средней пробе  $P$  определяется по формуле

$$P = np,$$

где  $n$  — подсчитанное число зерен исследуемого минерала;  $p$  — средняя масса одного зерна для данного класса, г.

Среднее содержание  $C$  (массовая доля) анализируемого минерала во

фракции (в процентах) рассчитывается по формуле

$$C = 100 P/Q,$$

где  $Q$  — масса средней пробы, в которой производится подсчет, г.

Установив средние содержания заданного минерала во всех классах шлиха, можно определить содержание этого минерала во всем шлихе путем суммирования.

### ЧАСТЬ III.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ ШЛИХООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

В данной части учебного пособия приведены краткие характеристики главнейших минералов шлихов; основное внимание уделяется при этом описанию свойств минералов и приемов их диагностики. Минералы систематизированы по их магнитным свойствам, прозрачности и окраске, что позволяет легко сравнить между собой визуально близкие минералы. Типоморфные ассоциации шлихообразующих минералов указаны в табл. 6.

Т а б л и ц а 6  
Типоморфные ассоциации основных шлихообразующих минералов

Минералы	Формационные типы коренных источников	Шлихо-минералогические ассоциации
Алмаз	Перидотитовый, кимберлитовый	Хромшпинелиды, магноильменит, хромдиопсид, пироп, перовскит, платиноиды, магнетит, оливин
Берилл	Пегматитовый, альбитит-грейзеновый	Танталит, колумбит, турмалин, топаз, флюорит, сподумен, фенактит, хризоберилл
Вольфрамит	Грейзеновый	Касситерит, колумбит, берилл, молибденит, топаз, турмалин, флюорит апатит
Золото	Высокотемпературный гидротермальный	Касситерит, шеелит, золото, молибденит, арсенопирит, халькопирит, флюорит
	Гидротермальный жильный: высокотемпературный	Шеелит, арсенопирит, пирит, вольфрамит, молибденит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, висмутин
	среднетемпературный	Пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, антимонит, киноварь, сульфосоли серебра

Минералы	Формационные типы коренных источников	Шлихо-минералогические ассоциации
Золото	близповерхностный низкотемпературный	Теллуриды золота, сульфосоли серебра, аргентит, пирит, марказит, халькопирит, галенит, сфалерит
Касситерит	Пегматитовый	Колумбит, вольфрамит, берилл, топаз, турмалин, сподумен
	Касситерит-кварцевый	Вольфрамит, шеелит, колумбит, молибденит, берилл, турмалин, топаз, флюорит, арсенопирит, пирит, халькопирит
	Касситерит-сульфидный	Вольфрамит, молибденит, шеелит, станнин, арсенопирит, пирротин, пирит, галенит, сфалерит, турмалин, флюорит, гематит
Киноварь	Эпитермальный, телетермальный, вулканогенно-гидротермальный	Метациннабарит, антимонит, пирит, марказит, сфалерит, галенит, барит, флюорит, халцедон, карбонаты
Колумбит, танталит	Пегматитовый, апогранитовый, альбититовый, карбонатитовый	Фергусонит, лопарит, пирохлор, гатчеттолит, эвксенит, гадолинит, ортит, самарскит, касситерит, вольфрамит, уранинит, топаз, флюорит, берилл, турмалин, сподумен, монацит, циркон, апатит
Корунд, рубин, сапфир	Пегматитовый	Ортит, пирохлор, монацит, циркон, ильменит, гранат
	Метасоматический	Пирит, гематит, рутил, диаспор, андалузит
	Метаморфический	Пирит, шпинель, гранаты, рутил, гематит, андалузит, силлиманит, кианит
Ксенотим	Пегматитовый	Ортит, монацит, уранинит, циркон, апатит, гранаты
Монацит	Пегматитовый	Ортит, торит, тантало-ниобаты, ильменит, гранаты
	Грейзеновый, гидротермальный	Пирит, молибденит, торит, циркон, флюорит
	Метаморфический	Турмалин, флоренсит, пирит, рутил, апатит
Платиноиды	Габбро-пироксенит-дунитовый, перидотитовый	Магнетит, титаномагнетит, ильменит, осмистый иридий, хромшпинелиды, золото, хромдиоксид, шпинель, оливин, эпидот, гранат
Хромшпинелиды	Перидотитовый, габбро-норит-гарцбургитовый	Платиноиды, хромдиоксид, хромовые хлориты, уваровит, магнетит, оливин, серпентин
Шеелит	Скарновый	Пирротин, молибденит, золото, касситерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, сфалерит, магнетит, волластонит, диоксид, эпидот, гранаты

## МАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ ШЛИХОВ

Магнитная часть шлихов количественно доминирует над немагнитной. Магнитные свойства слагающих ее минералов сильно варьируют, поэтому обычно выделяют две основные их группы — ферро- и парамагнитных минералов. Сводный минеральный состав магнитных фракций шлиха приведен в табл. 7.

Следует подчеркнуть, что для некоторых минералов, указанных в этой таблице, характерны низкие значения величины магнитной восприимчивости, в силу чего они чаще входят в диамагнитную фракцию и соответственно описаны в группе диамагнитных минералов.

Таблица 7  
Минералы магнитных фракций шлихов

Свойства минералов		Минералы			
прозрачность	окраска	породообразующие и акцессорные	рудные	спутники	вторичные
Непрозрачные	Черная, железо-, смоляно-черная	—	Ильменит Магнетит Титаномагнетит Уранинит Хромит	Космогенное вещество	Пирролизит Псилометан
	Коричневая, коричнево-, буро-черная до черной	—	Колумбит Марматит Пиррохлор Пирротин Танталит Ферберит	—	—
	Буро-коричневая, вишневая, красно-бурая до охристой	—	Вольфрамит Колумбит Пирротин	—	Гематит Лимонит Мартит
Прозрачные и полупрозрачные	Черная, коричнево-, буро-, зелено-, красно-черная	Амфиболы Биотит Гранаты Пироксены	Касситерит Марматит Ортит Сфалерит Хром-шпинелиды	Турмалин Шпинель	—

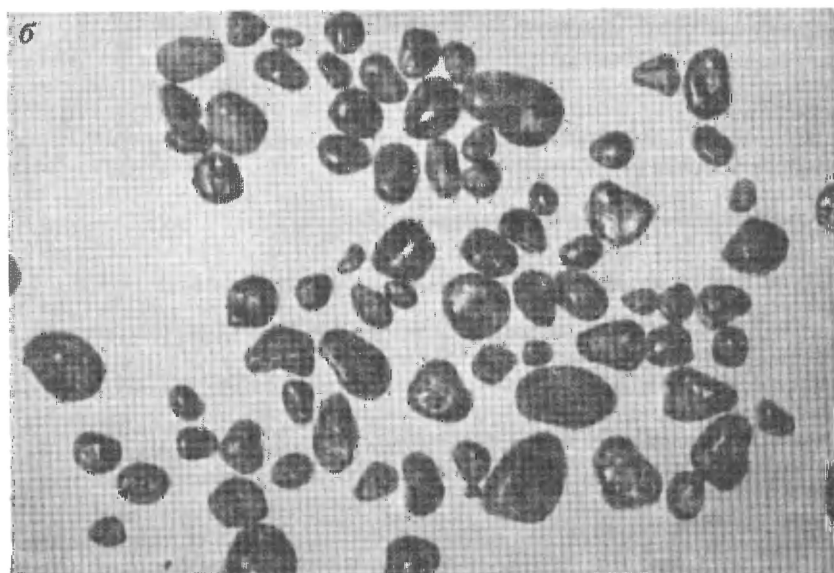
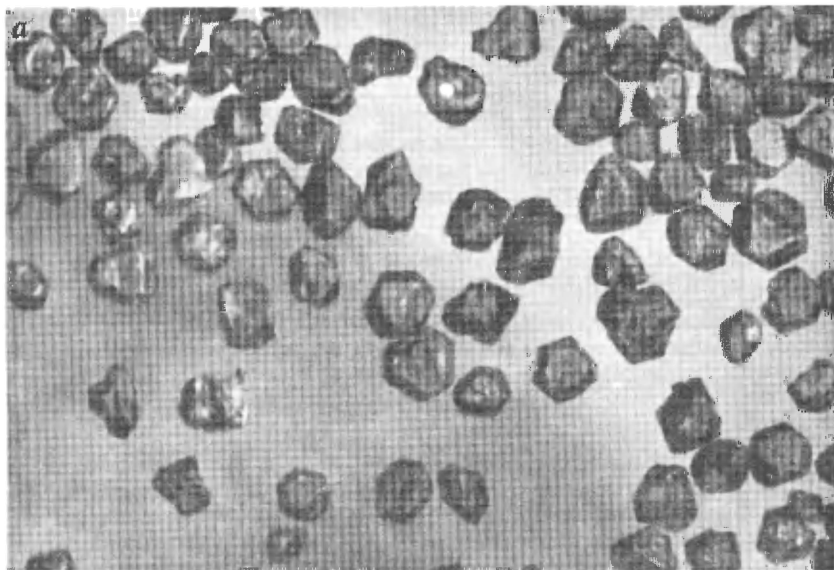
Свойства минералов		Минералы			
прозрачность	окраска	породообразующие и акцессорные	рудные	спутники	вторичные
Прозрачные и полупрозрачные	Темно-зеленая до черной, бутылочно-, грязно-, желто-зеленая до светло-зеленой	Амфиболы Гранаты Оливин Пироксены Хлорит Эпидот Везувиан	—	—	—
	Коричневая, буро-коричневая, желто-бурая, медово-желтая	Гранаты Ставролит Сфен	Гельвин Ксенотим Монацит Пиррохлор	—	—
	Розово-бурая, розовая до малиново-красной	Альмандин Андалузит Пироп	Касситерит Пиррохлор	Турмалин Шпинель	—

## 5.1. Непрозрачные магнитные минералы

### 5.1.1. Минералы черной, железно- и смоляно-черной окраски

**Ильменит** (Fe, Mg)  $TiO_2$ . Содержит 36,8 % Fe, 31,6 % Ti, изоморфно входят Mg (пикроильменит) и Mn. Сингония тригональная; кристаллы голстоблитчатые псевдогексагональные (рис. 17,а). Цвет смоляно-, железно-черный. Черта черная, у окисленных разностей — коричневаточерная. Блеск сильный, смолистый, полуметаллический. Твердость — 5 — 6; хрупок. Спайность не наблюдается. Излом неровный, раковистый. Плотность  $4,5 \cdot 10^3$  —  $5,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнетик, некоторые разности ферромагнитны; проводник электричества. В кислотах нерастворим; переводится в раствор путем сплавления с  $KHSO_4$  или  $K_2S_2O_7$ . После прокаливании приобретает ферромагнитные свойства.

В шлихах ильменит распространен довольно широко; содержания его возрастают в районах развития габброидов и щелочных пегматитов. Для алмазоносных районов типоморфен микроильменит. В гипергенных условиях устойчив, переносится поверхностными потоками на значительное расстояние от коренных источников и при этом хорошо окатывается (см. рис. 17,б). Накапливается в россыпях. Уплощенные окатан-



**Рис. 17. Ильменит:**

**а** — псевдогексагональные зерна в "рубашке" лейкоксена, **б** — сильно окатанные зерна

ные зерна имеют округло-угловатую форму, сглаженную поверхность; кристаллы сохраняются редко. При длительной транспортировке и активном химическом преобразовании зерна ильменита покрываются налетами или сплошными рубашками лейкоксена (см. рис. 17,а), поверхность их ступенчатая, ямчатая. В прибрежно-морских россыпях зерна ильменита округлые, овальные, яйцевидные, дискоидальные. Ассоциирует с цирконом, рутилом, лейкоксомом, брукситом, гематитом, монацитом, хромшпинелидами, реже — с алмазом, корундом, шпинелью.

Диагностируется в шлихах по смоляно-черному цвету, яркому смолисту блеску, черной черте. Типичны изометричные, угловатые или окатанные зерна, а также таблитчатые кристаллы псевдогексагонального облика. Дает микрохимическую реакцию на титан.

Уранинит  $U_{1-x}^{4+} U_x^{6+} O_{2+x}$  ( $x \leq 0,38$ ). Состав уранинита сложен; характерны примеси Th, TR, Zr, радиогенных Pb и He; присутствует адсорбированная вода. Сингония кубическая, кристаллы имеют форму несовершенных кубов с неровными, ступенчатыми гранями. Цвет черный, буровато-черный, на изломе — смоляно-черный. Черта черная, буровато-черная. Непрозрачен, в тонких осколках просвечивает красно-бурый. Блеск смолистый. Твердость колеблется от 6–7 до 4 у сильно разложенных разностей; хрупок, раздавливается легко. Спайность не выражена. Излом неровный. Плотность  $10,3 \cdot 10^3 - 10,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнитен; сильно радиоактивен. Растворяется в концентрированных кислотах (легче растворимы окисленные разности). Дает микрохимическую реакцию на уран. Окраска солянокислого раствора зеленоватая, меняющаяся на ярко-желтую при прибавлении аммиака. Неплавок. После сплавления с бурой или NaF образует перл, ярко люминесцирующий в ультрафиолетовом свете изумрудно-зеленым (фосфорическим) цветом. Генетически связан с магматическими породами гранитоидного ряда, пегматитами, грейзенами, гидротермальными жилами.

В шлихах уранинит редок, но находки его имеют большое практическое значение. Иногда сохраняются кубические кристаллы или их обломки. Чаще это неправильные, слабо окатанные обломки зерен, покрытых бурыми или оранжевыми пленками вторичных продуктов (гумит). При дальнейшей транспортировке быстро разрушается.

Диагностика достаточно трудна: отличается непрозрачностью, густой черной чертой, просвечиванием в тонких осколках. Надежно определяется по реакции на уран и образованию люминесцирующего перла после сплавления. Для выявления в шлихах уранинита широко применяются измерение радиоактивности.

Группа шпинелидов. Эта группа включает большое количество минеральных видов, которые подразделяются на три подгруппы — алюмо-, хром- и ферришпинелиды. Ферри- и хромшпинелиды представлены темноокрашенными непрозрачными минералами, обладают ярко выраженными магнитными свойствами и входят в ферро- или парамагнитную фракции. Алюмошпинелиды чаще прозрачны, ярко окрашены и выделяются в диамагнитную фракцию, где они и будут охарактеризованы. Оста-



Рис. 18. Магнетит — октаэдрические кристаллы с корродированной поверхностью

новимся на характеристике наиболее распространенных минералов группы шпинелидов.

Магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ . Магнетит является ведущим минералом подгруппы ферришпинелидов. Содержит 31 %  $\text{FeO}$ , 69,0 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; обычные примеси  $\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Mg}$ . Разновидность, богатая титаном, называется титаноммагнетитом; он образуется в результате распада твердого раствора, устойчивого при высоких температурах, в результате чего возникают две минеральные фазы: тонкие пластинчатые выделения ильменита в магнетите; менее магнетитен и дает микрохимическую реакцию на титан. Сингония кубическая; кристаллы имеют форму октаэдров (рис. 18), реже — ромбододекаэдров; на гранях наблюдается штриховка и скульптуры роста. Цвет железно-черный. Черта черная, у окисленных разновидностей — буровато-черная до вишнево-красной. Непрозрачен. Блеск металлический, у окисленных разновидностей — матовый. Твердость — 5,5–6,5; хрупок. Спайностью не обладает. Излом неровный. Плотность  $4,5 \cdot 10^3$  —  $5,3 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$ . Ферромагнетит, полупроводник. В кислотах легче растворяется при нагревании и дает микрохимическую реакцию на  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Неплавок.

В шлихах магнетит встречается практически повсеместно, так как его коренные источники разнообразны; повышенные количества магнетита связаны с областями распространения габброидов, карбонатитов, скарнов, железистых кварцитов. Ассоциирует с ильменитом, хромитом, гранатом,

пироксенами, эпидотом. Обычно зерна магнетита в шлихах неправильные, имеют неровный излом, поверхность их неровная, бугристая, шероховатая. Часто сохраняются октаэдрические кристаллы с несовершенными гранями, несущими штриховку, скульптуру и следы коррозии. При транспортировке хорошо окатывается, покрывается пленками мартита, очень редко — гидроксидов железа.

Определяется легко по сильной магнитности, обуславливающей слипание зерен в агрегаты, цепочки, а также по форме кристаллов, цвету и черте. Диагностика проверяется по микрохимической реакции на  $Fe^{2+}$ . От ильменита отличается большей магнитностью, менее ярким блеском, коричневатыми оттенками черты.

Хромит (Mg, Fe)  $Cr_2O_4$ . Хромит является основным представителем подгруппы хромшпинелидов. Состав (в %): MgO — 9,69; FeO — 17,26;  $Cr_2O_3$  — 73,05; изоморфно входят примеси Ti, V, Mn, Zn, Ni, Co, Ca. Сингония кубическая, характерны хорошо ограненные октаэдрические кристаллы. Цвет смоляно-, буро-черный. Черта коричнево-, светло-бурая. Непрозрачен, но в тонких осколках просвечивает бурым, красновато-бурым цветом. Твердость — 5,5–6,5; хрупкий, при раздавливании образуются остроугольные осколки с раковистым изломом. Спайность отсутствует. Плотность  $3,5 \cdot 10^3$  —  $5,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнетик, полупроводник. Нерастворим в кислотах; после сплавления с перекисью натрия дает микрохимическую реакцию на хром. Сплав с бурой окрашивается в зеленый цвет. При прокаливании становится магнитным.

В шлихах хромит встречается главным образом в районах развития пород габбро-перидотитовой формации. Повышенные количества хромита в шлихах представляют интерес при поисках его коренных месторождений. Ассоциирует с пироксенами, оливином, магнетитом, серпентином. В шлихах, содержащих хромит, возможны находки платиноидов. Транспортируются на большие расстояния от коренных источников, при этом окатываются незначительно. Зерна хромита в шлихах неправильные, округлые, кристаллы также несут следы окатывания. Хромит химически устойчив, благодаря чему зерна его чистые, лишены налетов и "рубашек" вторичных продуктов; поверхность их гладкая, блестящая, со следами коррозии.

Диагностика хромита сложна, так как внешне он близок к ильмениту и трудно различим среди массы темных силикатов. Определяется по черному цвету, яркому смолистому блеску, просвечиванию в тонких осколках, коричневато-бурой черте. Надежно отличается от похожих минералов по микрохимической реакции на хром.

## *1.2. Минералы коричневой, коричневатой, буро-черной до черной окраски*

Группа вольфрамит (Mn, Fe)  $WO_4$ . Минералы группы вольфрамитов образуют изоморфный ряд от ферберита  $FeWO_4$  через собственно вольфрамит (Mn, Fe)  $WO_4$  до гюбнерита  $MnWO_4$ . Вольфрамиты содержат раз-

нообразные примеси – Ta, Nb, Sn, Sc, Ti, TR и др. Сингония моноклиная; кристаллы толстотаблитчатые, уплощенно-призматические, по удлинению штрихованные. Окраска меняется в зависимости от состава: ферберит окрашен в темно-коричневые до железно-черных цвета, гюбнерит значительно более светлый – бурый до светло-бурого. Черта от красновато-коричневой до желто-бурой. Блеск полуметаллический. Твердость – 4,5–5,5; хрупкие, при раздавливании образуются пластинчатые осколки, в которых наблюдаются буро-красные внутренние рефлексии. Спайность совершенная по (100) и (102). Излом ступенчатый. Плотность  $6,7 \cdot 10^3$  –  $7,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минералы парамагнитные с сильной изменчивостью величины магнитной восприимчивости; некоторые разности могут быть ферромагнитными. Хорошие проводники электричества. Сплавляются в черный магнитный шарик. В кислотах растворяются с трудом. Переводятся в раствор после сплавления со смесью соды и селитры, дают микрохимическую реакцию на вольфрам. После сплавления с CaCl<sub>2</sub> на поверхности зерен возникает пленка, люминесцирующая голубым цветом в ультрафиолетовых лучах. Генетические минералы группы вольфрамита связаны с гранитоидной магмой и типичны для грейзенов и высокотемпературных гидротермальных жил, несущих редкометальное оруденение. Благодаря невысокой абразивной прочности малоустойчивы при транспортировке, поэтому образуют локальные аномалии вблизи коренных источников, где могут формироваться не крупные россыпи. Являются одним из основных источников вольфрама.

В шлихах зерна минералов группы вольфрамита обычно таблитчатые, угловатые или слабо окатанные; поверхность их матовая, неровная, с механическими дефектами. Часто отмечаются грязно-желтые пленки вторичных продуктов. Ассоциируют с топазом, турмалином, бериллом, касситеритом, флюоритом, колумбитом и различными сульфидами.

Выявляются в шлихах по таблитчатой форме зерен, хорошо проявленной спайности, наличию внутренних рефлексии, густой буро-коричневой черте. Диагностика проверяется по микрохимической реакции на вольфрам и люминесценции в ультрафиолетовых лучах после сплавления зерен с CaCl<sub>2</sub>.

**Группа колумбита-танталита** (Fe, Mn) (Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Минералы этой группы представлены изоморфным рядом от колумбита (Fe, Mn) (Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> до танталита (Mn, Fe) (Ta, Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Содержание Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> достигает 78 %, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 85,15 %. Присутствуют примеси Ti, Mg, Sn, W, Ca, TR. Сингония ромбическая, кристаллы таблитчатые, короткостолбчатые; на гранях видна грубая вертикальная штриховка; образуют двойники с перистой штриховкой. Цвет железно-черный, темно-коричневый до светло-бурого. Черта от черной и коричневой до светло-бурой. Непрозрачны, но в тонких осколках обнаруживают красновато-бурые внутренние рефлексии. Блеск металлоидный. Твердость – 5–7,5, увеличивается для танталовых разностей. Минералы хрупкие, рассыпаются при раздавливании на угловато-пластинчатые осколки с неровным, зернистым изломом. Спайность ясная по (010), менее отчетливая у танталита. Плотность  $5,15 \cdot 10^3$  –  $8,2 \cdot$

$\cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минералы парамагнитные, полупроводники. Урансодержащие разности радиоактивны. Неплавки, в кислотах нерастворимы. Переводятся в раствор сплавлением с  $K_2S_2O_7$  или  $KHSO_4$ . Дают отчетливую пленочную реакцию на ниобий и тантал с таннином. В иммерсионных препаратах непрозрачны; некоторые разности (мангантанталит) просвечивают и пленочнируют в красно-бурых тонах, по отношению к спайности у них наблюдается прямое погасание. Показатели преломления высокие:  $n_g = 2,34-2,48$ ;  $n_m = 2,28-2,45$ ;  $n_p = 2,10-2,33$ ;  $n_g - n_p = 0,15-0,24$ .

Удлинение положительное. Минералы двусосные положительные (танталит) и отрицательные (колумбит). Коренные источники минералов группы колумбита-танталита связаны с редкометальными апогранитами и гранитными пегматитами. Являются основными источниками Nb и Ta.

В шлихах минералы группы танталита-колумбита встречаются редко и диагностируются с трудом. Зерна их удлиненные, уплощенные, неправильные, часто со следами окатывания, так как могут далеко транспортироваться от коренных источников.

Поверхность зерен матовая, со ступенчатой скульптурой, иногда покрыта желто-коричневыми пленками вторичных образований. Сопрождаются топазом, касситеритом, флюоритом, турмалином, иногда польфрамитом и шеелитом.

Диагностическими признаками являются таблитчатая форма зерен, хорошая спайность, внутренние рефлексы, довольно светлая черта. Точно определяется по оптическим константам и микрохимическим реакциям на Nb или Ta.

### *1.3. Минералы буро-коричневой, вишневой, красно-бурой до охристо-желтой окраски*

Гематит  $Fe_2O_3$ . Состав отвечает формуле, редко присутствуют примеси Ti и Mg. Разновидность колломорфного сложения, обогащенную водой, выделению под названием гидрогематита. Сингония тригональная, кристаллы пластинчатые, встречаются редко; чаще это плотные, землистые образования. Цвет от железно-черного до коричнево- или вишнево-бурого. Черта вишнево-красная, густая, бархатистая. Блеск от металлического до матового. Непрозрачен, но в тонких пластинках по краям просвечивает кроваво-красным цветом. Твердость от 3,5 до 5,5–6,5; хрупок, раздавливается легко. Спайностью не обладает. Излом неровный. Плотность  $4,9 \times 10^3 - 5,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнитен, полупроводник. Растворяется при нагревании в HCl, раствор окрашивается в зелено-желтый цвет и в нем микрохимически определяется  $Fe^{3+}$ . После прокаливания гематит темнеет и становится магнитным.

В иммерсионном препарате при сильной подсветке обнаруживает буро-красный плеохроизм, очень высокие показатели преломления и двупреломление:  $n_o = 3,01-3,22$ ;  $n_e = 2,74-2,94$ ;  $n_o - n_e = 0,18-0,28$ . Минерал одноосный, отрицательный.

В шлихах гематит встречается часто, так как он относится к полигенным образованиям. Зерна его угловаты, неправильны, часто наблюдаются зернистые агрегаты, оолитовые стяжения. Поверхность матовая или гладкая, глянцевая; в случаях гидратации покрывается бурыми пленками. Нередко гематит образует псевдоморфозы по магнетиту (мартит) или пириту.

Диагностируется по вишнево-красной черте, агрегатному состоянию, просвечиванию в тонких краях осколков зерен и микрохимической реакции на  $Fe^{3+}$ .

**Группа гидроксидов железа.** В эту группу объединяются минералы переменного состава, содержащие конституционную или адсорбированную воду и связанные взаимными переходами. Природные скопления гидроксидов железа представляют собой смеси гетита, гидрогетита, лепидокроктита и гидролепидокроктита; присутствуют механические примеси минералов кремнезема и глинистого вещества. В минералогической практике такие образования носят обобщенное название лимонитов; им приписывается общая формула  $FeO(OH) \cdot nH_2O$ . Характерны разнообразные примеси — Cu, Pb, Mn, Co, Ni и др. Сингония ромбическая, кристаллы не встречаются; обычны сплошные землистые массы и колломорфные выделения. Цвет минералов и черты темно-бурый, охристо-желтый. Непрозрачны, но при сильной подсветке просвечивают буроватыми цветами. Блеск матовый, иногда шелкоистый. Твердость от 2 до 5; раздавливаются легко, рассыпаясь в порошокватый агрегат. Спайности нет. Плотность  $2,7 \cdot 10^2 - 4,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минералы парамагнитные с переменным значением величины магнитной восприимчивости. Полупроводники. В катодных лучах обнаруживают темно-красную люминесценцию. Оптически анизотропны, двуосны, отрицательны. Показатели преломления и двупреломление высокие:  $n_g = 2,40$ ;  $n_m = 3,39$ ;  $n_p = 2,26$ ;  $n_g - n_p = 0,14$ . При прокаливании минералы группы лимонита краснеют, теряют воду, становятся магнитными. Хорошо растворяются в HCl — раствор окрашивается в зеленовато-желтый цвет, в нем микрохимически определяется  $Fe^{3+}$ . Это типичные гипергенные образования, возникающие в различных геологических условиях, что предопределяет их повсеместное распространение.

В шлихах минералы группы гидроксидов железа встречаются в плотных мелкозернистых агрегатах, охристых комковидных, а также оолито-подобных, почковидных и натечных выделениях. Часто образуют псевдо-

морфозы по пириту, магнетиту и марказиту. Поверхность зерен землистая, иногда — блестящая, гладкая.

Диагностируются по яркому рыжевато-бурому или коричневому цвету, густой охристой черте, землистым или натечным агрегатам, характерному поведению при прокаливании, микрохимической реакции на железо.

## 6.2. Прозрачные и полупрозрачные магнитные минералы

### 6.2.1. Минералы темно-зеленой до черной, бутылочно-, буро-, грязно-, желто-зеленой окраски

**Группа амфиболов.** В группу амфиболов входят силикаты и алюмосиликаты Ca, Na, Mg, Fe; они разделяются на два ряда — моноклинные и ромбические амфиболы. В шлихах наиболее обычны моноклинные амфиболы, типичными представителями которых являются роговая обманка, актинолит и тремолит. Остальные минералы группы амфиболов встречаются в шлихах значительно реже. Выделения амфиболов коротко- и длинно-призматические (рис. 19), столбчатые, игольчатые, волокнистые. Хорошо сформированные призматические кристаллы редки. Цвет варьирует от темно-зеленого (почти черного) через бутылочно-зеленый до светло-зеленого (почти бесцветного). Черта светлая, сероватая или зеленоватая. Минералы прозрачные, но темноокрашенные разности просвечивают лишь в мелких осколках зерен. Блеск стеклянный, у волокнистых разностей — шелковистый. Твердость — 5,5–6; минералы хрупкие, при раздавливании обнаруживают совершенную спайность по (110) под углом  $120^\circ$ ; на плоскостях спайности хорошо видна штриховка. Плотность  $2,9 \cdot 10^3$  —  $1,46 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минералы парамагнитные со значительными вариациями величины магнитной восприимчивости.

**Диэлектрики.** В некоторых случаях тремолит и актинолит обнаруживают желто-красную люминесценцию, наблюдаемую более отчетливо в катодных лучах. В иммерсионных препаратах обломки зерен амфиболов удлинённые, часто игольчатые, окрашены в зеленые тона. Отчетливо проявляется плеохроизм в желто-зеленых тонах. Углы погасания от  $0^\circ$  у ромбических амфиболов до  $20^\circ$  у моноклинных (табл. 8).

Минералы двуосные, отрицательные с большими углами оптических осей. В кислотах разлагаются с трудом. При прокаливании сплавляются в черно-бурое или грязно-зеленое стекло, обладающее слабыми магнитными свойствами.

В шлихах амфиболы встречаются практически повсеместно и вместе с пироксенами преобладают в составе парамагнитной фракции. Ши-

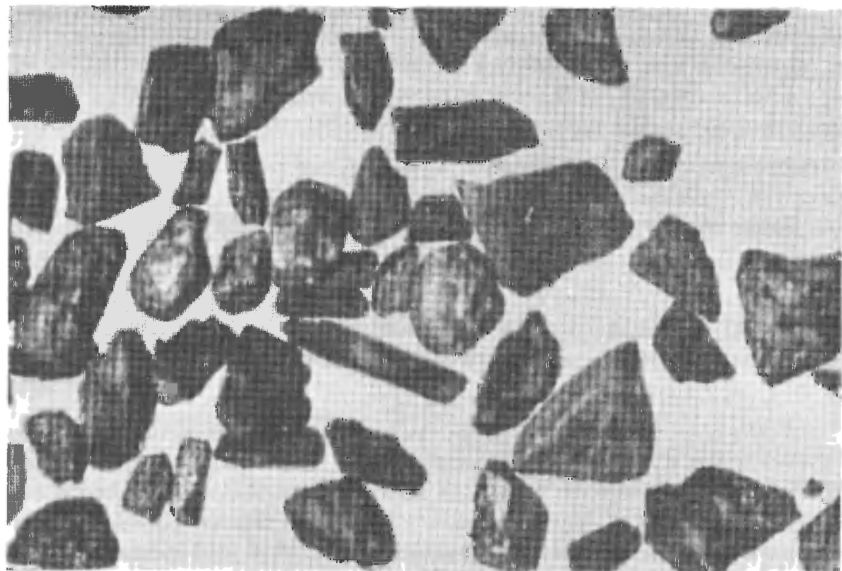


Рис. 19. Амфибол — удлиненно-призматические слабо окатанные зерна

Т а б л и ц а 8

Основные оптические константы амфиболов, пироксенов, эпидота

Минерал	Показатели преломления			Двупреломление $n_g - n_p$
	$n_g$	$n_m$	$n_p$	
	<i>Группа</i>			
Антофиллит	1,623—1,698	1,616—1,651	1,605—1,668	0,025—0,017
Тремолит	1,652—1,641	1,613—1,633	1,599—1,617	0,025—0,027
Актинолит	1,659—1,677	1,625—1,680	1,638—1,659	0,019—0,021
Обыкновенная роговая об- манка	1,644—1,700	1,647—1,698	1,634—1,680	0,018—0,021
	<i>Группа</i>			
Энстатит	1,658—1,780	1,653—1,674	1,652—1,668	0,007—0,09
Гиперстен	1,692—1,768	1,687—1,760	1,680—1,750	0,010—0,018
Диопсид	1,694—1,709	1,671—1,686	1,665—1,680	0,029—0,030
Геденбаргит	1,738—1,752	1,719—1,735	1,711—1,726	0,026—0,027
	<i>Группа</i>			
Эпидот	1,734—1,797	1,725—1,784	1,715—1,751	0,015—0,049
Ортит	1,706—1,828	1,700—1,815	1,690—1,791	0,013—0,036

рокая распространенность амфиболов в шлихах связана с многообразием их коренных источников: амфиболы являются основными породообразующими минералами магматических, метаморфических и осадочных пород. Зерна амфиболов в шлихах обычно угловаты, плохо окатаны; при значительной транспортировке от коренного источника они становятся трещиноватыми, покрываются пленками вторичных продуктов, придающих им серовато-бурый оттенок. По внешнему виду амфиболы сходны с силикатами и алюмосиликатами Ca, Mg, Fe, а наиболее железистые, черные разновидности (например, роговая обманка) трудно отличимы даже от ильменита. Диагностическими признаками могут быть удлиненно-призматическая форма зерен с занозистыми концами и совершенная спайность, благодаря чему при раздавливании образуются игольчатые обломки грязно-зеленого цвета. Надежно определяются амфиболы по оптическим константам.

Группа оливина. Минералы группы оливина имеют общую формулу  $A_2 [SiO_4]$ , где основными катионами  $A$  являются Fe и Mg. Содержание FeO до 20 %, MgO до 50 %; характерны примеси Mn, Ni, Co, Cr, Ti, V. В эту группу входят форстерит  $Mg_2 [SiO_4]$ , собственно оливин и фаялит  $Fe_2 [SiO_4]$ . Сингония ромбическая; кристаллы встречаются редко, обладают короткостолбчатым уплощенным обликом; обычны зернистые агрегаты. Окраска от бледной зеленовато-желтой через буро-зеленую до олив-

Угол погасания $C: Nq$ , градусы	Знак удлинения	Плеохроизм	Оптический знак	Угол оптических осей $2V$ , градусы
<i>амфиболов</i>				
0	+	Очень слабый светло-зеленый до бурого	+	-65; +58
III, 20	+	Бесцветный до светло-желтого		80-85
III, 15	+	Светло-зеленый до желтовато-зеленого	-	76-82
III, 20	+	Сине-зеленый до зелено-бурого	-	62-88
<i>траксов</i>				
0	+	Слабый	+	+ (55-88); -80
0	+	Светло-желто-зеленый	-	От -50 до -70
III, 40	+	Слабый желто-зеленый	+	58-60
III, 48	-	Отчетливый желто-зеленый	-	60-62
<i>шодолит</i>				
0	+	Желто-зеленый	-	64-90
III (C: $Np$ , C: 40)	-	Буро-зелено-желтый	+	От -40 до -90

ково-зеленой и почти черной. Черта бесцветная, сероватая. Блеск стеклянный, жирный. Твердость — 6–7; минералы хрупкие, но раздавливаются при усилии. Спайность средняя по (011). Излом ступенчатый, неровный, раковистый. Плотность  $3,0 \cdot 10^3 - 3,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минералы парамагнитные; величина магнитной восприимчивости сильно меняется. Полупроводники. Не люминесцируют. В иммерсионных препаратах слабо флуоресцируют в зеленовато-желтых тонах. Показатели преломления и двупреломление высокие:  $n_g = 1,670-1,861$ ;  $n_m = 1,652-1,851$ ;  $n_p = 1,636-1,813$ ;  $n_g - n_p = 0,035-0,051$ . Минералы двусосные, с переменным оптическим знаком и углом оптических осей:  $2V$  изменяется от + (80–88) до – (47–85)°. При длительном кипячении в HCl выделяется гель кремнезема. При длительном прокаливании сплавляются в грязно-зеленое стекло, а железистые разности — в черный магнитный шарик.

В шлихах минералы группы оливина встречаются относительно редко и преимущественно в районах развития гипербазитов, к которым нередко приурочены проявления хромитов и платиноидов. Отмечаются также в связи с базальтами и траппами. В районах распространения базальтов в шлихах могут быть обнаружены красивые золотисто-зеленые разности "чистой воды", называемые хризолитами и являющиеся ювелирным камнем. Минералы ассоциируют с хромшпинелидами, платиноидами, а также с гранатами, гидроксидами Fe, амфиболами. Зерна их неустойчивы и обычно трещиноваты, замутнены, несут следы коррозии; по трещинам или на их поверхности наблюдаются выделения вторичных минералов (серпентин, хлорит, лимонит). Форма зерен таблитчатая, угловатая, неправильная. Оливины отмечаются в шлихах вблизи коренных источников и при дальнейшей транспортировке растрескиваются, измельчаются и рассеиваются.

Диагностика минералов группы оливина трудна, так как внешне они близки к эпидоту, диопсиду и другим силикатам. Отличительными признаками являются загрязненность зерен, их трещиноватость, ожелезненность, неровная изъеденная поверхность. Надежно определяются по оптическим свойствам.

**Группа пироксенов.** В эту группу входят силикаты и алюмосиликаты Ca, Mg, Fe, Na, среди которых различают ромбические и моноклинные пироксены. Из их числа в шлихах наиболее обычны гиперстен  $Fe_2 [Si_2O_6]$ , диопсид  $CaMg [Si_2O_6]$  и геденбергит  $CaFe [Si_2O_6]$ . Примеси в пироксенах разнообразны и по преобладанию тех или иных выделяют разновидности минералов. Кристаллы пироксенов призматические (рис. 20), короткостолбчатые, реже игольчатые; на гранях кристаллов различима штриховка. Агрегаты имеют преимущественно зернистое сложение. Окраска изменчива — от светло-, бутылочно-, буро-зеленой до темно-зеленой, почти черной. Минералы прозрачные, но темноокрашенные разности просвечивают лишь в тонких осколках. Блеск стеклянный, на изломе — жирный. Твердость — 5–7; хрупки, при раздавливании рассыпаются на угловатые, неправильные осколки. Спайность совершенная по (110); угол между плоскостями спайности 87°. Излом неровный. Плотность  $3,0 \cdot 10^3 - 3,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Пироксены парамагнитны, являются полупроводниками.

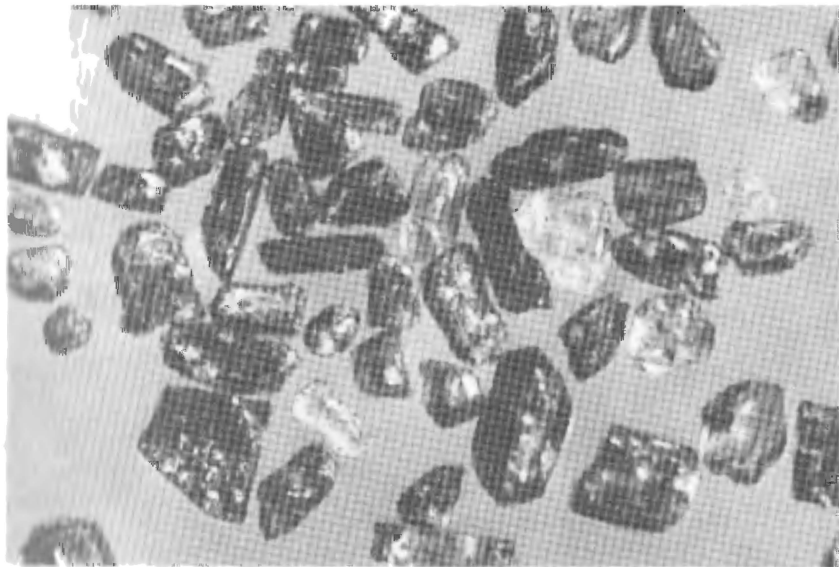
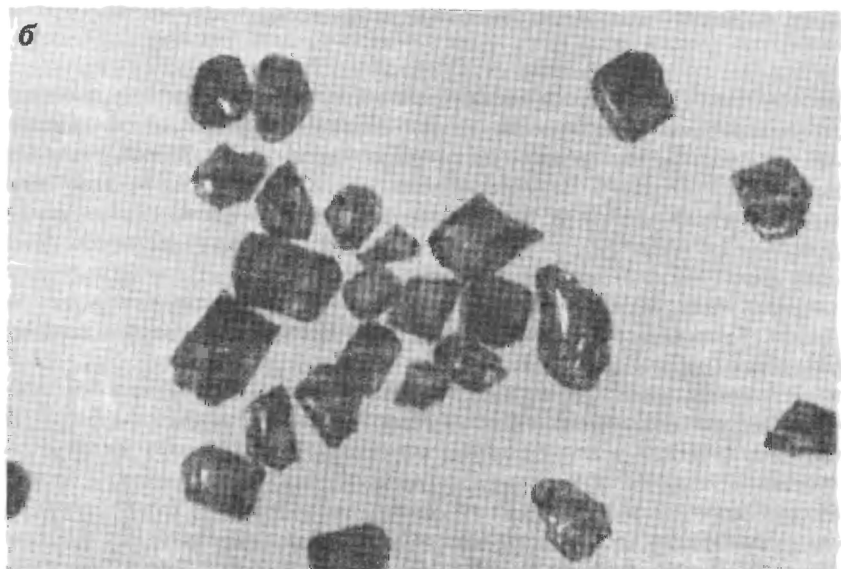
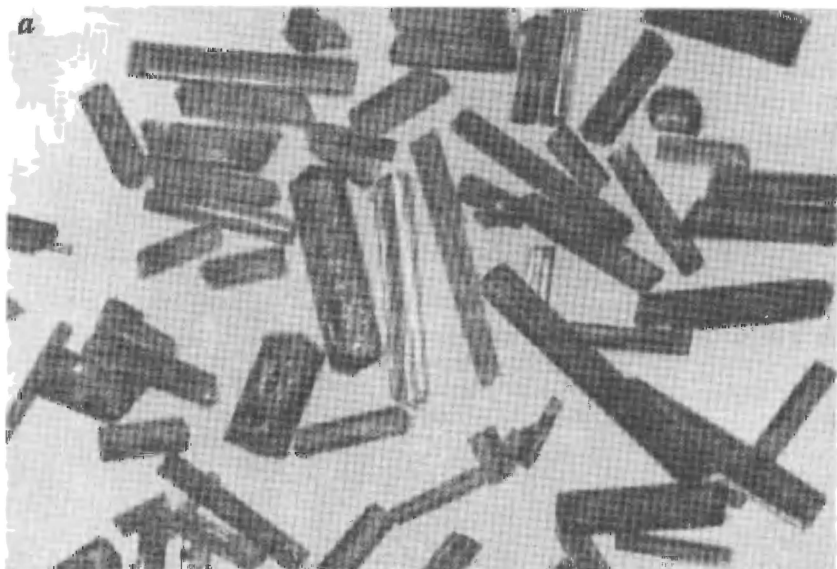


Рис. 20. Пироксен — призматические окатанные кристаллы

Способностью к люминесценции не обладают за исключением диопсида, для которого в катодных лучах наблюдается желто-красное свечение. В иммерсионных препаратах на осколках зерен наблюдается спайность, отмечается плеохроизм в желто-зелено-бурых тонах. Углы погасания моноклинических пироксенов  $20-55^\circ$ , знак удлинения переменный, показатели преломления довольно высокие, двупреломление также высокое. Минералы двуосные с переменным оптическим знаком и углами оптических осей (см. табл. 8). Пироксены не растворимы в кислотах и плохо сплавляются. Гиперстен при длительном прокаливании сплавляется в черный магнитный шарик.

В шлихах пироксены встречаются часто, так как являются породообразующими минералами многих магматических и метаморфических пород. Для хромито- и алмазоносных районов характерна разновидность пироксена, обогащенная хромом — хромдиопсид. В гипергенных условиях пироксенам свойственна малая устойчивость; в процессе транспортировки они окатываются, истираются, растрескиваются и подвергаются вторичным изменениям, замещаясь гидрохлоритом, нонктронитом, гидроксидами железа. В силу меньшей абразивной устойчивости распространены менее широко, чем амфиболы. В шлихах часто сохраняются призматические туловачиные кристаллы пироксенов со следами окатывания, нередко покрытые железистыми "рубашками". Зерна пироксенов удлиненные, перфорационные, со следами коррозии на поверхности, трещиноватые и ожелезненные. Цвет их чаще бутылочно-зеленый, реже — желтовато- или серовато-зеленый и даже почти бесцветный; хромдиопсид имеет ярко-зеленую



**Рис. 21. Турмалин:**

**а — тонкопризматические кристаллы, б — неокатанные обломки зерен**

окраску. При раздавливании зерен пироксенов образуются угловато-прямоугольные, неправильно-угловатые обломки, что легко отличает их от амфиболов.

Точная диагностика пироксенов и определение их минеральных видов производятся по оптическим константам.

**Группа турмалина.** Минералы группы турмалина представляют собой полиборосиликаты переменного состава, являющиеся твердыми растворами главным образом трех минеральных видов — дравита, шерла и эльзита. Наиболее широко распространены магниезильно-железистые турмалины, относящиеся к изоморфному ряду, конечными членами которого служат дравит  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{OH}, \text{F})_{3+1}[\text{Si}_6\text{O}_{18}][\text{BO}_3]_3$  и шерл  $\text{NaFe}_3\text{Al}_6 \times (\text{OH}, \text{F})_{3+1}[\text{Si}_6\text{O}_{18}][\text{BO}_3]_3$ . Сингония тригональная, кристаллы столбчатые, удлиненно-призматические до шестоватых, игольчатых (рис. 21, а); характерна грубая вертикальная штриховка. Окраска сильно варьирует, часто зональная, неоднородная: шерлы черно-бурые, дравиты — коричневого желтые, зеленовато-бурые. Турмалинам свойствен дихроизм — изменение в обычном свете интенсивности окраски при поворачивании зерна или под бинокулярным микроскопом на  $90^\circ$ . Черты не дают. Минералы прозрачные или просвечивающие. Блеск яркий, стеклянный. Твердость — 7–7,5; хрупки, но раздавливаются при большом усилии. Спайностью не обладают. Излом неровный, раковистый. Плотность  $2,9 \cdot 10^3$  —  $3,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Турмалины парамагнитны; величина магнитной восприимчивости непостоянна. Минералы являются диэлектриками; диэлектрическая проницаемость — 6,42–8,84. Обладают пиро- и пьезоэлектрическими свойствами. В иммерсионных препаратах дают угловатые, неправильные, несколько удлиненные осколки; окраска их от бесцветной до желто-зеленой или бурой; резко проявлен плеохроизм с обратной схемой абсорбции ( $N_{11} < N_{12}$ ). Показатели преломления довольно высокие, ( $n_o = 1,630$ – $1,690$ ;  $n_e = 1,607$ – $1,650$ ), двупреломление среднее ( $n_o - n_e = 0,017$ – $0,046$ ). Погасание прямое, удлинение отрицательное. Минералы одноосные, отрицательные. В кислотах нерастворимы. Железисто-магниезильные турмалины при прокаливании сплавляются в пузыристое стекло. После сплавления с  $\text{KHSO}_4$  и  $\text{CaF}_2$  и повторного прокаливания окрашивают виллами в зеленый цвет. Дают микрохимическую реакцию на бор. Возникают в различных геологических условиях. В ряде случаев типоморфны для определенных рудных формаций. Шерл сопровождает олово-, золоторудное, тантал-ниобиевое, свинцово-цинковое оруденение. Полихромные турмалины типичны для редкометалльных литиевых гранитных пегматитов. Дравиты характерны для скарнов.

В шлихах турмалины встречаются довольно часто в силу разнообразия их коренных источников, а в перспективных рудных районах нередко составляют существенную часть шлихов. Турмалины устойчивы в гипертермических условиях, благодаря чему зерна их в шлихах неправильные, угловатые, почти неокатанные (см. рис. 21, б). Обладают высокой хрупкостью, не выдерживают длительной транспортировки от коренных источников. Наблюдаются слабо окатанные кристаллы со скругленными поверхностями и хорошо окатанные, эллипсоидальные зерна с гладкой бле-

стящей поверхностью, которые чаще связаны с прибрежно-морскими отложениями. Ассоциируют в шлихах с золотом, касситеритом, вольфрамитом, флюоритом, сульфидами. От близких по облику минералов отличаются высокой твердостью, отсутствием спайности, формой зерен, ярким блеском и дихроизмом.

Диагностируется по призматическим кристаллам со сферическим треугольником в поперечном сечении, а также по оптическим константам и микрохимической реакции на бор.

Группа эпидота. В эту группу входят алюмосиликаты Ca, Fe и TR; наиболее распространенными минералами этой группы являются эпидот и ортит.

Эпидот  $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{O}(\text{OH})[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]$ . Сингония моноклиная, кристаллы призматические, столбчатые, шестоватые; на гранях призмы видна грубая вертикальная штриховка. Цвет зеленый с характерными оттенками желтого, бурого, фиштакшкого тона. Черта бесцветная. Минерал прозрачный, хорошо просвечивает. Блеск стеклянный. Твердость — 6–6,5; раздавливается с усилием, образуются остроугольные обломки. Спайность хорошая по (001). Излом неровный. Плотность  $3,25 \cdot 10^3 - 3,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнитен, полупроводник. Не люминесцирует. В иммерсионных препаратах обломки зерен неправильные, спайность наблюдается плохо. Окрашен в светлые желто-зеленоватые цвета; проявлен плеохроизм. Показатели преломления высокие; резко проявлена шагреновая поверхность, благодаря чему мелкие осколки зерен воспринимаются как серые, плохо прозрачные. Погасание косое. Двупреломление высокое — яркие пестрые цвета интерференции. Минерал двуслойный, отрицательный (см. табл. 8). В кислотах нерастворим. При плавлении вспучивается; после прокаливания разлагается в HCl с выделением студенистого кремнезема. Генезис эпидота довольно разнообразен; его повышенные содержания связаны со скарнами и зонами жильного гидротермального оруденения.

В шлихах эпидот распространен широко. Он транспортируется на значительные расстояния от коренных источников и при этом в результате физико-химического воздействия растрескивается, измельчается, приобретает округлые, окатанные формы. В шлихах часто представлен также бесформенными зернистыми сростками с другими минералами. Ассоциирует с цоизитом, лейкоксеном, а в районах распространения скарновых образований — с магнетитом и ильменитом.

Для эпидота характерна желто-зеленая окраска, зернистые агрегаты, ожелезненные по трещинам, мутные, полупрозрачные. Надежно диагностируется по оптическим константам — шагреновой поверхности и ярким высоким цветам интерференции.

Ортит  $\text{Ce}_2\text{Fe}_2\text{AlO}(\text{OH})[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]$ . Состав минерала непостоянен благодаря обилию примесей. Сингония моноклиная, кристаллы несовершенные: толстотаблитчатые, уплощенные или игольчатые; грани кристаллов штрихованные, дефектные. Цвет смоляно- и бурочерный. Черта бесцветная, редко — буроватая. Непрозрачен, но в тонких осколках просвечивает красно-бурый цвет. Блеск смолистый, жирный.

Твердость — 5,5–6; хрупок, раздавливается с хрустом. Излом неровный, раковистый. Спайность проявлена слабо. Плотность  $3,5 \cdot 10^3 - 4,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, иногда слабо парамагнитен. Диэлектрик, иногда полупроводник. Сильно радиоактивен. В иммерсионных препаратах обломки зерен угловатые, без спайности, зелено-бурого цвета, обнаруживают плеохроизм. Показатели преломления высокие, резко проявлена двулучевая поверхность. Двупреломление высокое. Угол погасания  $N_p = 32-40^\circ$ . Минерал двусосный, отрицательный, с переменным углом оптических осей. Подвержен процессам метамиктного распада, при этом становится изотропным, понижаются показатели преломления и двупреломления. В кислотах растворяется с выделением студенистого кремнезема и дает с торием реакцию на Th. При прокаливании сплавляется в пузыристое темное стекло, часто магнитное. При сплавлении с Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> или NaF образует перл, люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах. Генетически связан с гранитными пегматитами, карбонатитами, трейзенами, гидротермальными жилами. Ассоциирует с редкоземельными и тантало-ниобиевыми минералами. Является источником редких земель и тория.

В шлихах ортит чаще встречается в виде угловатых неправильных зерен со следами окатывания; наблюдаются также обломки таблитчатых, толстопризматических кристаллов с дефектными гранями и следами окатывания. Ортит химически неустойчив; зерна его в шлихах трещиноватые, имеют неровную “изъеденную” поверхность, в дефектах которой сохраняются вторичные продукты.

Диагностируется в шлихах с трудом и выявляется не всегда, так как внешне близок к ниоботанталатам и титанатам и почти неразличим среди ильменита, амфиболов и прочих минералов. Характерны для ортита таблитчатые кристаллы, изъеденная поверхность зерен, охристо-бурые вторичные продукты, смолистый блеск, просвечивание тонких осколков красно-бурым цветом. Надежно диагностируется по оптическим константам, радиоактивности, микрохимической реакции на торий и люминесценции в ультрафиолетовом свете после сплавления с NaF.

*В шлихах ортит встречается в виде угловатых неправильных зерен со следами окатывания, иногда желтой окраски*

Кремний YPO<sub>4</sub>. Содержание Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> достигает 63,1 %; характерны разнометаллические примеси — Er, Ce, Th, U, Zr, Sn. Сингония тетрагональная; кристаллы в виде тетрагональных призм (длиннопризматические или дитригональные), по форме напоминают кристаллы циркона; известны также крошечные и зернистые массы. Цвет от медово-желтого до светло-коричневого. Черта светло-бурая. Содержит многочисленные вроски чужеродных минералов и газовой-жидкие включения, из-за чего полупрозрачен и просвечивает лишь в тонких краях. Блеск стеклянный, жирный. Твердость — 4–4,5. Спайность совершенная по (100). Излом неровный, ступенчатый. Плотность  $4,4 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Обычно парамагнитен, но некоторые разновидности диамагнитны. Диэлектрик. Не люминесцирует.

рует. Часто радиоактивен. В иммерсионных препаратах окрашен в желтоватые цвета, плеохроирует в желто-бурых тонах. Показатели преломления и двупреломление высокие:  $n_o = 1,720-1,724$ ;  $n_e = 1,816-1,830$ ;  $n_o - n_e = 0,096-0,106$ ; рельеф также высокий, резко проявлена псевдоабсорбция. Минерал оптически одноосный, положительный. Плавится с трудом. В кислотах нерастворим. После сплавления с КОН дает микрохимическую реакцию на фосфор. Генетически связан с гранитами, пегматитами и гидротермальными жилами. Благодаря высокой устойчивости, накапливается в россыпях совместно с монацитом. Районы распространения в шлихах ксенотима перспективны на поиски редких земель, урана и тория.

В шлихах ксенотим отмечается редко, скорее в силу сложности его диагностики. Обычны для него бледноокрашенные, слабоокатанные призматические кристаллы, их обломки, сростки или зернистые агрегаты. Благодаря устойчивости в гипергенных условиях, поверхность зерен чистая, гладкая, блестящая. Иногда образуются вторичные продукты, придающие зернам ксенотима тусклый, матовый характер и снижающие их прозрачность. При транспортировке зерна растрескиваются, раскалываются на пластинки, измельчаются и исчезают из обломочных образований. Ассоциирует с монацитом, цирконом, рутилом, торитом, ториянитом, уранинитом, ортитом.

Визуально близок к циркону, а также похож на сфен, монацит. Характерны призматические кристаллы, медово-желтый цвет, средняя твердость. Хорошо диагностируется по оптическим константам, микрохимической реакции на фосфор и радиоактивности.

Монацит (Ce, La)  $[PO_4]$ . Содержание  $Ce_2O_3$  до 32,29 %,  $La_2O_3$  до 41,83 %,  $P_2O_5$  — до 29,7 %; изоморфно в состав минерала входят Y, Th, U, Zr; отмечаются также примеси Mg, Mn, Pb, Fe. Сингония моноклинная, кристаллы таблитчатые, уплощенные, реже — призматические; грани кристаллов гладкие, блестящие; часто встречаются ксеноморфные выделения и зернистые агрегаты. Цвет меняется от медово-желтого и красноватого до черного (черная углеродсодержащая разность называется куларитом). Черта бесцветная. Обычно монацит прозрачен, но в результате метамиктного распада зерна наполняются хлопьевидными вторичными продуктами, теряют прозрачность и приобретают кирпично-красную окраску. Блеск сильный стеклянный или жирный. Твердость около 5; минерал хрупкий и раздавливается легко. Спайность ясная по (010) и (001), но выявляется легче при раздавливании зерен. Излом неровный, раковистый. Плотность  $4,0 \cdot 10^3 - 5,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Обладает парамагнитными свойствами, но иногда диамагнитен. Диелектрик. В коротковолновом излучении не люминесцирует, обнаруживает активное ярко-зеленое свечение при облучении нефльтрованным излучением ртутно-кварцевой лампы. После сплавления с NaF образует перл, люминесцирующий ярко-зеленым цветом в ультрафиолетовых лучах. В иммерсионных препаратах бесцветен, реже — окрашен в светлые желто-бурые тона и тогда плеохроирует. Осколки изометрично-прямоугольные со следами спайности. Показатели

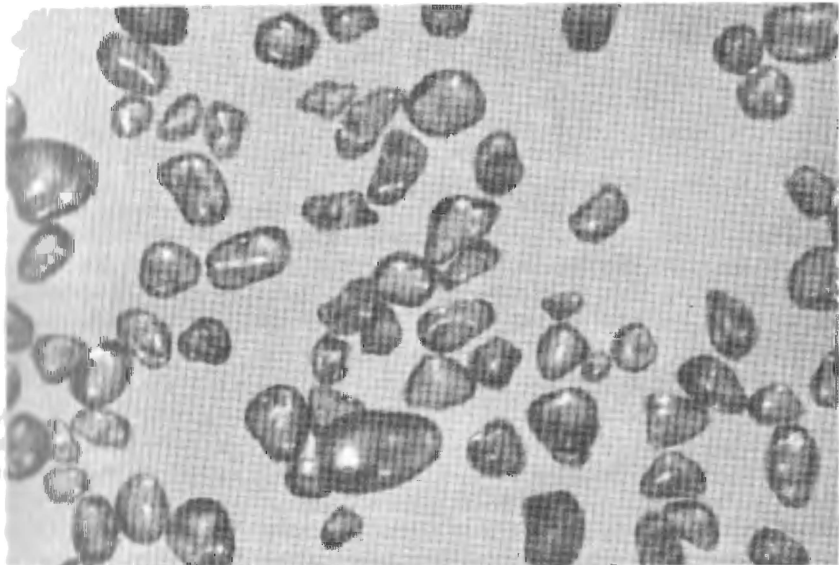


Рис. 22. Монацит — сильно окатанные зерна

преломления и двупреломление высокие:  $n_g = 1,828-1,851$ ;  $n_m = 1,777-1,801$ ;  $n_p = 1,774-1,800$ ;  $n_g - n_p = 0,045-0,075$ ; рельеф также высокий; наблюдается псевдоабсорбция. Угол погасания  $c$ :  $N_g 2-7^\circ$ , удлинение положительное. Минерал двусосный, положительный,  $2V$  от  $+10$  до  $+19^\circ$ . Метамиктно разложенные разности монацита изотропны и полупрозрачны. Минерал неплавкий. В кислотах растворяется с трудом. После смачивания  $HCl$  и прокаливания окрашивает пламя в синевато-зеленый цвет. Дает метрорхимическую реакцию на Р и Th. Генетически связан с разнообразными породами и пользуется довольно широкой распространенностью. В силу высокой абразивной устойчивости концентрируется в россыпях, где является источником редких земель и тория.

В шлихах монацит встречается в виде уплощенных кристаллов, угловато окатанных обломков или хорошо окатанных зерен овальной, эллипсоидальной формы (рис. 22). Зерна его чистые, прозрачные, а в случае метамиктных разностей полупрозрачные, мутные, покрыты беловатыми пленками вторичных образований. Может переноситься водными потоками на значительные расстояния, но основная его масса концентрируется на сравнительно небольшом удалении (5–6 км) от источника выноса. Ассоциирует с цирконом, апатитом, ксенотимом, ортитом, тантало-ниобатами, торием. Визуально близок к сфену, ставролиту, гранату.

Генетически определяется по уплощенной форме кристаллов медо-желтой окраски; для обломков зерен характерны сильный блеск, средняя твердость, хрупкость, явления метамиктного распада. Проверяет-

ся диагностика по оптическим константам, микрохимическим реакциям на P и Th, характеру люминесценции. Шлихи, содержащие монацит, обычно радиоактивны.

Ставролит  $4\text{Al}_2\text{O}_3 [\text{SiO}_4] \cdot \text{Al}_x\text{Fe}_2\text{O}_4\text{H}_4\text{O}_x$ . Состав (в %): FeO — 15,8,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 55,9,  $\text{SiO}_2$  — 26,3,  $\text{H}_2\text{O}$  — 2; содержит примеси Co, Ni, Zn, Mn, Cr, Ti, Ca. Сингония ромбическая; кристаллы призматические, короткостолбчатые, грани их неровные, шероховатые, со штриховкой; типичны двойники. Окраска разнообразна, пятнистая, неоднородная и меняется от медово-желтой до буро-коричневой и почти черной (темный цвет обусловлен включениями углеродистых минералов). Черта бесцветная, у темных разновидностей — буроватая. Минерал прозрачный, но часто лишь просвечивает в тонких краях за счет обилия других минеральных включений. Блеск стеклянный, смолистый, у загрязненных разновидностей тусклый. Твердость — 7–7,5; хрупок, но раздавливается с усилием. Спайность ясная по (010), но прослеживается не всегда даже при раздавливании зерен. Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,65 \cdot 10^3$  —  $3,77 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Слабо парамагнитен, полупроводник. Не люминесцирует. В иммерсионных препаратах в удлинённых обломках зерен наблюдается спайность и неравномерная пятнистая за счет неоднородного распределения включений углеродистых минералов окраска. Характерен отчетливый плеохроизм в желтых тонах. Показатели преломления высокие:  $n_g = 1,746$ – $1,761$ ;  $n_m = 1,740$ – $1,753$ ;  $n_p = 1,736$ – $1,747$ . Двупреломление низкое  $n_g - n_p = 0,010$ – $0,014$ ; типичны аномально низкие цвета интерференции. Погасание прямое, удлинение положительное. Минерал двусосновый, положительный, 2V от +80 до +89°. В кислотах нерастворим. Плавится с трудом. Генетически связан с метаморфическими породами. Поискового интереса в шлихах не представляет.

В шлихах ставролит встречается довольно часто. Устойчив в поверхностных отложениях и сохраняется в осадках дальней транспортировки и многократного переотложения. Зерна его неправильные, окатанные, с неровной ямчатой поверхностью, несущей следы коррозии. В дефектах поверхности зерен сохраняются вторичные продукты — хлорит и лимонит.

Отличительными признаками являются высокая твердость, золотисто-бурый цвет, корродированная поверхность зерен. Нередко сохраняются призматические кристаллы и крестообразные двойники. От внешне похожих минералов отличается по оптическим константам и наличию углеродистых включений.

Сфен  $\text{CaTiO} [\text{SiO}_4]$ . Состав (в %): CaO — 28,6,  $\text{TiO}_2$  — 40,8,  $\text{SiO}_2$  — 30,6. Постоянно присутствуют разнообразные примеси — Y, Ce, Fe, Nb, Sn, Mn, F, Th, Sr и др. Сингония моноклиновая; характерны хорошо ограниченные кристаллы разнообразного облика — конвертообразные (рис. 23), уплощенные, удлиненно-призматические; грани кристаллов ровные, гладкие или штрихованные со следами коррозии. Цвет медово-желтый, золотисто-бурый, буро-коричневый до темного; характерны вроски ильменита и магнетита, придающие сфену почти черную окраску. Черта бесцветная. Минерал прозрачный, но при обилии включений лишь просвечивает в тонких краях зерен. Блеск сильный, стеклянный до алмазного на

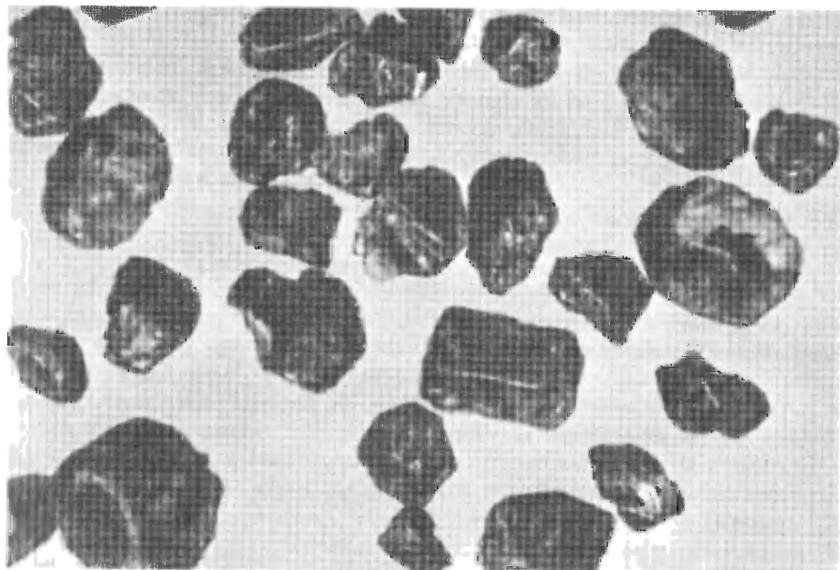


Рис. 23. Сфен — слабо окатанные конвертообразные кристаллы

гранях кристаллов. Твердость — 5–6; хрупок, раздавливается легко. Спайность ясная по (110), лучше наблюдается в обломках зерен. Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,29 \cdot 10^3 - 3,56 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минерал парамагнитный. Диэлектрик, но некоторые разности относятся к полупроводникам. Светлоокрашенные разности обнаруживают голубоватую люминесценцию в катодных лучах. Иногда радиоактивен. В иммерсионных препаратах слабо окрашен и плеохроирует в буро-желтых тонах. Показатели преломления очень высокие:  $n_g = 1,975-2,054$ ;  $n_m = 1,895-1,934$ ;  $n_p = 1,888-1,918$ ; благодаря резко проявленной шагреневой поверхности, мелкие обломки кажутся непрозрачными. Двупреломление также очень высокое;  $n_g - n_p = 0,091-0,140$ ; наблюдаются интерференционные окраски высшего порядка. Углы погасания  $c:N_g = 51^\circ$  и  $c:N_p = 21^\circ$ . Двусный, положительный,  $2V$  от  $+23$  до  $+40^\circ$ . В кислотах растворяется только при кипячении. После сплавления с  $K_2S_2O_7$  дает микрохимическую реакцию на титан. Плавится с трудом, образует темное стекло. Генетически связан с различными породами, в большинстве случаев является аксессуарным минералом.

В шлихах сфен довольно широко распространен и встречается в различных геологических обстановках. В гипергенных условиях устойчив, нередко сохраняются хорошо ограненные кристаллы; зерна угловатые, изометричные. Может далеко транспортироваться от коренных источников; при этом слабо окатывается, становится трещиноватым и

иногда покрывается налетами лейкоксена. Может накапливаться в россыпях совместно с цирконом, рутилом, монацитом.

Диагностируется по кристаллам конвертообразной формы, сильному алмазному блеску на их гранях, желто-бурому цвету. В обломках зерен трудноотличим визуально от похожих минералов и надежно определяется по оптическим константам.

### *5.2.3. Минералы розово-бурой, розовой до малиново-красной окраски*

**Группа гранатов.** В нее входят алюмосиликаты Fe, Mg, Ca, Mn, имеющие общую формулу  $A_3B_2[SiO_4]$  и составляющие непрерывные ряды взаимосвязанных минеральных видов. Содержат примеси Zr, V, Ta, Nb, Sn, В, Ве, Y. Сингония кубическая; кристаллы довольно хорошо огранены и богаты простыми формами, грани их ровные или скульптурные. Окраска очень разнообразна. Черта бесцветная. Минералы прозрачные, но в случаях многочисленных включений или обилия вторичных продуктов просвечивают плохо. Блеск стеклянный, жирный. Твердость — 6,5—7,5; хрупки, но раздавливаются с трудом. Спайностью не обладают. Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,3 \cdot 10^3 - 4,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Парамагнитны, величина магнитной восприимчивости варьирует весьма значительно. Диэлектрики. Не люминесцируют. Оптически изотропны, могут быть аномально анизотропны. В иммерсионных препаратах бесцветны, имеют высокие показатели преломления:  $N = 1,705 - 1,887$  (до 2,0). Растворимы в HCl при кипячении; при этом выделяется студенистый кремнезем. Сплавляются с бурой и фосфорной солью в прозрачные, а железистые гранаты — в черные магнитные шарики.

В шлихах гранаты встречаются довольно часто в силу разнообразия генетических типов их коренных источников. Наиболее широко распространен алмадин, несколько реже отмечается спессартин. Некоторые разновидности гранатов представляют поисковый интерес, так как сопровождают алмазы (пироп), редкометалльные пегматиты (спессартин), скарны, несущие редкометалльную и полиметаллическую минерализацию (андрадит). Весьма устойчивы в гипергенных условиях, транспортируются на значительные расстояния от коренных источников. Могут накапливаться в россыпях. Зерна гранатов в шлихах неправильные, угловатые, оскольчатые, имеют раковистый излом. Поверхность их чистая, гладкая. Часто сохраняются хорошо ограненные кристаллы. В случаях дальней транспортировки зерна гранатов окатываются, становятся матовыми, округлыми, трещиноватыми, поверхность их неровная, ямчатая, с царапинами.

Диагностируются легко по розово-красной окраске, форме кристаллов, очень высокой твердости. Характерно наличие темных вростков ильменита, магнетита и развитие чешуйчатых выделений вторичного хлорита. Иногда диагностика Гранатов проверяется оптически по изотропности и высокому показателю преломления.

## ДИАМАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ ШЛИХОВ

Диамагнитная часть шлихов составляет меньшую их долю, но содержание ее меняется в зависимости от того, до какой степени отмыт шлик при поисках. При фракционировании диамагнитную часть шлиха разделяют по плотности на две фракции — тяжелую и легкую. Легкая фракция количественно преобладает; она сложена в основном кварцем и полевыми шпатами; реже в ней встречаются слюды, хлориты, карбонаты, берилл и янтарь. Тяжелая фракция обычно не велика по массе, но минералогически богата, в ней в основном концентрируются минералы, представляющие практический интерес. Сводный минеральный состав тяжелой диамагнитной фракции приведен в табл. 9.

Таблица 9

### Минералы диамагнитных фракций шлихов

Свойства минералов		Минералы			
прозрачность	окраска	породообразующие и акцессорные	рудные	спутники	вторичные
Непрозрачные	Темно-коричневая до черной, красно-коричневая	—	Касситерит Сфалерит Уранинит	—	—
	Стально-, свинцово-серая до железно-черной	—	Антимонит Арсенопирит Галенит Молибденит Платиноиды	—	—
	Серебристо-, оловянно-белая, серебристо-серая	—	Арсенопирит Платиноиды Серебро	—	—
	Соломенно-, золотисто-, зеленовато-, буровато-желтая	—	Золото Марказит Пирит Халькопирит	—	—

Свойства минералов		Минералы			
прозрач-ность	окраска	породооб-разующие и аксессуар-ные	рудные	спутники	вторичные
Прозрач-ные и полупро-зрачные	Бесцветные: твердостью > 5	Грана-ты Циркон	Алмаз	Топаз Турма-лин Шпинель	—
	твердостью < 5	Амфи-болы Апатит Кианит	Шеелит	Барит Флюо-рит	Англезит
	Темно-коричневая до черной, красно-корич-невая, бурая, красно-бурая до кроваво-красной	Рутил Циркон	Бадделе-ит Вольф-рамит Касси-терит Кино-варь Ортит Пирох-лор Сфале-рит	Шпинель	—
	Голубовато-желто-серая, голубая, грязно-серая	Ана-таз Апатит Амфи-болы Кианит Корунд Оливин Цоизит	Алмаз Шеелит	Барит Сидерит Шпинель	Лейкоксен Повеллит Смитсонит Церуссит
Белая, грязно-, желто-белая, фарфоровидная	—	Шеелит	Барит Сидерит	Лейкоксен Повеллит Смитсонит Церуссит	
Светло-, желто-бурая, медово-желтая	Брукит Корунд Ставро-лит Сфен Циркон	Алмаз Вольфра-мит Кассите-рит Сфалерит Ксено-тим	Споду-мен Фена-кит	Ванадинит Вульфенит Церуссит	

Свойства минералов		Минералы			
прозрачность	окраска	породообразующие и акцессорные	рудные	спутники	вторичные
Прозрачные и полупрозрачные	Светло-, желто-бурая, медово-желтая		Монацит Пироклор		
	Грязно-, буро-, светло-, желто-зеленая	Амфиболы Везувиян Гранаты Оливин Пироксены Эпидот	—	Турмалин	Скородит
	Розовая, сиреневая	Гранаты Корунд Циркон Шпинель	Алмаз	Турмалин	Эритрин
	Ярко-зеленая, ярко-синяя	Корунд			Азурит Малахит

## 6.1. Непрозрачные диамагнитные минералы

### 6.1.1. Минералы темно-коричневой до черной, красно- и буро-коричневой окраски

Касситерит  $\text{SnO}_2$ . Содержит помимо основного компонента разнообразные примеси — Ta, Nb, Mn, Fe, Zr, W. Сингония тетрагональная, кристаллы призматические — от короткопризматических, почти дипирамидальных до тонкопризматических, игольчатых; характерны коленчатые двойники и тройники срастания по (101). Окраска меняется от светло-бурой до красно- и темно-коричневой и черной; зерна касситерита часто окрашены неоднородно, пятнисто, зонально. Черта бесцветная до бурой. Темноокрашенные разности просвечивают по краям зерен, светлой окраски — прозрачны. Блеск стеклянный, жирный, на гранях кристаллов до алмазного. Твердость — 6–7; очень хрупок и легко раздавливается. Спайность не наблюдается. Излом неровный, раковистый. В силу разнообразия примесей физические константы касситерита сильно изменчивы. Плотность  $6 \cdot 10^3 - 7,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Темные разновидности парамагнитны, светлые — диамагнитны. Полупроводник, но некоторые предста-



**Рис. 24.** Касситерит – короткопризматические кристаллы со слабыми следами окатывания

вители диэлектрики. Люминесценцией не обладает; обнаруживает яркую желтую криолюминесценцию. В иммерсионных препаратах характеризуется неоднородной, часто зональной буро-коричневой окраской; отчетливо плеохроирует. Показатели преломления очень высокие:  $n_e = 2,093-2,098$ ;  $n_o = 1,997-2,001$ . Двупреломление также высокое:  $n_e - n_o = 0,096-0,097$ . Минерал одноосный, положительный; иногда аномально двусосный. В кислотах нерастворим. Типична микрохимическая реакция на "оловянное зеркало". Практически не плавится, но при сильном прокаливании светлеет. В результате сплавления с содой возникает блестящий ковкий королек. Генетически связан с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами и их постмагматическими образованиями. При благоприятной геолого-геоморфологической обстановке накапливается в россыпях. Является основным источником олова.

В шлихах единичные зерна касситерита отмечаются довольно часто; заметно повышенные концентрации его свидетельствуют о близости коренных источников или возможности наличия россыпей. Зерна в шлихах неправильные, угловатые, нередко сохраняются обломки кристаллов (рис. 24). Касситерит физико-химически устойчив, при транспортировке на значительные расстояния выделения его окатываются, поверхность их сглаживается, становится трещиноватой, неровной, бугристой. Зерна всегда чистые, без примесей вторичных продуктов. Иногда в шлихах встречается деревянистое олово; выделения его буро-коричневые, грозде- и почковидные, радиально-лучистого сложения; поверхность их не-

ровная, матовая. Ассоциирует в шлихах с вольфрамитом, танталитом, колумбитом, топазом, бериллом, турмалином, флюоритом, сульфидами.

Визуально касситерит весьма разнообразен, что затрудняет его диагностику. Характерны призматические кристаллы, коленчатые двойники, неоднородно-пятнистая, зональная окраска в буро-желто-коричневых тонах, сильный блеск, высокая твердость. Надежно диагностируется по микрохимической реакции на "оловянное зеркало" и оптическим константам.

**Сфалерит**  $ZnS$ . Сингония кубическая, кристаллы в виде тетраэдров, на гранях различима тонкая штриховка. Цвет изменяется от светлого буро-желтого (клеюфан) до темно-коричневого, почти черного (марматит). Черта клеюфана от бесцветной до светло-желтой; марматит дает красновато-коричневую густую черту. Марматит слабо просвечивает лишь в тонких осколках, а светлый клеюфан прозрачен. Блеск сильный алмазный, у марматита до металлоидного. Твердость – 3–4; хрупок, легко раздавливается, рассыпаясь на пластинчатые осколки. Спайность весьма совершенная по (110); характерны внутренние рефлексy (буро-желтые, красноватые) на сколах по спайности; излом ровный, ступенчатый. Плотность  $3,5 \cdot 10^3 - 4,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен; железосодержащие разновидности (марматит) парамагнитны. Дизлектрик. Обладает полярными термоэлектрическими свойствами. Светлые клеюфаны обнаруживают красную люминесценцию в коротковолновом излучении (катодном и ультрафиолетовом). Некоторые разновидности фосфоресцируют при трении. Минерал изотропный, показатель преломления очень высокий:  $N = 2,37 - 2,43$ . Неплавок. Растворяется в кислотах с выделением  $H_2S$  (запах!) и осадка порошковатой серы. Светлые разновидности после сильного прокалывания и смачивания раствором  $Co(NO_3)_2$  приобретают зеленую окраску. Дает положительную микрохимическую реакцию на  $Zn$ . Коренные источники – гидротермальные жильные, колчеданные и стратиформные месторождения. Ассоциирует с сульфидами, баритом, флюоритом. Основной источник цинка.

В шлихах сфалерит встречается только вблизи коренных минерализованных зон и не выдерживает механического воздействия и транспортировки. Зерна его неправильные, угловатые, почти без следов механической обработки и окатывания. В шлихе выделяется сильным алмазным блеском и совершенной спайностью.

Диагностируется по желто-бурой или красновато-коричневой черте, наличию бурых или красных внутренних рефлексов, а также по характеру растворения в кислотах, микрохимической реакции на  $Zn$  и способности люминесцировать в коротковолновом излучении.

### *б.1.2. Минералы стальнo- и свинцово-серой до железно-черной окраски*

**Группа сульфидов.** Из многочисленных минералов группы сульфидов только некоторые отмечаются в шлихах. Они неустойчивы в физико-механическом и химическом отношении и сохраняются в составе рыхлых

обломочных образований в непосредственной близости от коренных источников.

**Арсенопирит**  $\text{FeAsS}_2$ . Сингония моноклиновая; кристаллы призматические, псевдодипирамидальные; на гранях хорошо проявлена штриховка. Цвет серебристо-серый. Черта черная. Блеск металлический до матового. Твердость — 5–6. Спайность неясная. Излом неровный. Плотность  $5,9 \cdot 10^3 - 6,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен; окисленные разности с пленками вторичных продуктов на поверхности слабо парамагнитны. Проводник электричества. Растворяется в  $\text{HNO}_3$  с выделением желтого осадка порошковатой серы; раствор приобретает ярко-желтый цвет при прибавлении  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  — реакция на мышьяк. При нагревании дымит, издает чесночный запах и сплавляется в черный магнитный шарик; возгоняется до металлического мышьяка. Генетически связан с высокотемпературными гидротермальными жилами. Ассоциирует с касситеритом, вольфрамитом, турмалином, бериллом, флюоритом и разнообразными сульфидами. Характерный спутник золота. Является основным источником мышьяка.

В шлихах арсенопирит сохраняется редко и только вблизи коренных источников. Зерна его неправильно-угловатые, обычно покрыты рубашками скородита, что маскирует его серебристо-серый цвет и металлический блеск. Иногда встречаются правильные ромбовидные кристаллы со штриховкой на гранях.

От визуально близких сульфидов отличается высокой твердостью и положительной микрохимической реакцией на мышьяк.

**Галенит**  $\text{PbS}$ . Сингония кубическая; кристаллы в форме куба, грани их ровные, гладкие или со скульптурным ступенчатым рисунком. Цвет стально-серый, темный. Черта свинцово-серая до черной. Блеск металлический, у окисленных разностей тусклый. Твердость — 2–2,5; минерал хрупкий, раздавливается легко, рассыпаясь на обломки кубической формы. Спайность совершенная по (100). Излом плоский ровный или ступенчатый. Плотность  $7,15 \cdot 10^3 - 7,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен. Полупроводник. Обнаруживает детекторные свойства. Плавится легко, образуя блестящий королек. Легко растворяется в  $\text{HNO}_3$  с выделением  $\text{H}_2\text{S}$  (запах!) и появлением белых пленок на поверхности зерен. Дает отчетливую микрохимическую реакцию на Pb. Генетически связан с гидротермальными жилами, контактово-метасоматическими и стратиформными образованиями. Ассоциирует с сульфидами, сульфосолями, баритом, флюоритом. Является основным источником свинца.

В шлихах галенит встречается в локальных участках вблизи зон коренной минерализации. Зерна галенита угловаты, не окатаны, имеют ступенчатый излом, яркий металлический блеск или, если они покрыты рубашками англезита и церуссита, матовую поверхность.

Визуально галенит легко диагностируется благодаря свинцово-серому цвету, черной черте, низкой твердости. С трудом определяются лишь сильно окисленные зерна, покрытые сплошными рубашками вторичных продуктов, однако церуссит легко устанавливается по серо-голубому свечению в катодных лучах; если такие зерна раздавить, то в их центральных

частях удается видеть неизменный галенит. Подтверждается диагностика по микрохимической реакции на Pb.

**Молибденит**  $\text{MoS}_2$ . Сингония гексагональная; кристаллы несовершенные, имеют таблитчатый облик, в шлихах встречаются редко; обычно это листоватые, чешуйчатые, сферолитовые агрегаты. Цвет голубовато-, сталь-но-серый. Черта темно-серая, блестящая, остается даже на бумаге. Блеск металлический. Твердость — 1–1,5; при надавливании иглой листочки молибденита деформируются, изгибаются, расщепляются. Спайность весьма совершенная по (0001), что в сочетании с низкой твердостью обуславливает ощущение жирности при растирании в руках. Плотность  $4,7 \cdot 10^3$  —  $5,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен. Слабо выражены полупроводниковые свойства. Неплавок. Растворяется в царской водке с выделением белого осадка и окрашиванием раствора в голубоватый цвет. Дает отчетливую микрохимическую реакцию на Mo с ксантогеновокислым калием. Основной источник молибдена.

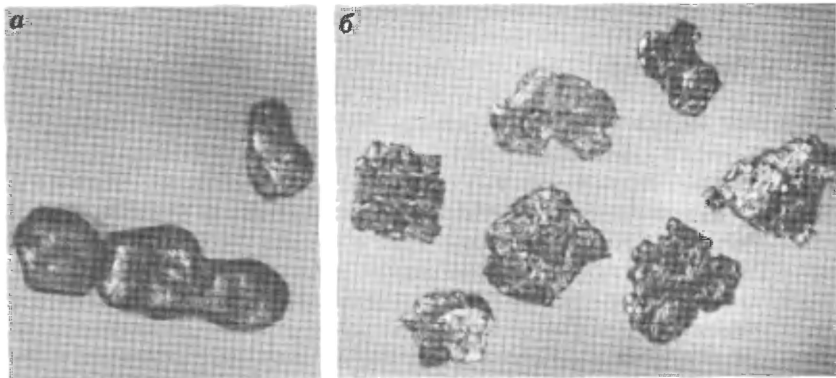
В шлихах молибденит отмечается довольно редко и только вблизи коренных источников, представленных гидротермальными жильными, скарновыми и медно-пурпуровыми месторождениями. Ассоциирует с касситеритом, вольфрамитом, топазом, турмалином, бериллом, флюоритом и сульфидами. Выделения его в шлихах имеют вид неправильных изогнутых чешуек с неровной ямчатой поверхностью. Нередко покрыты налетами вторичных продуктов — повеллита и молибденовых охр, маскирующих обычный цвет и блеск минерала.

Диагностируется по чешуйчатой форме выделений, низкой твердости, блестящей черте и расплющиванию на листоватые чешуйки при раздавливании. Визуально молибденит близок к графиту, от которого легко отличается по микрохимической реакции на Mo. Молибденит с пленками повеллита люминесцирует в ультрафиолетовом излучении зелено-желтым цветом.

### *6.1.3. Минералы серебристо-, оловянно-белой, серебристо-серой окраски*

**Группа платиноидов.** Эта обширная группа включает большое число минеральных видов и подразделяется на два ряда — самородной платины и осмистого иридия.

**Ряд самородной платины.** Минералы этого ряда представляют собой твердые растворы металлов семейства платины и железа. Они объединяются под собирательным термином "самородная платина". Среди них наибольшим распространением пользуется п о л и к с е н. Сингония кубическая; кристаллы редки, огранка их несовершенна, форма искаженная, деформированная (рис. 25). Цвет серебристо-белый до стально-серого, темного у железистых разностей. Черта серая, металлоидная. Блеск металлический до матового. Твердость от 4–4,5 до 6–7. Минералы ковкие, непрозрачные. Спайность отсутствует. Излом неровный, крючковатый. Плотность варьирует обычно от  $12,0 \cdot 10^3$  до  $15,0 \cdot 10^3$  и достигает  $22,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> у маложелезистых разностей. Минералы диамагнитные, но не-



**Рис. 25. Поликсен:**

*а* — сильно окатанные выделения из россыпи, *б* — ксеноморфные выделения с реликтами кристаллографической огранки

которые разновидности парамагнитны, а в редких случаях и ферромагнитны (ферроплатина). Хорошие проводники. Минералы неплавкие, нерастворимы в кислотах. После растворения в царской водке при кипячении дают микрохимическую реакцию на платину с  $KI$ . Генетически связаны с габбро-перидотитовой и габбро-диабазовой формациями. Являются основными источниками платины; накапливаются в россыпях. Ассоциируют с хромшпинелидами, хромдиопсидом, оливином, шпинелью, самородным золотом и сульфидами.

В шлихах минералы ряда самородной платины встречаются достаточно редко, несколько чаще — в районах распространения магматических комплексов основного и ультраосновного состава. Вблизи коренных источников зерна угловатые, пластинчатые, крючковатые, неправильные, губчатые с бугристой, неровной блестящей поверхностью (см. рис. 25, *б*). Благодаря высокой устойчивости в зоне гипергенеза, транспортируются на значительные расстояния от коренных источников. При этом зерна окатываются, становятся округлыми (см. рис. 25, *а*), лепешковидными; поверхность их сглаженная, со следами царапин, матовая, нередко покрыта чужеродными пленками гидроксидов железа или марганца.

Выявляются в шлихах по оловянно-белому цвету, форме зерен, блестящей металловидной черте, ковкости. Зерна самородной платины, покрытые чужеродными пленками, легко могут быть пропущены в шлихе. Диагностика проверяется по растворимости в царской водке и микрохимической реакции на  $Pt$ .

Ряд осмистого иридия. Минералы этого ряда представляют собой твердые растворы осмия и иридия с рутением и родием; основные минеральные виды — не вьянскит ( $Os, Ir$ ) и сысертскит ( $Ir, Os$ ). Сингония гексагональная; обычны таблитчатые, пластинчатые кристаллы со

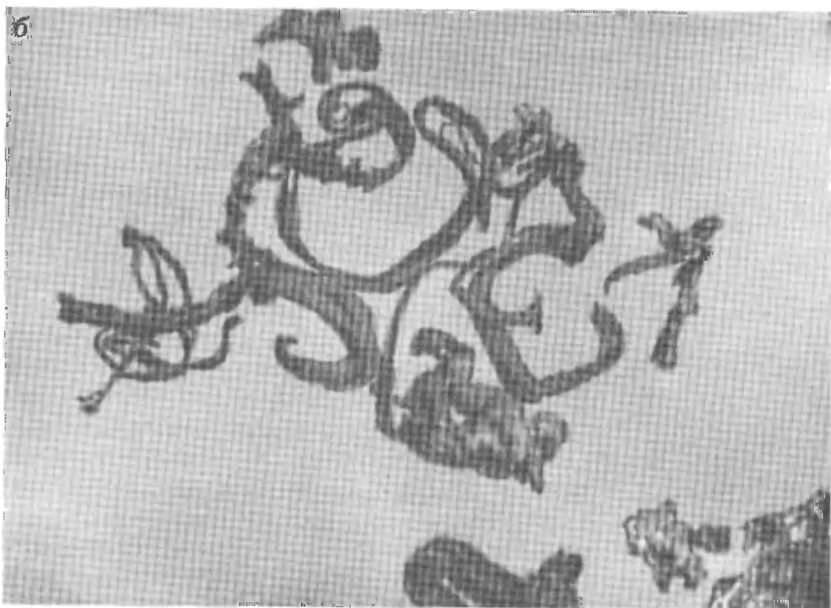
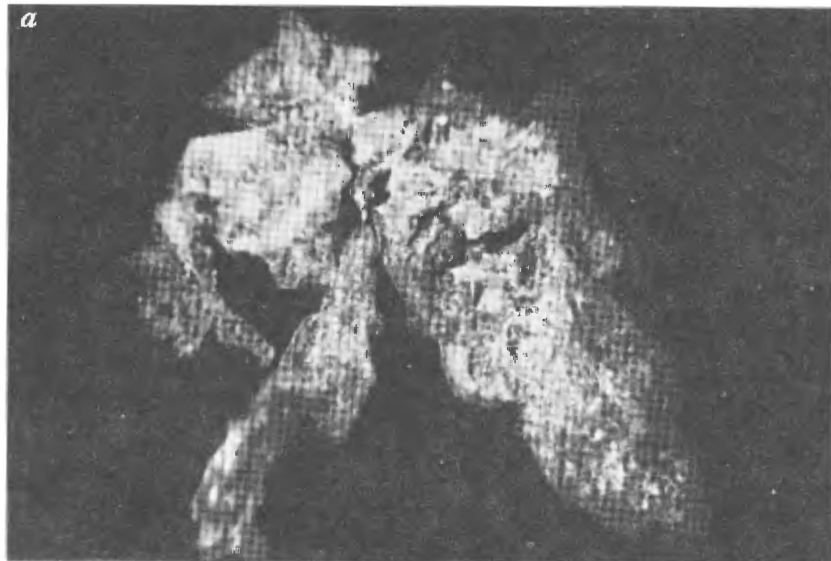
скульптурными гранями. Цвет оловянно-белый до стально-серого. Блеск металлический сильный, иногда тусклый. Твердость — 6–7; хрупок, но раздавливается на листоватые обломки с усилием. Спайность хорошо проявлена по (0001). Плотность  $17,0 \cdot 10^3 - 22,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Магнитные свойства переменны. Неплавки. Нерастворимы в кислотах, в том числе и в царской водке. После сплавления с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и растворения сплава в  $\text{HNO}_3$  выпадает синий или черный порошковатый осадок. Генетически связаны с гипербазитами, где ассоциируют с самородной платиной и хромшпинелидами.

В шлихах минералы ряда осмистого иридия редки и выявляются не всегда. Сохраняются кристаллы или их обломки, а также пластинчатые неправильно-угловатые зерна. В силу высокой твердости при транспортировке слабо окатываются, приобретая сглаженные очертания. При этом на поверхности зерен образуются тончайшие темные или бронзово-желтые пленки, маскирующие природную окраску минерала и затрудняющие его диагностику.

Определяются по таблитчато-гексагональной форме кристаллов, пластинчатости зерен, высокой твердости, металлическому блеску и оловянно-белому цвету. Диагностика проверяется по характеру растворения сплава с селитрой, однако точная диагностика минералов ряда осмистого иридия требует применения специализированных методов исследования.

Самородное серебро Ag. Самородное серебро в чистом виде встречается редко; обычно содержит примеси Au, Hg, Cu, As, Sb, Bi. Сингония кубическая, идиоморфно-кристаллические выделения редки. Обычно это деформированные, искаженные формы — проволоковидные, дендритовидные, пластинчатые, чешуйчатые, а также комковидные, губчатые, спутанно-волокнистые агрегаты (рис. 26). Цвет серебристо-белый до серебристо-серого. Черта светло-серая, блестящая. Минерал непрозрачен. Блеск яркий металлический, реже — тусклый. Твердость — 2,5–3; минерал ковкий. Спайность не проявлена. Излом неровный, крючковатый, занозистый. Плотность  $10,1 \cdot 10^3 - 11,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, хороший проводник электричества. При нагревании сплавляется в блестящий ковкий королек. Растворяется в  $\text{HNO}_3$  со вскипанием, после прибавления капли  $\text{HCl}$  выпадает творожистый осадок. Быстро темнеет под воздействием  $\text{H}_2\text{S}$ . Генетически серебро связано с низкотемпературными гидротермальными жилами, ассоциирует с минералами Au, Pb, In, As, Sb; обогащает зону цементации сульфидных месторождений.

В шлихах самородное серебро отмечается редко; в силу невысокой абразивной устойчивости в гипергенных условиях сохраняется в обломочных отложениях лишь вблизи коренных источников; однако мелкочешуйчатые выделения могут транспортироваться на более значительные расстояния. Сопровождает в россыпях золото, ассоциирует с сульфидами, флеклыми рудами, сульфосолями, флюоритом, баритом. Зерна обычно слабоокатанные, неправильные, пластинчатые; наблюдаются также дендрито- и проволоковидные выделения. Поверхность их неровная, ямчатая, губчатая, часто покрыта черными рубашками вторичных продуктов, мас-



**Рис. 26. Самородное серебро:**

*a* — пластинчато-чешуйчатые выделения, *б* — деформированные "проволоковидные" кристаллы

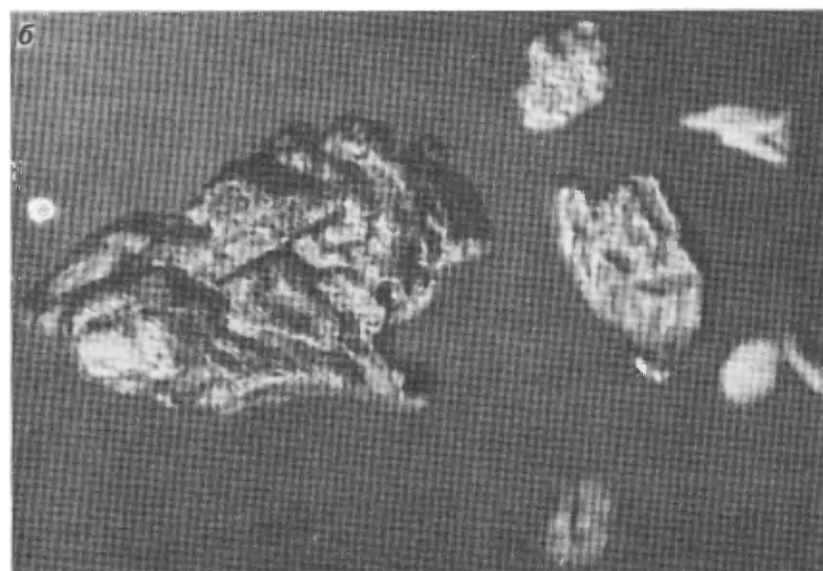
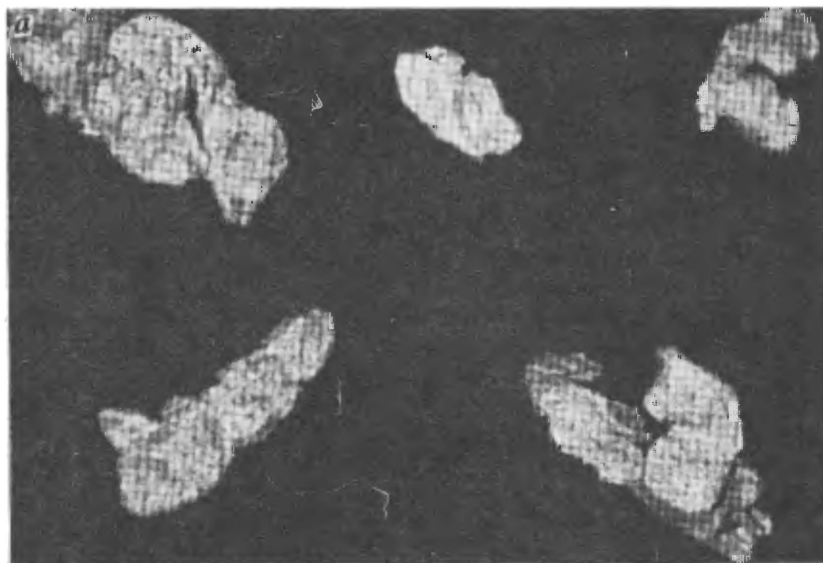
кирующих первоначальный облик минерала и затрудняющих его диагностику.

Для самородного серебра характерны своеобразная морфология зерен, низкая твердость, ковкость и наличие вторичных продуктов. Проверяется диагностика минерала по специфическому характеру растворения в  $\text{HNO}_3$  и микрохимической реакции на  $\text{Ag}$ .

#### *б.1.4. Минералы соломенно-, золотисто-, зеленовато- и буровато-желтой окраски*

Самородное золото Au. Самородное золото практически не встречается в природе в химически чистом виде; под собирательным термином "самородное золото" понимаются минералы начальной части непрерывного ряда твердых растворов золота и серебра. Характерны разнообразные примеси – Cu, Bi, Sb, Hg, Pt и др. Сингония кубическая; идиоморфные кристаллы в виде кубов или октаэдров редки, обычно они сильно искажены, несовершенны; обычны также дендриты, проволоковидные формы, часто наблюдаются ксеноморфные неправильные выделения (рис. 27). Цвет определяется составом: высокопробное самородное золото (пробность 900–950) имеет темно-желтый до медно-красного цвет; по мере увеличения содержания серебра цвет становится золотисто-желтым (пробность ~800), светло- и соломенно-желтым (пробность ~700). Черта блестящая золотистая. Минерал непрозрачный, просвечивает в очень тонких пластинках зеленовато-желтым цветом. Блеск металлический. Твердость – 2–2,5 (до 3,6 у высокосеребристых разновидностей); минерал ковкий, тягучий. Спайностью не обладает. Излом крючковатый, занозистый. Плотность  $15,6 \cdot 10^3$  –  $19,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Минерал диамагнитный, хороший проводник электричества, теплопроводный, тугоплавкий. В кислотах не растворяется; при нагревании растворяется в царской водке; в полученном растворе микрохимически может быть определено золото. Образует амальгамы с металлической ртутью. Коренные источники самородного золота разнообразны: генетически оно связано с гранитоидной или дифференцированной базальтоидной магмой (жильные, штокверковые тела, золотоносные скарны), крупнейшие его месторождения приурочены к древним конгломератам, может накапливаться в "железных шляпах" месторождений, концентрируется в россыпях. В силу многообразия геологических условий формирования месторождений единичные знаки самородного золота довольно часто встречаются в шлихах, что почти всегда может представлять практический интерес при поисках коренных месторождений или россыпей.

В шлихах наблюдаются различные морфологические типы выделений самородного золота: неправильные, уплощенные, лепешковидные и чешучатые, причудливые сложные – дендритовидные, губчатые, ключковатые, проволоковидные. Поверхность золотин неровная, ямчатая, скульптурная, края выделений также неровные, расщепленные, рваные. Иногда сохраняются следы первично-кристаллических угловатых очертаний зерен. По мере миграции золота от коренного источника выделений его принима-



**Рис. 27. Самородное золото:**

**а** — уплощенные слабокатанные зерна, **б** — скульптурная поверхность золота

ют сглаженные очертания, размеры их уменьшаются, повышается пробность золота. В россыпях золотины обычно имеют лепешковидную форму, деформированную поверхность и иногда покрыты "рубашками" чужеродных образований. Ассоциирует с турмалином, шеелитом, баритом, пиритом и другими сульфидами, а также с цирконом, рутилом. В участках золотосных россыпей шлихи обогащены магнетитом.

Самородное золото трудно спутать в шлихах с другими минералами: для него характерны золотисто-желтый цвет, мягкий металлический блеск, невысокая твердость, ковкость и своеобразие морфологии выделения. Диагностика может быть проведена по отсутствию следов воздействия кислот, растворимости в царской водке и микрохимической реакции на золото.

Группа сульфидов. К цветной группе золотисто-желтых минералов относятся наиболее распространенные сульфиды — марказит, пирит и калькопирит.

Марказит  $\text{FeS}_2$ . Содержит 46,6 % Fe; 53,4 % S; примеси — Ni, As, Sb, Co, Mn, Cu. Сингония ромбическая; кристаллы копьевидные, короткостолбчатые, таблитчатые, часто образующие сростки; обычны также натечные, почковидные выделения, порошковато-землистые агрегаты. Цвет латуно-желтый с зеленоватым оттенком, у окисленных разновидностей — бронзово-желтый, грязно-бурый; на воздухе марказит темнеет и становится почти черным. Черта густая, темная, зеленовато-серая до черной. Блеск металлический, иногда тусклый. Твердость до 5,5—6; минерал хрупкий, растрескивается легко, рассыпаясь на удлиненно-игольчатые обломки. Спайностью не обладает. Излом неровный, занозистый. Плотность  $4,8 \cdot 10^3$ — $4,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, иногда парамагнитен. Полупроводник. Прозрачен. Тугоплавкий минерал, при сильном прокаливании окисляется в черный магнитный королек. Растворяется в  $\text{HNO}_3$  при нагревании с выделением осадка порошокватой серы. Генетически связан с осадочными породами или с низкотемпературными гидротермальными образованиями, несущими ртутно-сурьмяное, полиметаллическое, колчеданное оруденение, в связи с чем может иметь поисковое значение.

В шлихах марказит довольно редок и в силу малой абразивной прочности наблюдается вблизи коренных источников в ассоциации с другими сульфидами. Обычно это сфероидальные кристаллические сростки лучистого илургенного строения, реже — одиночные удлиненно-палочковидные черта или комковидные натечные агрегаты. Поверхность марказита гладкая, шероховатая, скульптурная, покрыта темными землистыми пятнами, маскирующими цвет и блеск минерала.

Определяется по форме кристаллов, специфичным агрегатам, темной зеленовато-черной черте; диагностика проверяется по микрохимическим реакциям на Fe и S и характеру растворения в  $\text{HNO}_3$ .

Пирит  $\text{FeS}_2$ . Состав (в %): Fe — 46,6; S — 53,4; содержит разнообразные примеси — Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Ge, Se, Au, Hg, определенные комплексы которых могут быть индикаторами формационных групп месторождений. Сингония кубическая; типичны правильные, хорошо ограненные кристаллы кубического, пентагондодекаэдрического и октаэдриче-

ского облика; на гранях кристаллов обычно наблюдается штриховка. Цвет — соломенно-желтый, в ряде случаев с желтовато-бурой пестрой побелалостью; черные землистые разновидности называются мельниковит-пиритом. Черта черная, у окисленных разновидностей буровато-коричневая. Блеск сильный металлический. Твердость — 6, у окисленных разновидностей снижается до 4. Спайностью не обладает. Излом неровный, раковистый. Плотность  $4,9 \cdot 10^3 - 5,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Обычно диамагнитен, но при окислении может проявлять парамагнитные свойства. Хороший проводник электричества, но теряет проводниковые свойства при окислении. При прокаливании растрескивается и сплавляется в магнитный шарик. Растворяется в царской водке; при кипячении в HNO<sub>3</sub> выделяется порошковая сера; в растворе микрохимически определяется Fe и S. Один из полигенных и наиболее широко распространенных сульфидов.

В шлихах пирит часто сохраняется в кристаллах кубического облика с различной штриховкой на гранях. Обломки неокристаллизованных зерен неправильны, угловаты, почти не несут следов окатывания. Химически неустойчив, и присущий минералу соломенно-латунно-желтый цвет маскируется тонкими иризирующими пленками бронзово-желтого цвета. Чаще приходится иметь дело с бурыми, матовыми выделениями, представляющими собой псевдоморфозы лимонита по пириту; они обладают охристой чертой и лишь при раздавливании в них обнаруживаются реликты неизмененного пирита. Пирит образует довольно широкие ореолы вокруг первичных минерализованных зон. Ассоциирует с золотом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом.

Диагностируется по форме кристаллов, штриховке на их гранях, высокой твердости, соломенно-желтому цвету и черной черте. Окисленные разновидности пирита определяются сложнее и их диагностику проверяют по характеру растворения в HNO<sub>3</sub> и микрохимической реакции на S.

Халькопирит CuFeS<sub>2</sub>. Состав (в %) : Cu — 34,57; Fe — 30,54; S — 34,9; содержит разнообразные примеси — Mn, As, Sb, Ag, Zn, Bi, Pb, Co, Ni, Se и др. Известны две модификации халькопирита — тетрагональная, устойчивая при нормальных условиях, и кубическая с неупорядоченной структурой, — связанные  $\beta \rightarrow \alpha$  переходами. Кристаллы редки, грани их гладкие или скульптурные, нередко со штриховкой; чаще наблюдаются агрегаты ксеноморфных зерен. Цвет латунно-желтый с зеленоватым оттенком; характерна яркая пестрая побелалость в оранжево-красных и зелено-синих тонах. Черта зеленовато-черная, бархатная. Блеск сильный металлический. Твердость — 3,5—4; минерал хрупкий, при раздавливании возникают оскольчатые обломки с раковистым изломом. Спайностью не обладает. Плотность  $4,1 \cdot 10^3 - 4,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитный минерал, иногда парамагнитный. Проводник электричества. При прокаливании растрескивается и сплавляется в магнитный шарик. После смачивания каплей HNO<sub>3</sub> при прокаливании окрашивает пламя в голубой цвет. Растворяется при нагревании в HNO<sub>3</sub> с выделением порошковой серы; при воздействии AgNO<sub>3</sub> бурет. Зерна, помещенные на цинковую пластинку, при смачивании каплей HCl покрываются коричнево-бурой пленкой. Образуется в

ходе различных эндогенных процессов, приводящих к формированию медных, полиметаллических, золоторудных и других месторождений. Ассоциирует с магнетитом и различными сульфидами.

В шлихах халькопирит встречается не очень часто, находки его тяготеют к зонам развития коренной сульфидной минерализации. В физико-химическом отношении неустойчив и плохо сохраняется в обломочных породах при транспортировании от коренного источника. Зерна в шлихах обычно неправильные, угловатые, с раковистым изломом, без следов окатывания. Поверхность их покрыта пленками вторичных образований, что способствует появлению пестрой побегалости, меняет присущий минералу цвет на бурый, придает матовость блеску. Иногда в неровностях поверхности зерен скапливаются землистые налеты малахита, реже — азурита.

Отличительными признаками халькопирита являются пестрая побегалость, густая зеленовато-черная черта, невысокая твердость; характерно также специфичное поведение минерала при взаимодействии с  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$ . Диагностика проверяется по микрохимической реакции на  $\text{Cu}$ .

## 6.2. Прозрачные и полупрозрачные диамагнитные минералы

Многие тяжелые диамагнитные прозрачные минералы имеют варьирующие окраски, в силу чего в классификационной таблице они повторяются в различных цветовых группах. В целях простоты изложения описание подобных минералов будет приведено в наиболее типичной для них цветовой группе.

### 6.2.1. Бесцветные минералы твердостью $> 5$

Алмаз  $\text{C}$ . В природных алмазах постоянно присутствуют различные примеси, из числа которых наиболее типичны  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ti}$  и др. Они связаны, как правило, с микровростками чужеродных минеральных фаз — графита, оливина, хромдиоксида, пирропа, хромшпинелидов, рутила. Сингония кубическая; кристаллы разнообразны по морфологии, грани их скульптурны, со следами коррозии, характерны кривогранные формы. Отмечаются двойники по  $(111)$ , что придает уплощенность кристаллам. Часто встречаются сростки мелких кристаллов и зернистые агрегаты скорлуповато-концентрического сложения. Окраска и прозрачность алмазов весьма разнообразны: обычны водяно-прозрачные, бесцветные разновидности; часто наблюдаются желтые и розово-бурные окраски, реже — зеленые, голубые и оранжевые, вплоть до черных. Выделяют несколько разновидностей алмазов: баласы — бесцветные и светло-желтые шаровидные концентрически-лучистые агрегаты с плотной эмалеподобной оболочкой; борты — бесцветные, мутные вплоть до темных, нередко трещиноватые, хрупкие; зернистые агрегаты и сростки мелких кристаллов; карбонадо — тонкозернистые плотные темные, буро-черные шлакоподобные агрегаты с эмалевой корочкой по поверх-

ности. Черты не дает. Блеск минерала очень сильный алмазный, часто — жирный. Алмаз — самый твердый минерал, твердость его 10. Излом неровный, оскольчатый. Плотность  $3,43 \cdot 10^3 - 3,51 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; в силу высокой плотности алмаза во избежание его потерь промывку проб при шлиховых поисках следует проводить только до "серого" шлиха. Минерал диамагнитный, диэлектрик. В коротковолновом излучении люминесцирует в широком диапазоне цветов. Оптически изотропен, может быть аномально анизотропным. Показатель преломления очень высокий:  $N = 2,402 - 2,465$ . В кислотах устойчив, растворяется только сплавлением со смесью гидроксидов щелочных металлов и селитры. Коренными источниками алмазов являются кимберлиты; промышленное значение имеют также россыпи. Типоморфными спутниками алмаза являются пироп, хромдиопсид, пикроильменит, хромшпинелид, муассанит, перовскит.

В шлихах алмазы не привлекают внимания своим внешним обликом. Зерна их изометричны, округлы, трещиноваты, замутнены; поверхность зерен матовая, шероховатая, ямчатая, с выбоинами и следами коррозии. Природный сильный блеск минерала проявляется только при смачивании водой. В силу высокой абразивной устойчивости может транспортироваться на значительные расстояния от коренных источников (до нескольких сотен километров); при этом нивелируются следы кристаллографической огранки, очертания зерен приближаются к округлым, шаровидным, поверхность становится матовой, появляются следы механического износа — царапины, выбоины; зерна становятся мельче. Алмазы концентрируются преимущественно в аллювиальных рыхлых образованиях на сравнительно небольшом расстоянии от первичных алмазоносных пород. В прибрежно-морских россыпях зерна алмазов овально-округлые, поверхность их гладкая, шлифованная.

В шлихах определяется с большим трудом, так как его типичные особенности плохо выражены. От сходных минералов отличается кривогранной формой кристаллов, сильным алмазным блеском и игрой цветов, выявляющейся при погружении в воду, исключительно высокой твердостью. Характерные диагностические признаки алмаза — изотропность, чрезвычайно высокий показатель преломления, яркая люминесценция в коротковолновом излучении.

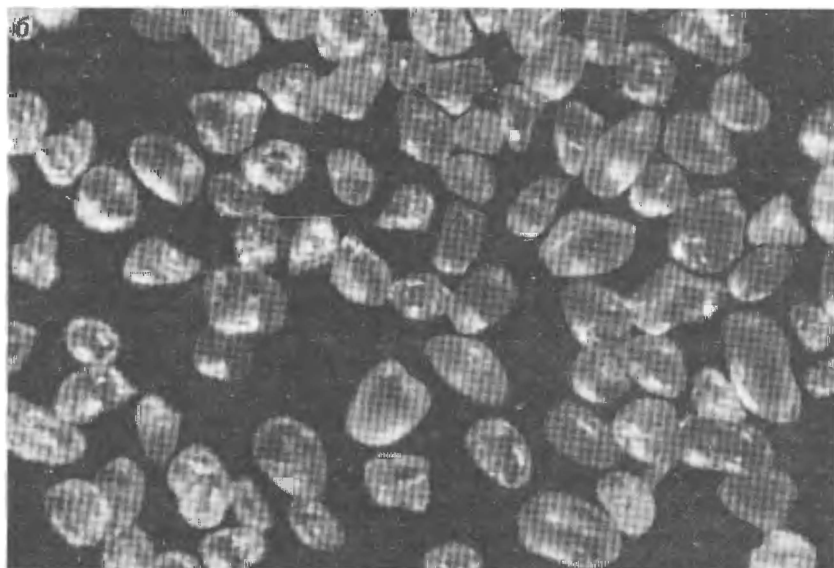
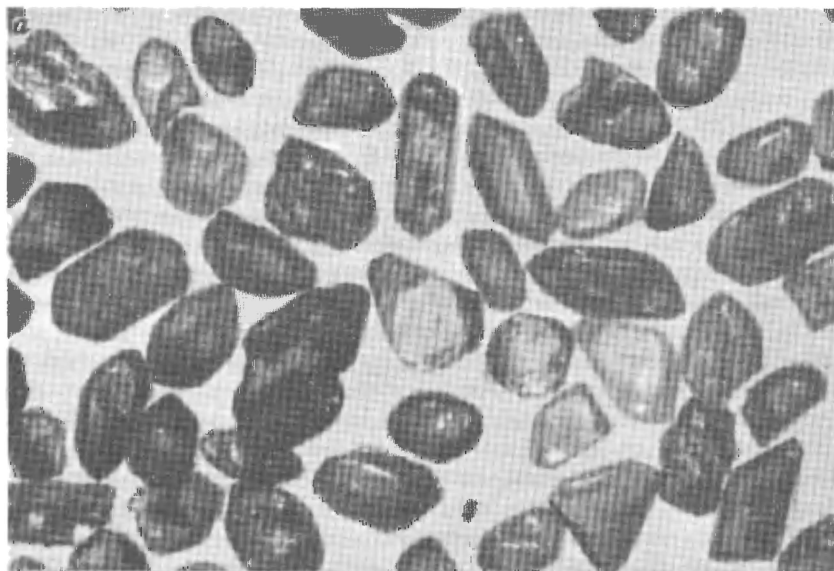
Топаз  $Al_2 [SiO_4] F$ . Состав (в %):  $Al_2O_3$  — до 62;  $SiO_2$  — до 39; F — до 20,4;  $H_2O$  — до 2,45; отмечаются примеси Fe, Cr, Ti, V, Mg. Сингония ромбическая; кристаллы призматические с большим числом граней головки. Минерал прозрачный, бесцветный или окрашен в светлые желтоватые, голубоватые, розоватые цвета; окраска бывает неоднородной, зональной. Черты не дает. Блеск стеклянный. Твердость — 8, минерал хрупкий, раскалывается на пластинчатые обломки. Спайность совершенная по (001). Излом ступенчатый, раковистый. Плотность  $3,4 \cdot 10^3 - 3,57 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Немагнитен. Диэлектрик, легко электризуется при сжатии, трении, нагревании. Люминесцирует в желто-зелено-голубых тонах в ультрафиолетовых лучах и в оранжево-красных тонах — в катодных лучах; в ряде случаев не люминесцирует. В иммерсионных препаратах бесцветен, обломки его

оскольчатые, но со следами спайности. Погасание прямое, удлинение отрицательное. Показатели преломления не слишком высокие:  $n_g = 1,616-1,638$ ;  $n_m = 1,609-1,613$ ;  $n_p = 1,606-1,629$ . Двупреломление низкое:  $n_g - n_p = 0,008-0,011$ . Минерал оптически двuosный, положительный,  $2V = 48-68^\circ$ . В кислотах нерастворим. Неплавок; при сильном прокаливании мутнеет. Разлагается сплавлением с фосфорной солью; при этом сохраняется "скелет" кремнезема. Дает микрохимические реакции на Al и F. Генетически связан с гранитными пегматитами и грейзенами, несущими редкометалльную и бериллиевую минерализацию. Ассоциирует с касситеритом, вольфрамитом, шеелитом, бериллом, турмалином, флюоритом и является их индикаторным спутником. Может накапливаться в россыпях.

В шлихах топаз встречается в районах развития гранитоидов, в которых широко проявлены высокотемпературные постмагматические процессы. Зерна его обычно бесцветны, угловаты, остроугольны; иногда сохраняются призматические кристаллы. Абразивно устойчив и может транспортироваться на значительные расстояния от коренных источников; при этом зерна слабо окатываются, приобретают округленные очертания, становятся трещиноватыми; поверхность их матовая, неровная, шероховатая, иногда с чужеродными пленками.

Визуально определяется в шлихах с трудом, так как внешне близок к ряду прозрачных бесцветных минералов. Диагностируется в основном по высокой твердости, бесцветности и прозрачности, стеклянному блеску, раздавливанию на пластинчатые угловатые обломки. От близких по облику минералов отличается по оптическим константам.

Циркон  $Zr [SiO_4]$ . Содержит 67,1 %  $ZrO_2$ , 32,9 %  $SiO_2$ ; постоянные примеси III (до 5 %), а также TR, Th, U, Nb (малакон, циртолит). Сингония тетрагональная; обычны хорошо ограненные кристаллы разнообразной морфологии — призматические (рис. 28,а), короткостолбчатые, дипирамидальные. Окраска от бесцветной, светло-розовой и светло-желтой, иногда винно-красной, до бурой и темно-бурой у метамиктно разложенных разностей, теряющих прозрачность (малакон). Черта бесцветная, иногда буроватая. Блеск сильный алмазный, у малакона — жирный. Твердость — 7—8, иногда снижается до 6; хрупкий, легко раздавливается на оскольчатые обломки, но метамиктные разности вязки. Спайность плохо различима. Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,6 \cdot 10^3 - 4,86 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, некоторые разности слабо парамагнитны. Дипшикрик; иногда обнаруживает полупроводниковые свойства. Активно люминесцирует в ультрафиолетовых лучах в ярко-желтых, оранжевых тонах, в катодных лучах светится желтым, иногда голубым светом; метамиктные разности не люминесцируют. Радиоактивен. В иммерсионных препаратах обычно бесцветен, обломки его оскольчатые, неправильные. Показатели преломления и двупреломления очень высокие:  $n_o = 1,924-1,960$ ;  $n_e = 1,968-2,015$ ;  $n_e - n_o = 0,044-0,055$ . Погасание прямое, удлинение положительное. Минерал одноосный, положительный; может быть аномально двuosным, а в случаях метамиктных разностей — изотропным. В кислотах нерастворим. Неплавок; при сильном нагревании теряет окраску. Сплавляется с содой. Генетически связан с разнообразными по составу



**Рис. 28. Циркон:**

*а* — призматические слабоокатанные кристаллы, *б* — сильноокатанные зерна из россыпи

ву породами, где является акцессорным минералом; более крупнокристаллические выделения отмечаются в пегматитах. Накапливается в промышленных количествах в россыпях, где ассоциирует с ильменитом, апатитом, гранатом, монацитом, рутилом.

В шлихах циркон встречается практически повсеместно; содержания его увеличиваются в районах развития гранитоидных и щелочных изверженных пород, а также в зонах россыпенакопления. Обычно хорошо сохраняются кристаллы в виде вытянутых тетрагональных призм с ограниченными головками; реже наблюдаются более сложные кристаллы, богатые различными гранями, и обычно короткопризматические. Ксеноморфные выделения циркона изометричны, слегка удлинены, неправильных очертаний. Зерна циркона в шлихах чаще всего прозрачны, бесцветны, имеют чистую гладкую поверхность без вторичных продуктов, сильный алмазный блеск; реже они окрашены в светлые розовые, желтые цвета; метамиктные цирконы бурые, непрозрачные. Благодаря высокой абразивной устойчивости, транспортируется на весьма далекие расстояния от коренных источников и при этом окатывается до палочковидных, яйцевидных и округлых форм (см. рис. 28, б).

Характерными внешними признаками циркона являются призматические кристаллы, бесцветные или светлые окраски, высокая твердость, сильный блеск. Хорошо диагностируется по яркой люминесценции в коротковолновом излучении; диагностика проверяется по оптическим константам.

### 6.2.2. Бесцветные минералы твердостью < 5

Апатит  $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{OH})_2[\text{PO}_4]_3$ . Состав (в %):  $\text{CaO} - 55,5$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 42,3$ ;  $\text{F} - 3,8$ ; присутствует  $\text{Cl}$ ; обычные примеси  $\text{Sr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ , иногда  $\text{TR}$ ,  $\text{Th}$ . Сингония гексагональная; кристаллы призматические, реже — короткостолбчатые и таблитчатые; характерны также зернистые агрегаты ксеноморфных зерен. Минерал бесцветный или имеет зеленовато-голубоватую, иногда желтоватую окраску. Черта бесцветная. Блеск стеклянный, на изломе жирный. Твердость — 5; хрупок, раздавливается на оскольчатые неправильные обломки. Спайность несовершенная; наблюдается отдельность по (0001). Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,16 \cdot 10^3 - 3,27 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Минерал диамагнитный, диэлектрик. В коротковолновом излучении люминесцирует в широком диапазоне видимого спектра. Некоторые разности слабо радиоактивны. В иммерсионных препаратах прозрачен, бесцветен, обломки его зерен неправильно-угловатые. Показатели преломления довольно высокие и сильно варьируют:  $n_o = 1,605 - 1,668$ ;  $n_e = 1,600 - 1,664$ . Двупреломление низкое:  $n_o - n_e = 0,003 - 0,006$ ; часто наблюдаются аномально низкие интерференционные окраски. Погасание прямое, удлинение отрицательное. Минерал одноосный, отрицательный. Растворим в кислотах; раствор минерала в  $\text{HNO}_3$  дает положительную микрохимическую реакцию на  $\text{P}$ . Генетически связан со щелочными магматическими породами и карбонатитами; является типичным акцессорным минералом разнообразных пород.

В шлихах апатит распространен широко в силу его полигенности. Будучи минералом достаточно устойчивым в гипергенных условиях, транспортируется на значительные расстояния от коренных источников. Обычно в шлихах зерна его бесцветные, неправильные, угловатые, реже сохраняются обломки призматических кристаллов. По мере окатывания на поверхности зерен появляются царапины, штрихи, выбоины – следы коррозии; вторичные продукты не наблюдаются. Окатанные зерна имеют сглаженную округлую форму, становятся мутными, полупрозрачными. Иногда встречаются радиально-лучистые скрытокристаллические, содержащие механические примеси чужеродных минеральных фаз агрегаты, называемые фосфоритом.

По внешнему виду определяется с трудом из-за отсутствия характерных особенностей. Легче диагностируется при сохранении в шлихах обломков гексагонально-призматических кристаллов. В неправильных осколках, а тем более в окатанных зернах визуально близок ко многим прозрачным минералам и надежно определяется по оптическим константам и микрохимической реакции на Р.

**Барит** Ba [SO<sub>4</sub>]. Содержит 65,7 % BaO; 34,3 % SO<sub>3</sub>; изоморфно входят Pb, Sr и Ca, присутствуют Ra, Zn, Hg, Ag. Сингония ромбическая; кристаллы таблитчатые, реже – призматические; агрегаты зернистые, ксеноморфные, изредка – шаровидные лучистого строения. Минерал бесцветный, водяно-прозрачный или слегка мутноватый, белый, сероватый, желтоватый; иногда обнаруживается зональность; изредка содержит обильные углеродистые включения и тогда непрозрачен, имеет черный цвет. Черта бесцветная. Блеск стеклянный до перламутрового. Твердость – 3–3,5; весьма хрупок, раздавливается на угловато-пластинчатые осколки. Спайность совершенная по (010). Излом неровный. Плотность  $4,3 \cdot 10^3 - 4,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен. Дизлектрик. Люминесцирует в коротковолновом излучении в желто-фиолетовой части спектра; свечение более активное в катодных лучах. В иммерсионных препаратах прозрачен, бесцветен; обломки зерен угловатые, неправильные, со следами спайности. Показатели преломления достаточно высокие:  $n_g = 1,648$ ;  $n_m = 1,637$ ;  $n_p = 1,636$ . Двупреломление низкое:  $n_g - n_p = 0,012$ . По отношению к спайности погасание прямое. Минерал двусный, положительный,  $2V = 36-38^\circ$ . В кислотах нерастворим. Неплавок; после смачивания HCl при повторном прокаливании окрашивает пламя в желто-зеленый цвет. Дает микрохимическую реакцию на Ba. Генетически связан со средне-низкотемпературными гидротермальными жилами, несущими полиметаллическую, золото-серебряную, ртутную, сурьмяную минерализацию, а также с осадочными породами.

В шлихах барит встречается на локальных площадях. Вблизи коренных рудных жил в делювии и элювии отмечаются угловатые обломки его зерен. Абразивно неустойчив, плохо переносит транспортировку, быстро истирается и рассеивается, в силу чего в аллювии рек сохраняется в небольших количествах, а зерна его слабо окатаны, замутнены.

Определяется в шлихах с трудом, так как не имеет характерных особенностей и визуально плохо различим среди других бесцветных прозрачных

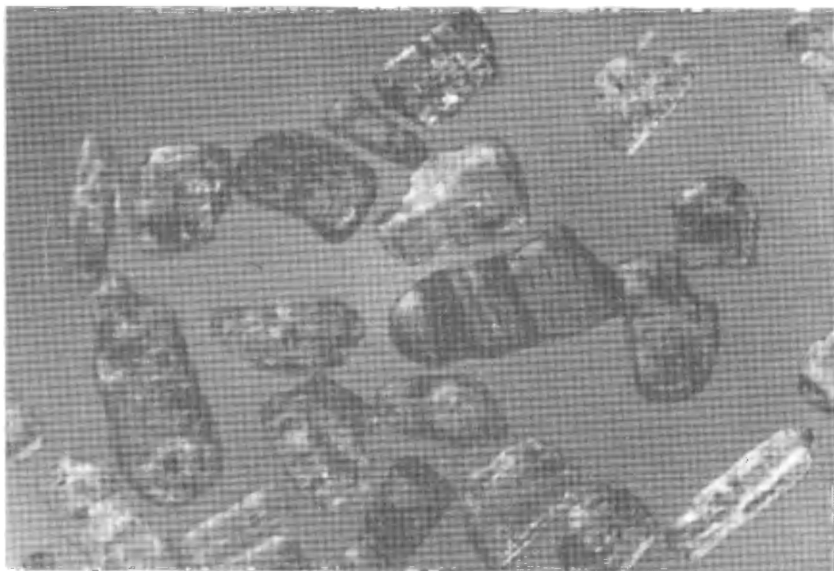
ных диамагнитных минералов. Диагностируется в основном по оптическим константам и микрохимическим реакциям на Ва и S.

**Кианит (дистен)**  $Al_2O_3 [SiO_4]$ . Содержит 63 %  $Al_2O_3$  и ~37 %  $SiO_2$ ; постоянны примеси Fe, Cr, Ti, Ca. Сингония триклинная, кристаллы длиннопризматические, столбчатые, уплощенные, без граней головок, нередко деформированные. Бесцветен или имеет голубую, желтую, бурую окраску; нередко она более интенсивна в центральной части зерен; часто отмечаются включения графита, из-за чего минерал приобретает серую до почти черной окраску. Черта бесцветная. Блеск стеклянный до перламутрового. Кианит обладает резкой анизотропией твердости: по удлинению зерен она составляет 4,5, а в перпендикулярном направлении увеличивается до 7; хрупок, легко раздавливается, рассыпаясь на удлиненные, игольчатые обломки. Спайность совершенная по (100). Излом ступенчатый, занозистый. Плотность  $3,56 \cdot 10^3 - 3,68 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, иногда парамагнитен. Диэлектрик. Люминесцирует в розово-красных тонах, причем ярче при облучении катодными лучами. В иммерсионных препаратах обломки черт кианита бесцветные, иногда слабо окрашены и тогда плеохроируют; в них хорошо проявлена спайность; микровключения снижают прозрачность минерала. Показатели преломления высокие:  $n_g = 1,728-1,729$ ;  $n_m = 1,720-1,722$ ;  $n_p = 1,712-1,717$ . Двупреломление невысокое:  $n_g - n_p = 0,016-0,027$ . Удлинение положительное. Угол погасания от 5–8 до 30°. Оптически двуосный, отрицательный, 2V от –75 до –82°. В кислотах нерастворим. Неплавок. После сплавления с NaOH и  $Na_2CO_3$  дает микрохимическую реакцию на Al. Встречается в районах развития метаморфических пород; практического интереса не представляет.

В шпихах кианит встречается достаточно часто. Устойчив в гипергенной обстановке и транспортируется хорошо. Характерны укороченные окатанные плоскопризматические зерна с закругленными концами, рассеченные трещинами (рис. 29). У окатанных зерен на поверхности видны царапины, она матовая, шероховатая. Зерна обычно бесцветные, реже – голубоватые, желтоватые, сероватые и почти черные. Вторичные продукты не характерны. Ассоциирует с гранатом, ставролитом, рутилом, андалузитом, силлиманитом, корундом.

Диагностируется по призматической форме зерен, голубоватой-неоднородной окраске, трещиноватости, перпендикулярной к удлинению, и образованию при раздавливании игольчатых обломков. От визуально близких минералов отличается по оптическим константам. Типична также розово-красная люминесценция в катодных лучах.

**Флюорит**  $CaF_2$ . Содержит 51,2 % Ca, 48,8 % F; примеси разнообразны – Sr, Y, TR, Cu, Be, Ag, Pb. Сингония кубическая; кристаллы кубического или октаэдрического облика, на гранях иногда видна штриховка; часто наблюдаются зернистые ксеноморфные агрегаты. Окраска очень разнообразна – от бесцветной, светло-желтой, светло-зеленой или светло-фиолетовой до темно-зеленой и темно-фиолетовой; распределена неравномерно, пятнисто, иногда – зонально. В некоторых случаях во флюорите отмечаются примеси углеводов и тогда он окрашен в темно-фиолетовый, почти-черный цвет, непрозрачен. Черта бесцветная. Прозрачен. Блеск



**Рис. 29.** Кианит - слабоокатанные призматические кристаллы зональной окраски

стеклянный. Твердость — 4; хрупок, при раздавливании образуются выколки по спайности. Спайность совершенная по (111). Излом ровный или ступенчатый. Плотность  $3,1 \cdot 10^3 - 3,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, диэлектрик. В коротковолновом излучении люминесцирует голубым, фиолетовым, иногда зеленым цветом. Обладает способностью к пиро- (зеленое свечение) и триболоминесценции (свечение при истирании). Пьезохроматичен — под давлением изменяет окраску на фиолетовую. В иммерсионных препаратах осколки его зерен угловатые, со спайными ограничениями, обычно бесцветные, но иногда имеют точечно-пятнистую чернильно-фиолетовую окраску. Минерал с низким показателем преломления ( $N = 1,434$ ); изотропен, изредка аномально анизотропен. Разлагается в  $H_2SO_4$  с выделением пузырьков HF. При прокаливании растрескивается, окрашенные разности обесцвечиваются, становятся прозрачными. Генетически связан с грейзенами, где сопровождает редкометаллическое оруденение, и с телетермальными жилами, несущими полиметаллическую, сурьмяно-ртутную и мышьяковую минерализацию. Ассоциирует с касситеритом, вольфрамитом, турмалином, топазом, сульфидами.

В шлихах флюорит встречается на локальных площадях в потенциально рудоносных участках. Зерна его вблизи коренных источников неправильно-угловатые со спайными сколами. В силу невысокой абразивной прочности при транспортировке практически не окатывается, а дробится, измельчается и рассеивается уже на небольшом расстоянии от коренного источника. В связи с этим находки в шлихах флюорита могут иметь индикаторное значение при поисках руд олова, вольфрама, цветных металлов.

По внешнему виду выявляется не всегда, так как трудно различим среди зерен других диамагнитных тяжелых минералов. Для него характерны угловатая форма зерен, невысокая твердость, хорошая спайность, неоднородность и полихромность окраски. Хорошо диагностируется по оптическим свойствам и люминесценции в коротковолновом излучении.

Шеелит  $\text{Ca}[\text{WO}_4]$ . Содержит 19,4 %  $\text{CaO}$ ; 80,6 %  $\text{WO}_3$ ; изоморфно входит  $\text{MoO}_2$  (до 12 %); примеси –  $\text{Mn}$ ,  $\text{TR}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Sr}$ . Сингония тетрагональная; хорошо ограненные дипирамидальные, псевдооктаэдрические кристаллы встречаются не часто; обычны ксеноморфные зернистые агрегаты. Обычно минерал полупрозрачный, бесцветный, белый, желтоватый, реже окрашен в более темные цвета – бурый, коричневатый до темного, почти черного, богатого включениями чужеродных минеральных фаз. Цвета бесцветная. Блеск жирный до шелковистого. Твердость – 4,5–5; хрупок. Спайность по (101), выявляется не всегда. Излом неровный, мелкокраковистый. Плотность  $5,8 \cdot 10^3 - 6,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Диамагнитен. Диштрик, но иногда при обилии микровключений обнаруживает слабые полупроводниковые свойства. В коротковолновом излучении активно люминесцирует ярко голубым, белым и желтоватым цветом. В иммерсионных препаратах наблюдаются осколки со следами спайности; прозрачен, бесцветен, иногда кажется слегка сероватым за счет резко проявленной штриховой поверхности и высоких показателей преломления:  $n_e = 1,937$ ;  $n_o = 1,920$ . Двупреломление невысокое:  $n_e - n_o = 0,017$ . Минерал одноосный, положительный. Разлагается в кислотах. При кипячении в  $\text{HCl}$  выделяется желтый тонкокристаллический осадок и зерна покрываются желтой пленкой; после добавления металлического  $\text{Zn}$  или  $\text{Sn}$  (можно заменить каплей раствора  $\text{SnCl}_2$ ) желтая окраска пленки и осадка меняется на темно-синюю (микрхимическая реакция на вольфрам). Генетически связан с редкометалльными скарнами и грейзенами. Важнейший источник вольфрама.

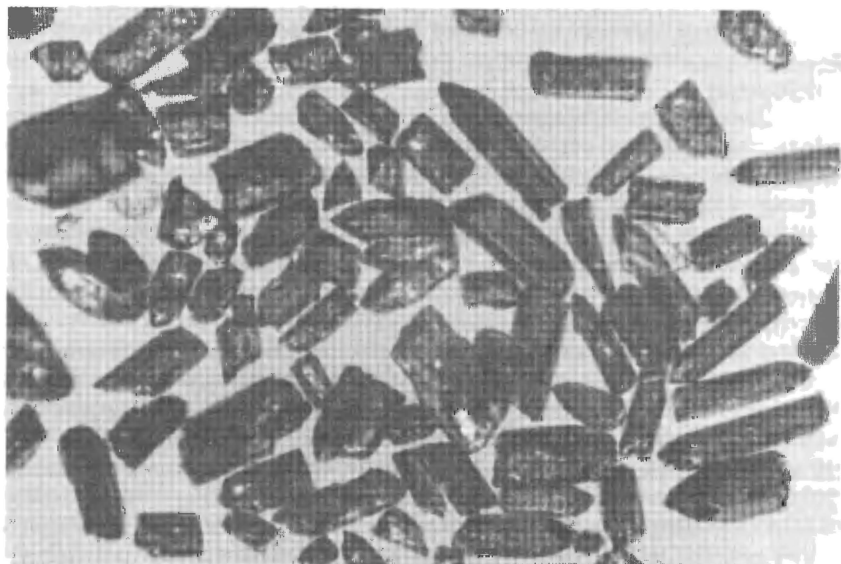
В шлихах шеелит относительно редок, его находят в районах развития гранитоидов. Обычно зерна неправильные, изометричные, угловатые, бесцветные, мутноватые, полупрозрачные. Кристаллы очень редки. Шеелит не выносит длительной транспортировки поверхностными потоками и присутствие его в шлихах свидетельствует о близости коренного источника. Благодаря малой механической устойчивости, лишь слабо окатывается, при этом поверхность становится шероховатой; затем минерал быстро измельчается и рассеивается.

Выявляется в шлихах с трудом, так как не обладает спецификой внешнего облика. Характерны замутненные, полупрозрачные, слабо окатанные или угловатые зерна "льдистого" облика, средняя твердость, жирный блеск. Точная диагностика проводится по оптическим константам и микрхимической реакции на  $\text{W}$ . Чтобы не пропустить в шлихах шеелит, применяют облучение ультрафиолетовым источником света, что позволяет не только обнаружить минерал, но и определить его содержание. Практический интерес могут представлять шлихи с повышенными количествами шеелита. Единичные зерна шеелита встречаются в шлихах, отобранных в золотоносных районах, где он может быть спутником золота.

*6.2.3. Минералы темно-коричневой до черной, красно-, буро-коричневой, бурой, красно-бурой до ярко-красной окраски*

**Киноварь**  $\text{HgS}$ . Содержит 86,2 % Hg, 13,8 % S; устанавливаются примеси Se, Sb, As, Cu, Te, Cd, Zn. Сингония тригональная; кристаллы толсто-таблитчатые, ромбоэдрические, призматические (рис. 30), нередко сдвойникованы по (0001); обычны также зернистые агрегаты, землистые массы. Цвет ярко-красный, алый, буро-красный; на плоскостях спайности наблюдается сероватая побежалость. Черта красная, землистая. Минерал прозрачен в тонких краях зерен. Блеск алмазный, металлоидный, жирный, у зернистых агрегатов тусклый. Твердость — 2–2,5; минерал хрупкий, раздавливается на пластинчато-угловатые обломки. Спайность ясная по (1010). Излом неровный, иногда ступенчатый. Плотность  $8,0 \cdot 10^3$  —  $8,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитный минерал, диэлектрик. В кислотах не растворяется, разлагается царской водкой или смесью HCl и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. При прокаливании возгоняется, при соприкосновении зерна с раскаленным перлом Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> выделяет капли металлической ртути. Киноварь генетически связана с телетермальными и вулканогенными месторождениями; основной источник ртути. Ассоциирует с флюоритом, баритом, сульфидами, иногда — золотом.

В шлихах киноварь наблюдается в единичных зернах довольно часто, особенно в районах молодого вулканизма. Зерна мелкие, неправильные, поверхность их неровная, корродированная; иногда сохраняются обломки кристаллов или тонкозернистые агрегаты. Минерал абразивно малоустойчив и легко рассеивается при транспортировке: вблизи коренных



**Рис. 30.** Киноварь — удлиненно-призматические кристаллы

источников зерна его угловаты, на незначительном удалении от них слабо окатываются, покрываются тонкими налетами вторичных продуктов. Вокруг коренных минерализованных зон образует отчетливые ореолы рассеяния. Благодаря высокой плотности и химической стойкости, может накапливаться в россыпях в непосредственной близости от коренных месторождений; известны россыпи Нью-Альмадена в Калифорнии.

Выявляется в шлихах легко благодаря яркому красному цвету и алмазному блеску. Характерны красная черта, низкая твердость, хорошая спайность. Легко диагностируется по микрохимическим реакциям на  $\text{Hf}$  и  $\text{S}$ , а также по характеру взаимодействия с горячим перлом соды.

Группа рутила К этой группе относятся минералы, представляющие собой полиморфные разновидности оксида титана,— рутил, брукит и анатаз (табл. 10)

Рутил  $\text{TiO}_2$ . Содержит примеси  $\text{Fe}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{V}$ . Сингония тетрагональная; широко распространены призматические (рис. 31,а), столбчатые, игольчатые кристаллы с перпендикулярной штриховкой на гранях призма, часто отмечаются коленчатые двойники; известны также зернистые агрегаты. Цвет рутила разнообразен: светло-бурый, бурый, винно-красный, красно-коричневый до черного. Черта бесцветная, редко — желто-бурая. Минерал прозрачен в тонких осколках; темноокрашенные разновидности (нигрил) непрозрачны. Блеск сильный стеклянный, алмазный, на гранях кристаллов — металлоидный. Твердость — 6—6,5; хрупкий, но раздавливается с трудом. Спайность совершенная по (110), прослеживается лучше при раздавливании зерен. Излом неровный, раковистый. Плотность  $4,2 \cdot 10^3$  —  $5,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Не люминесцирует. В иммерсионных препаратах осколки от зерен угловатые, неправильные, со следами спайности; прозрачны светлые разновидности, а густоокрашенные прозрачны только по краям зерен и в тонких осколках; окраска желто-, красно-бурая, лучше различима при подсвечивании линзой Лазо. Слабо проявлен плеохроизм. Показатели преломления и двупреломление очень высокие. Удлинение положительное, погасание прямое. В кислотах нерастворим. Не плавится, но при сильном прокаливании окрашенные разновидности темнеют. После сплавления с  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  и растворения сплава в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  дает микрохимическую реакцию с  $\text{H}_2\text{O}_2$  на  $\text{Ti}$ . Генетически связан с разнообразными интрузивными и метаморфическими породами, где является аксессуарным минералом. Благодаря высокой механической и химической стойкости, накапливается в россыпях, откуда и добывается совместно с ильменитом и цирконом. Сопровождается также апатитом, монацитом, турмалином, аксинитом, корундом, сфеном.

В шлихах рутил распространен весьма широко, встречается практически повсеместно. Обычно представлен удлиненно-призматическими или короткостолбчатыми кристаллами, нередко имеющими коленчатое двойниковое строение, что подчеркивается характерной штриховкой; часто наблюдаются также ксеноморфные неправильные зерна. Хорошо переносит дальнюю транспортировку от коренных источников и при этом окатывается (см. рис. 31,б), зерна приобретают округлые, овальные, палочко- и ветвенообразные формы. Неокатанные зерна имеют ровную, гладкую,

Таблица 10

## Физические и оптические свойства минералов группы рутила

Минерал	Сингония	Облик кристаллов	Цвет	Твердость	Плотность, $\rho \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Рутил	Тетрагональная	Призматический до игольчатого	Красно-коричневый до черного	6 – 6,5	4,2–5,2
Анаказ	“	Дипирамидальный, клиновидный	Серо-голубой до темно-серого	5,5 – 6	3,8–3,95
Брукит	Ромбическая	Таблитчатый, пластинчатый	Бурый до черного	5,5 – 6	3,9 – 4,2

блестящую поверхность, окатанные – более тусклый блеск, неровную, шероховатую, ямчатую, иногда покрытую “рубашкой” лейкоксона поверхность. Характерно разнообразие окраски рутила: даже в одном шлихе одновременно можно наблюдать желто-бурые, винно-красные и темные, почти черные зерна.

Диагностика основана на визуальных признаках, подтверждается оптическими константами и микрохимической реакцией на Ti.

Шпинели (Mg, Fe) Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Шпинели являются основным представителем подгруппы алюмошпинелидов. Состав шпинелей непостоянен; их крайние члены – собственно ш п и н е л ь MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и герцинит FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Изоморфно в их состав входят Cr, Zn, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, что обуславливает вариации окрасок от бесцветной, розовой, красной и зеленой до синей и черной. Прозрачные красиво окрашенные разновидности шпинели называют благородной шпинелью; они относятся к драгоценным ювелирным камням. Сингония кубическая; кристаллы в виде октаэдров или более сложных комбинационных форм; часто наблюдаются двойники по (111); грани кристаллов ровные, гладкие. Черта бесцветная. Шпинели прозрачны и лишь густоокрашенные разновидности просвечивают только в краях. Блеск сильный, стеклянный. Твердость – 7–8; минералы хрупкие, но раздавливаются с большим трудом. Спайностью не обладают. Излом раковистый, неровный. Плотность  $3,5 \cdot 10^3$  –  $4,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Магнитные свойства варьируют: безжелезистые шпинели диамагнитны, железосодержащие – парамагнитны. Диэлектрики. В коротковолновом излучении не люминесцируют за исключением розово-красных разновидностей, которые в катодных лучах светятся в ярко-красных тонах. Минералы изотропные, показатель преломления 1,715–2,0. В кислотах нерастворимы, неплавки. Дают микрохимические реакции на Mg и Al.

В шлихах единичные зерна шпинелей встречаются не очень редко, но они более обычны для районов распространения пород габбро-перидотитовой формации, гранитоидов и сопровождающих их магнезиально-желе-

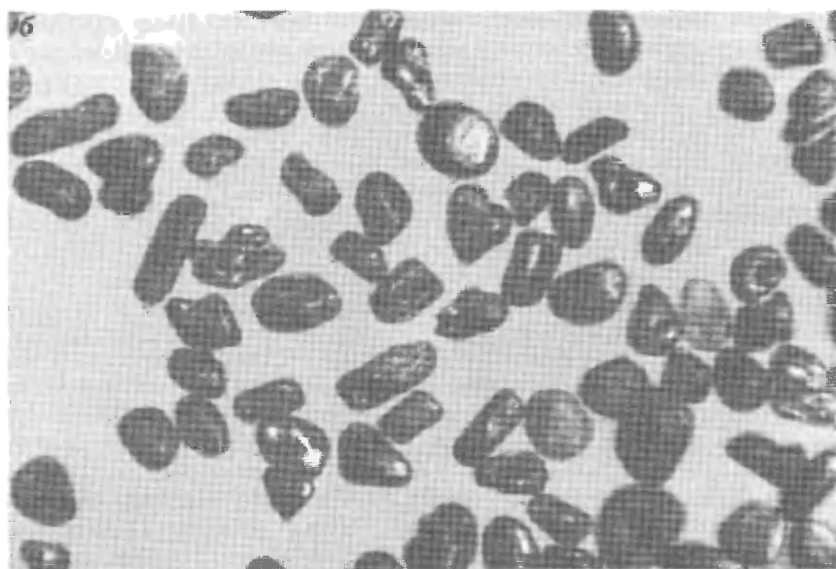
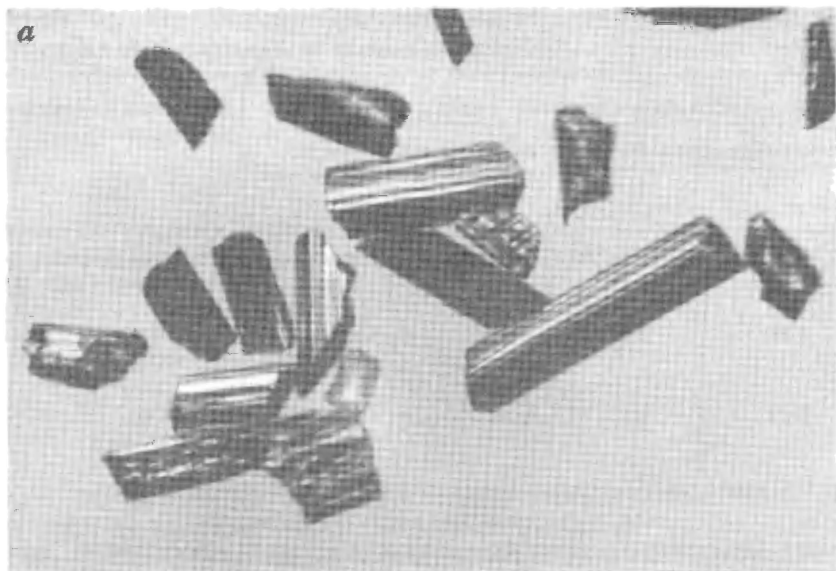
Оптические свойства				двууплощение $n_{\alpha}$ $n_{\beta}$	основность, оптический выск	Магнитные и электрические свойства
показатели преломления $n_o$ $n_e$						
2,100	2,111	2,100	2,101	0,116; 0,276	Одноосный,	Диамагнитен, редко парамагнитен; диэлектрик
2,50		2,40		0,07	Одноосный,	
2,10		2,50		0,12	Двуосный (2V 27°),	То же

четыре стороны. Выпуклостями высокой абразивной прочности и химической стойкости шпинели используются в прибрежно-морских и озерных россыпях. От корунтовых источников шпинели могут переноситься на значительные расстояния, при этом плохо окатываются и сохраняют первичную угловатую форму, а нередко и правильные октаэдрические кристаллы. При дальнем транспортировке и многократном перетолжении зерна приобретают шпинельную, шарообразную форму. В прибрежно-морских россыпях зерна шпинели сильно окатаны, поверхность их шлифованная, мелкобугристая, скульптурная, без каких-либо чужеродных гипергенных продуктов. Ассоциируют с минералами высокой абразивной прочности — корундом, рутилом, цирконом, гранатами, хромитом.

Диагностируются по октаэдрической форме кристаллов, высокой твердости, чистоте окрасок, яркому блеску и прозрачности, слабой окатанности. От внешне похожих минералов отличаются по оптическим свойствам — изотропности и высокому показателю преломления. В отличие от граната после сплавления с фосфорной солью не образуется "скелета" вращением.

#### *§ 2.4 Минералы мутно-, голубовато-, желтовато-, грязно-серой, голубой окраски*

Корунд  $Al_2O_3$ . Содержит примеси Fe, Ti, Cr, Ni, Mn и других элементов, присутствие которых связано с механическими включениями посторонних минеральных фаз. Сингония тригональная; кристаллы столбчатые, бочковидные, пирамидальные; на гранях развивается грубая штриховка; ксеноморфные зерна неправильно-угловатые. Цвет желтовато-, голубовато-серый, желто-бурый, окраска неравномерна. Красиво окрашенные прозрачные чистые синие (сапфир) и розово-красные (рубин) разновидности являются драгоценными камнями. Черты не дает. Полупрозрачен, мутноват, хорошо просвечивает по краям зерен. Блеск стеклянный, жирный до алмазного и перламутрового. Твердость — 9; хрупок, но раздавливается с



**Рис. 31. Рутил:**

**а** — удлинённо-призматические кристаллы со штриховкой на гранях, **б** — сильно-окатанные зерна из россыпи

большим трудом. Спайность не выражена, наблюдается отдельность по (0001) и  $\{10\bar{1}1\}$ . Излом неровный, раковистый. Плотность  $3,95 \cdot 10^3 - 4,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен; диэлектрик. В катодном и ультрафиолетовом излучении люминесцирует в голубых или красных тонах. В иммерсионных препаратах прозрачен, бесцветен; окрашенные разности имеют пятнистую розоватую, голубоватую окраску и псевдохроируют; обломки зерен угловатые, оскольчатые, обнаруживают высокий рельеф и резкую шагреневую поверхность благодаря высоким показателям преломления:  $n_o = 1,767 - 1,771$ ,  $n_e = 1,759 - 1,763$ . Двупреломление низкое:  $n_o - n_e = 0,001 - 0,001$ . Минерал одноосный, отрицательный; иногда аномально двуосный. В воде не растворим. После сильного прокаливания и смазывания зерен каплей  $Co(NO_3)_2$  окрашивается в синий цвет (микрохимическая реакция на Al). Гипотетически связан со щелочными магматическими породами и сопровождающими их перматитами, зонами вторичных кварцитов и равноправными метаморфическими породами. Отличается высокой угловатостью в поле гиперенеза, может переноситься на значительные расстояния от коренных источников и накапливаться в россыпях. Ассоциирует с цирконом, гранатом, монацитом, пироксеном, ортитом, шпинеллем, турмалином, андалузитом, силлиманитом.

В шпиках корунд встречается достаточно часто. Представлен неправильными зернами угловатой, оскольчатой формы, реже — кристаллами или их обломками. Хорошо транспортируется поверхностными водотоками на значительные расстояния, сохраняя угловатый облик зерен, почти не окисляясь и не изменяя внешнего облика.

Определяется по боченковидной или таблитчатой форме кристаллов, очень высокой твердости, серовато-голубоватому или желтовато-серому цвету, отсутствию следов механического воздействия и пленок вторичных продуктов. От пилулярно близких минералов отличается по оптическим свойствам и сильному окрашиванию прокаленных зерен, предварительно смоченных  $Co(NO_3)_2$ .

### *г) h* Минералы белой, грязно-, желтовато-белой, фиолетовидной окраски

Пироксен Псикоксен не является индивидуализированным минеральным видом, а представляет собой тонкодисперсную смесь рутила, анатаза и других минеральных компонентов, которой приписывается общая формула  $TiO_2 \cdot xH_2O$ . Цвет белый, желтоватый с белесым или грязноватым оттенком, желтоватый, серый и светло-коричневый. Черта бесцветная, грязно-желтоватая. Блеск тусклый, матовый, жирный. Твердость — 4—5; хрупкий; при раздаивании образуете землястый порошок. Плотность  $3,5 \cdot 10^3 - 4,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Диамагнитен, но буро-коричневые железные разности парамагнитны. Полупроводник. В иммерсионных препаратах представлен тонкодисперсными плохо прозрачными агрегатами бурой окраски; показатель преломления высокий; наблюдается шагреневая по-

верхность; анизотропен; интерференционная окраска маскируется цветом минерала. В кислотах нерастворим. После сплавления с  $K_2S_2O_7$  дает микрохимическую реакцию на Ti. Образуется в результате гипергенных изменений ильменита и других титансодержащих минералов.

В шлихах лейкоксен встречается довольно часто. Обычно он покрывает зерна титановых минералов плотными, нередко землястыми массами, и лишь при раздавливании в их центральных частях удается обнаружить реликты первичных минералов. Выделения его округлы, шаровидны или лепешковидны. Поверхность их шероховатая, матовая, фарфоровидная или гладкая, блестящая, землястая. Реже отмечаются неправильные, угловатые зерна, сохраняющие очертания первичного минерала.

Определяется по визуальным признакам, оптическим особенностям и микрохимической реакции на Ti.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М., изд-во АН СССР, 1956.
2. Захарова Е.М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. М., Недра, 1974.
3. Захарова Е.М. Новые направления шлихового метода поисков: Вестн. МГУ, сер. Геология, 1983, № 4, с. 49–55.
4. Захарова Е.М. Особенности лотковой промывки шлиховых проб: Изв. вузов, сер. Геология и разведка, 1985, № 8, с. 63–67.
5. Колченова Е.В. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., Недра, 1979.
6. Методические указания о проведении геологоразведочных работ по стадиям (твердые полезные ископаемые). М., изд. ВИЭМСа, 1984.
7. Методы минералогических исследований. Под ред. А.И. Гинзбурга, М., Недра, 1985.
8. Родыгина В.Г. Введение в шлиховой метод. Томск, изд-во ТГУ, 1985.
9. Сиротинская С.В. Логические методы анализа геологической информации. М., Недра, 1986.
10. Словарь по геологии россыпей / Под ред. Н.А. Шило. М., Недра, 1985.
11. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1989.
12. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева и др. М., Недра, 1987.
13. Справочник укрупненных сметных норм на геологоразведочные работы. Вып. 1. "Геологосъемочные и поисковые работы". М., Недра, 1984.
14. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М., Наука, 1981.

## УКАЗАТЕЛЬ ОСНОВНЫХ ШЛИХООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

- Алмаз 5, 26, 54, 80, 84, 85, 98, 104, 109, 130, 131, 143–144 \*
- Амфиболы 31, 36, 42, 43, 51, 52, 66–68, 73, 76, 80, 85, 106, 107, 115–117, 118, 123, 130, 131
- Анатаз 76, 80, 130, 153, 154
- Апатит 42, 51, 53, 68, 76, 80, 84, 85, 98, 104, 105, 125, 130, 147–148, 153
- Арсенопирит 80, 104, 105, 129, 134
- Барит 39, 42, 52, 76, 80, 84, 85, 98, 105, 130, 133, 134, 137, 141, 148, 152
- Брукит 80, 109, 130, 153, 154
- Вольфрамит 5, 37, 39, 76, 80, 84, 85, 93, 104–106, 111–112, 113, 122, 130, 133, 134, 145, 150
- Галенит 76, 80, 84, 104, 105, 129, 134, 142
- Гематит 52, 76, 80, 84, 105, 106, 109, 113
- Гидроксиды железа 85, 111, 114–115, 118, 136
- Гранаты 31, 37, 51, 52, 66, 73, 76, 80, 84, 85, 105–107, 110, 118, 125, 128, 130, 131, 144, 147, 149, 156, 157
- Золото самородное 5, 26, 30, 37, 39, 54, 68, 76, 78, 80, 84, 94, 104, 105, 122, 129, 134, 136, 137, 139–141, 142, 151, 152
- Ильменит 5, 26, 31, 36, 42, 43, 49, 51, 52, 66, 76, 80, 84, 105–107–111, 117, 122, 123, 126, 128, 147
- Касситерит 5, 26, 31, 37, 39, 76, 80, 84, 95, 99, 104–107, 112, 113, 122, 129–131–133, 134, 145, 150
- Кианит (дистен) 76, 80, 85, 105, 130, 149
- Киноварь 39, 76, 80, 84, 85, 95, 99, 104, 105, 130, 152–153
- Колумбит 39, 76, 80, 104–106, 112–113, 133
- Корунд 80, 85, 98, 105, 109, 130, 131, 149, 153, 155, 157
- Ксенотим 37, 39, 76, 105, 107, 123–124, 125, 130
- Лейкоксен 66, 80, 108, 109, 122, 130, 154, 157–158
- Лимонит 51, 53, 66–69, 76, 80, 84, 85, 106, 114, 118, 126, 142
- Магнетит 31, 36, 42, 43, 51–53, 60, 76, 80, 84, 104–106, 110, 111, 114, 115, 122, 126, 128, 141, 143
- Марказит 80, 84, 105, 115, 129, 141
- Молибденит 80, 84, 104, 105, 129, 135
- Монацит 5, 26, 37, 76, 80, 84, 85, 105, 107, 109, 124–125, 128, 131, 147, 153, 157
- Оливин 51, 76, 80, 85, 104, 105, 107, 111, 117–118, 130, 131, 136, 143
- Ортит 85, 105, 106, 116, 122–123–125, 130, 157
- Пирит 30, 31, 43, 52, 53, 66, 68, 69, 76, 80, 84, 104, 105, 114, 115, 129, 141–142
- Пироксены 31, 42, 51, 52, 66, 69, 73, 76, 80, 85, 106, 107, 111, 116, 118–119, 121, 131
- Платиноиды 5, 26, 37, 78, 80, 84, 104, 105, 111, 118, 129, 135–136
- Рутил 5, 26, 31, 51–53, 68, 76, 80, 85, 105, 109, 124, 128, 130, 141, 143, 147, 149, 153–154–156
- Серебро самородное 80, 129, 137–139

---

\* Подчеркнуты номера страниц, на которых приведено основное описание минералов.

Ставролит 31, 76, 80, 85, 107, 125, 126, 130, 149  
Сфалерит 76, 80, 84, 85, 104–106, 129, 130, 133, 142  
Сфен (титанит) 37, 42, 43, 51, 52, 76, 80, 85, 107, 124–126–127, 130, 153  
Танталит 39, 76, 78, 80, 85, 104–106, 112–113, 133  
Топаз 76, 80, 85, 98, 104, 105, 112, 113, 130, 133, 144–145, 150  
Турмалин 42, 43, 51, 76, 80, 85, 98, 104–107, 112, 113, 120, 121, 130, 131, 133, 134, 141, 145, 150, 153, 157  
Уранинит 80, 105, 106, 109, 124, 129  
Флюорит 39, 51, 76, 80, 84, 85, 98, 99, 104, 105, 112, 113, 122, 130, 133, 134, 137, 145, 149–151, 152  
Халькопирит 76, 80, 84, 104, 105, 129, 142–143  
Хромит 51, 52, 66, 68, 76, 84, 106, 110, 111, 118, 156  
Хромшпинелиды 80, 104–106, 109, 111, 118, 136, 143, 144  
Циркон 5, 26, 31, 42, 51–53, 55, 68, 76, 80, 84, 85, 98, 99, 105, 109, 124, 125, 128, 130, 131, 141, 145–147, 156, 157  
Шеелит 39, 55, 76, 80, 84, 85, 93, 98, 104, 105, 113, 130, 141, 145, 151  
Шпинель 80, 85, 105–107, 109, 130, 131, 136, 154–155, 157  
Шпинелиды 109  
Эпидот 31, 51, 52, 60, 66–69, 76, 80, 85, 105, 107, 111, 116, 122, 131

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Часть I. Методика полевых шлиховых работ . . . . .</b>	<b>5</b>
Глава 1 Методика шлиховых поисков . . . . .	7
1.1 Организация работ . . . . .	7
1.2 Шлиховые поиски на речных студиях геологоразведочных работ . . . . .	10
1.3 Методика шлихового опробования речных систем . . . . .	16
1.4 Методика шлихового опробования делювиальных и элювиальных отложений . . . . .	23
1.5 Методика шлихового опробования прибрежно-морских отложений . . . . .	26
1.6 Документация шлиховых проб и шлихов . . . . .	28
1.7 Промывка шлиховых проб . . . . .	32
1.8 Специализированные виды опробования при шлиховых поисках . . . . .	39
Глава 2 Методика обработки результатов шлиховых поисков . . . . .	50
2.1 Математическая обработка результатов минералогического исследования шлихов . . . . .	50
2.2 Графическая обработка результатов шлиховых поисков . . . . .	53
2.3 Методика составления специализированных графических материалов по результатам шлиховых поисков . . . . .	63
<b>Часть II Методика лабораторного минералогического анализа шлихов . . . . .</b>	<b>73</b>
Глава 3 Методика фракционирования шлихов . . . . .	75
3.1 Основные принципы фракционирования . . . . .	75
3.2. Подготовка шлихов к анализу . . . . .	77
3.3. Фракционирование шлихов . . . . .	79
Глава 4. Методика диагностики минералов шлихов . . . . .	87
4.1. Визуальные методы диагностики . . . . .	87
4.2. Кристаллооптические методы диагностики . . . . .	90
4.3. Микрохимическая диагностика минералов . . . . .	92
4.4. Люминесцентные методы диагностики . . . . .	97
4.5. Количественный минералогический анализ шлихов . . . . .	100
<b>Часть III. Характеристика главных шлихообразующих минералов . . . . .</b>	<b>104</b>
Глава 5. Магнитные минералы шлихов . . . . .	106
5.1. Непрозрачные магнитные минералы . . . . .	107
5.2. Прозрачные и полупрозрачные магнитные минералы . . . . .	
Глава 6. Диамагнитные минералы шлихов . . . . .	129
6.1. Непрозрачные диамагнитные минералы . . . . .	131
6.2. Прозрачные и полупрозрачные диамагнитные минералы . . . . .	143
<b>Список рекомендуемой литературы . . . . .</b>	<b>158</b>
<b>Указатель основных шлихообразующих минералов . . . . .</b>	<b>159</b>