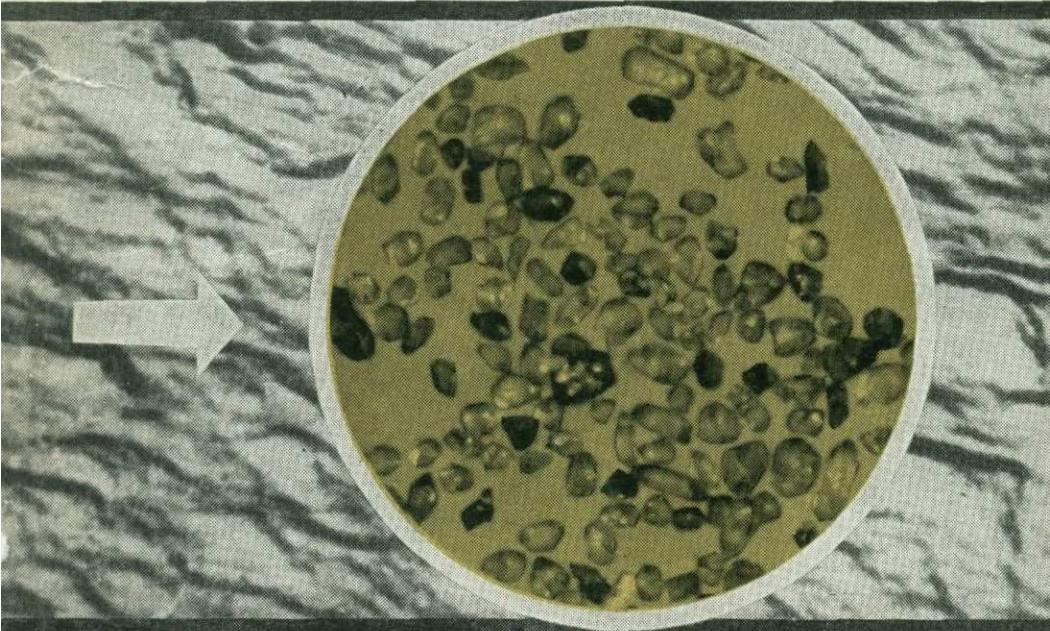


Е. М. ЗАХАРОВА

ШЛИХОВЫЕ ПОИСКИ И АНАЛИЗ ШЛИХОВ



Е. М. ЗАХАРОВА

ШЛИХОВЫЕ ПОИСКИ И АНАЛИЗ ШЛИХОВ

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия для геологоразведочных и нефтяных техникумов

18874



ИЗДАТЕЛЬСТВО «Н Е Д Р А»

Москва 1974



Захарова Е. М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. М., «Недра», 1974, 160 с.

Первая часть книги посвящена изложению методики шлиховых поисков. В ней затрагиваются вопросы формирования ореолов расцветания, методика шлихового опробования при разных видах поисковых работ, техника промывки шлиховых проб и их документация. Во второй части рассматривается методика лабораторного минералогического анализа шлихов, подробно освещаются методы разделения шлихов на фракции и минералогический анализ фракций с применением физических, оптических, микрохимических и люминесцентных методов исследований. Эта часть содержит определительные таблицы минералов и описание главнейших минералов шлихов. В третьей части кратко излагается методика обработки результатов шлиховых поисков и составления шлиховых карт различных типов.

Учебное пособие рассчитано на учащихся средних геологоразведочных учебных заведений и может быть использовано при проведении практических и лабораторных занятий.

Таблиц — 17, иллюстраций — 34, список литературы — 40 назв.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое учебное пособие преследует цель дать основные представления о методике шлихового опробования, лабораторного исследования шлихов и составления различных типов шлиховых карт с объяснительными записками к ним. Шлиховые поиски все шире и шире внедряются в практику геологосъемочных и поисковых работ, и большой круг геологов нуждается в методическом руководстве по полевым и лабораторным исследованиям. Руководства и пособия, изданные ранее, касались в основном методов изучения шлихов в лабораториях (Чуева, 1950; Копченова, 1951) и лишь в некоторых из них затрагивались вопросы полевых шлиховых работ (Озеров, 1959; Захарова, 1960; Кухаренко, 1961; Ложкин, 1962 г.). Указанные работы в значительной степени устарели и стали практически библиографической редкостью. При подготовке молодых специалистов в средних и высших учебных заведениях необходимо учебное пособие, охватывающее все аспекты шлиховых поисков. Учитывая это, автором была сделана попытка свести в единое целое имеющиеся в настоящее время сведения с использованием собственного опыта.

Шлиховой метод давно применяется в практике поисковых работ. Первоначально он имел чисто минералогическое значение, но постепенно совершенствовались методы лабораторных исследований шлихов и расширялись области применения шлихового метода. Особенно большую роль в развитии шлиховых поисков в Советском Союзе сыграли исследования С. С. Смирнова в начале 30-х годов, положившие начало использованию вторичных ореолов рассеяния рудного вещества для поисков коренных месторождений полезных ископаемых. Совершенствование полевых и лабораторных методов исследования и расширение специально подготовленных кадров поисковиков, а также планомерное проведение на территории Советского Союза разнообразных поисковых работ выдвинуло шлиховой метод в число ведущих поисковых методов. В настоящее время шлиховое опробование надежный и вместе с тем наиболее простой метод поисков, позволяющий в сжатые сроки дать общую оценку перспективности обширных площадей в от-

ношении коренных и россыпных месторождений важных в промышленном отношении полезных ископаемых. Шлиховое опробование играет роль одного из главнейших поисковых элементов, сопровождающих геологическую съемку любых масштабов.

Шлиховой метод применяется при поисках тех месторождений, рудные минералы которых характеризуются физико-химической устойчивостью в зоне гипергенеза, обладают высокой твердостью и большим удельным весом. К ним относятся месторождения золота, платины, алмазов, кассiterита, вольфрамита, шеелита, киновари, титанатов, tantalо-ниобатов и других полезных ископаемых. Шлиховые исследования применимы также при сравнительном изучении ассоциаций тяжелых минералов, свойственных различным геологическим или рудным комплексам, с целью их корреляции.

Дальнейшее развитие шлихового метода идет по двум основным направлениям. С одной стороны, совершенствуется методика полевых исследований и разрабатываются теоретические основы поисков. В настоящее время вышел в свет ряд работ, обобщающих опыт практической работы по шлиховым поискам месторождений различных видов сырья. С другой стороны, существенных доработок и совершенствования требует методика лабораторных исследований шлихов. Большое внимание уделяется вопросам фракционирования шлихов и разработке современной аппаратуры. Наряду с совершенствованием магнитных сепараторов начинают внедряться в практику лабораторных исследований электрические методы разделения минералов, близких по величинам магнитной восприимчивости. Разрабатывается новый метод магнитно-гидродинамической сепарации. Существенное значение приобретает разработка более совершенных методов диагностики минералов шлихов с использованием оптических, люминесцентных, микрохимических, спектральных и рентгеновских анализов, позволяющих сравнительно быстро и надежно диагностировать сложные для определения минералы. Кроме того, рационализируется и уточняется методика количественно-минералогического анализа шлихов.

Все перечисленные аспекты шлихового метода поисков нашли отражение в предлагаемом учебном пособии. Автор считает своим долгом выразить глубокую признательность за ценные советы и помочь в работе В. И. Смирнову и коллективу кафедры полезных ископаемых геологического факультета МГУ. Автор будет благодарен всем лицам за высказанные критические замечания и желания.

ЧАСТЬ I

ШЛИХОВЫЕ ПОИСКИ

ГЛАВА I

ОБРАЗОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА

Одним из наиболее важных прямых поисковых признаков месторождений являются ореолы рассеяния рудного вещества, создающиеся вокруг рудных тел. По ореолам практически и производятся поиски различных месторождений полезных ископаемых. Основная задача поисковых работ — выявление и оконтуривание подобных участков с аномальным содержанием в породах рудных компонентов. Однако не каждый выявленный ореол рассеяния может быть связан с промышленным месторождением полезного ископаемого, т. е. наличие такого ореола не всегда является признаком месторождения. Так, коренное месторождение первичных руд может быть нацело разрушено в результате воздействия агентов поверхностного выветривания и только как след ранее существовавших рудных тел может сохраниться ореол рудного вещества в рыхлых образованиях прилегающих к нему участков. В благоприятной геологической и геоморфологической обстановке богатый ореол рассеяния может образоваться за счет разрушения массива коренных пород с рассеянной вкрапленностью рудного вещества, не достигающей промышленных величин; в этом случае мы будем иметь ложную аномалию. Например, в одном из районов Северного Казахстана старателями разрабатывались мелкие россыпи кассiterита, отличающиеся высоким содержанием металла. Детальные поисковые работы, направленные на выявление коренных рудных тел, не привели к желаемым результатам. Оказалось, что первичная оловорудная минерализация была связана с грейзенизованными участками гранитов и практического интереса не представляла. Поэтому обнаружение какого-либо ореола полезного компонента требует постановки детальных поисково-разведочных работ для выяснения промышленной ценности связанного с этим ореолом коренного оруденения.

Таким образом, под ореолами рассеяния в широком смысле слова следует понимать участки повышенной концентрации руд-

ного вещества вокруг месторождений, генетически связанные с формированием или разрушением этих месторождений (рис. 1). Повышенным содержанием металлов отмечаются пути движения рудообразующих растворов при образовании месторождений (зоны дробления, по которым проникают растворы), а также

пути сноса рудного материала при его разрушении за пределы рудных полей (шлейфы обломочных пород по логам и ручьям, размывающим коренную жилу). Такого рода зоны с аномальным содержанием рудного вещества обычно имеют вытянутую форму и называются потоками рассеяния.

Повышенные концентрации рудного вещества в ореоле или потоке рассеяния в соответствии с современными представлениями математической статистики определяются по формуле: $C(\text{аном.}) = C(\text{фон.}) + 3S$ (стандартное отклонение)*.

По условиям и времени формирования по отношению к рудным телам ореолы и потоки рассеяния обычно разделяются на эндогенные и экзогенные (табл. 1). Ореолы рассеяния располагаются в пространстве закономерно по отношению к рудным телам и могут быть подразделены на разновидности. По положению относительно дневной поверхности можно рассматривать ореолы открытые, доступные непосредственному изучению с поверхности, и скрытые (слепые), т. е. никогда не выходившие на поверхность, или погребенные после их формирования какими-либо геологическими образованиями (рис. 2).

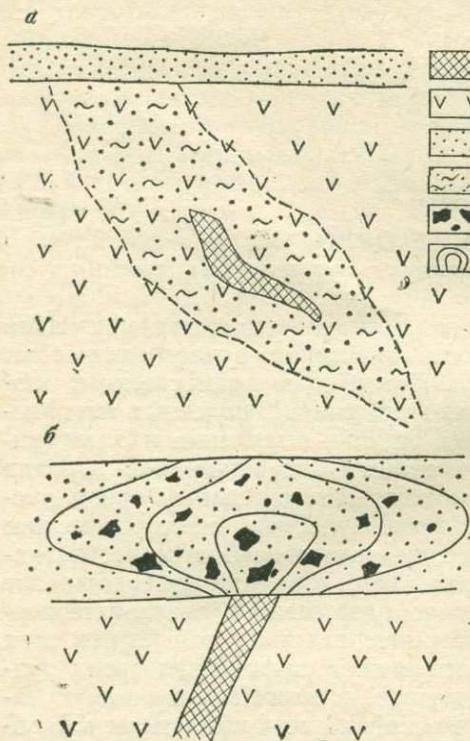


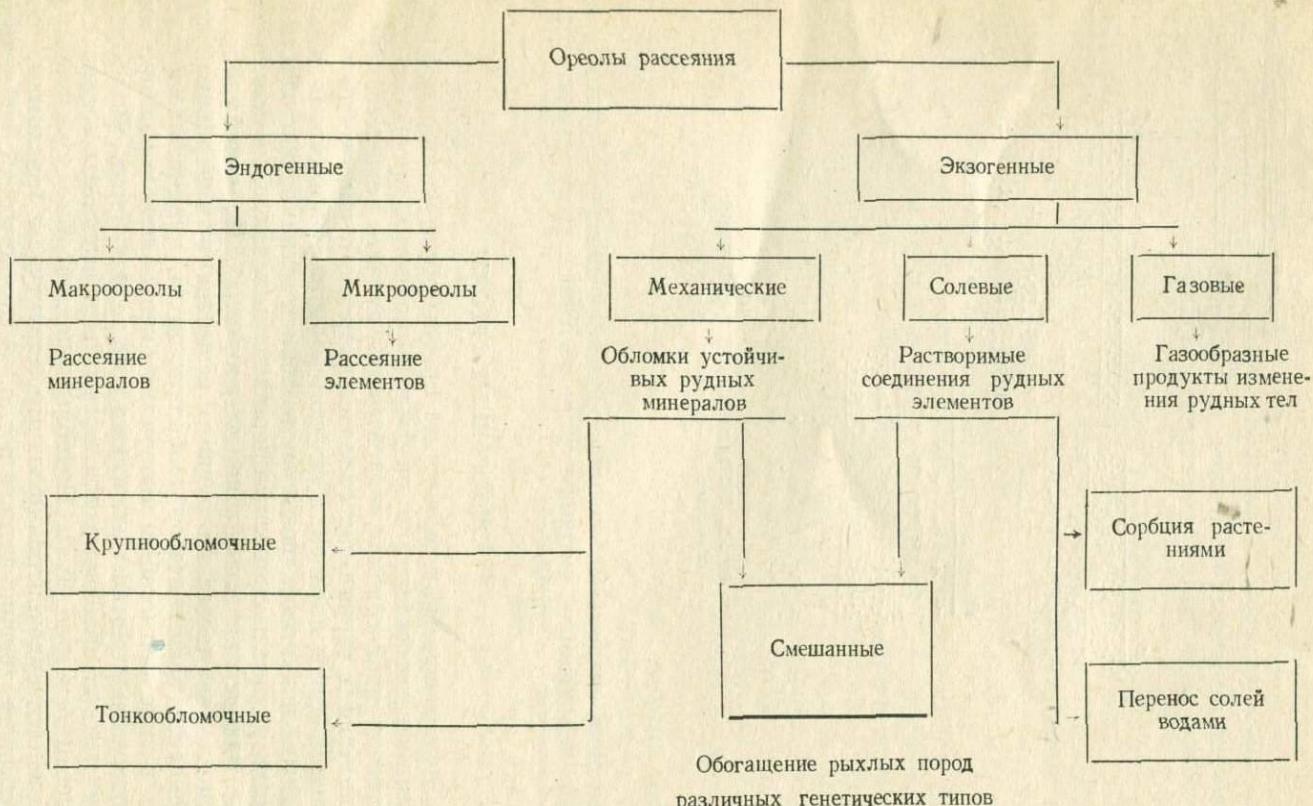
РИС. 1. СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭНДОГЕННОГО (а) И ЭКЗОГЕННОГО (б) ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ:

1 — рудное тело; 2 — коренные вмещающие породы; 3 — рыхлые образования; 4 — рассеянная рудная минерализация; 5 — рудные обломки; 6 — изоконцентраты

жению относительно дневной поверхности можно рассматривать ореолы открытые, доступные непосредственному изучению с поверхности, и скрытые (слепые), т. е. никогда не выходившие на поверхность, или погребенные после их формирования какими-либо геологическими образованиями (рис. 2).

* Подробнее это изложено в работе «Математические методы обработки результатов массовых анализов при геохимических поисках». — «Вестн. МГУ. Геология», 1964, № 6.

Классификация ореолов рассеяния



В настоящее время изучению ореолов рассеяния, условий их формирования и поискового значения уделяется очень большое внимание. Наиболее часто при шлиховых поисках используются экзогенные ореолы рассеяния, по ним имеется уже большой фактический материал и намечаются принципы его интерпретации.

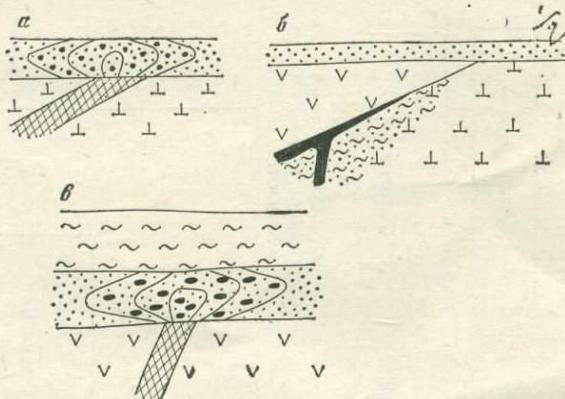


Рис. 2. ТИПЫ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ:
а — открытые; б — скрытые; в — погребенные

Изучение эндогенных ореолов рассеяния связано с рядом трудностей, и поисковая интерпретация получающихся результатов еще недостаточно разработана.

ЭНДОГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ

Эндогенные (или первичные) ореолы образуются при формировании месторождений в результате развития процессов метасоматоза рудной стадии: концентрация рудного вещества в рудолокализующих структурах сопровождается его рассеянием в прилегающих к ним породах. При этом во вмещающих породах вблизи рудных тел может возникнуть тонкая вкрапленность или прожилки рудных и сопровождающих их минералов, не всегда заметные макроскопически (зона макроореола). По мере удаления от рудных тел рассеяние рудного вещества в минеральной форме сменяется рассеянием рудообразующих и индикаторных элементов в виде примесей в минералах вмещающих пород при их гидротермально-метасоматических изменениях (зона микроореола). Эти участки ореольных зон могут быть выявлены только аналитически (см. рис. 1, а). Подобные аномальные зоны часто приурочены к рудоконтролирующим структурам (разломам, зонам дробления, трещиноватости и т. п.) и согласуются с направлением перемещения рудообразующих растворов.

Рассеяние рудообразующих и сопутствующих им элементов может происходить путем диффузии через неподвижные поровые растворы или путем инфильтрации через трещины и поры пород. В связи с этим возникают локальные аномальные зоны, характеризующиеся быстрым уменьшением содержания элементов по мере удаления от рудного поля, называемые диффузионными ореолами, или крупные по размерам инфильтрационные ореолы, отличающиеся крайне непостоянным характером аномалий. Развитие ореолов рассеяния происходит в основном вдоль тектонических нарушений, зон дробления, трещин, а также пластов проницаемых пористых пород, по которым повышенные концентрации рудных элементов отмечаются на расстоянии десятков и сотен метров от рудных тел. В результате морфология эндогенных ореолов рассеяния повторяет морфологию рудных тел (хотя и в упрощенных контурах), но размеры ореолов значительно превышают размеры рудных тел. Особенностью эндогенных ореолов является увеличение их размеров и усложнение очертаний вокруг более крупных и сложных по морфологии рудных тел. Максимальные размеры ореолов отвечают направлению движения рудообразующих растворов и для большинства эндогенных месторождений имеют вертикальную или близкую к ней ориентировку. Обычно ореолы вытянуты вверх по восстанию рудных зон.

Большое значение в процессах формирования эндогенных ореолов рассеяния имеет состав вмещающих пород. Химически инертные силикатные породы способствуют развитию протяженных ореолов; в химически активных карбонатных породах размеры ореолов резко сокращаются, даже при хорошей их проницаемости. Большую роль в развитии ореолов рассеяния играет также наличие «экранов», «ловушек» и других структурных элементов, контролирующих локализацию руд.

Вещественный состав ореолов находится в прямой зависимости от состава самих месторождений, но случаи полной аналогии довольно редки. Обычно эндогенные ореолы рассеяния многометальные и, являясь естественным продолжением рудных тел во вмещающих породах, отражают в своем составе зональность и самого процесса рудообразования. При этом в ореолах отдельных месторождений обычно выделяется один или несколько главных элементов, являющихся прямыми индикаторами, генетически связанными с рудными минералами, и второстепенные элементы, входящие в состав минералов дорудной и послерудной стадий и служащие косвенными индикаторами оруденения.

Как показали работы С. В. Григоряна и Е. М. Янишевского (1968 г.), Л. Н. Овчинникова и Э. Н. Баранова (1970 г.), Г. И. Россмана (1966 г.), Е. М. Захаровой (1968 г.) и др., эндогенные ореолы рассеяния имеют зональное строение, что обусловлено рядом факторов и в первую очередь миграционной способностью элементов. Во внутренней зоне ореола концентрируются малоподвижные элементы (Pb , Ba , Ag , Bi), а во внешней — легкоподвиж-

ные элементы (Cu, Zn, As, Mo). Для летучих элементов (таких, как Hg и J) установлены так называемые «смешенные» ореолы рассеяния, значительно удаленные от рудных тел (до 300—350 м) по восстанию рудоконтролирующих структур. Зональность строения эндогенных ореолов рассеяния имеет огромное поисковое значение, так как позволяет судить по комплексу обнаруженных в ореоле элементов о глубине его эрозионного среза и, соответственно, о возможной глубине залегания самих первичных руд.

ЭКЗОГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ

Вторичные ореолы рассеяния, имеющие наибольшее поисковое значение, создаются в экзогенных условиях в процессе механического, физико-химического и биогенного выветривания и разрушения коренных месторождений. В связи с многообразием факторов поверхностного выветривания миграция первичного рудного вещества может идти в минеральной или химической форме, что приводит к возникновению вокруг рудных тел площадных ореольных зон или отчетливо вытянутых потоков рассеяния, расчленяющихся на ряд разновидностей по генезису.

При механическом разрушении химически стойких первичных руд в результате развития процессов денудации происходит дезинтеграция коренных рудных тел на обломки, а далее — на сростки или отдельные минеральные зерна (см. рис. 1, б). При этом в составе образующегося обломочного материала могут сохраняться только наиболее устойчивые минералы (кассiterит, золото, платина, алмазы и др.), которые не будут механически уничтожены в массе перемещающихся рыхлых пород. Постепенно продвигаясь от коренного источника в пониженные участки рельефа, эти минералы веерообразно распределяются в элювиально-делювиальных отложениях и создают механические площадные ореолы или потоки рассеяния. К месторождениям с отчетливыми механическими ореолами относятся месторождения золота, платины, алмазов, кассiterита, ильменита, рутила, монацита, циркона, вольфрамита, колумбита, титанатов, тантало-ниобатов, иногда киновари.

Механические аномалии формируются среди обломочных пород различных генетических типов (рис. 3). В равнинных районах происходит заражение рудным веществом элювия, перекрывающего рудные тела; возникают остаточные механические ореолы, окаймляющие рудные выходы и имеющие площадной характер. Очертания подобных аномалий в плане сложны, имеют неправильную форму. Максимально обогащенные участки ореолов пространственно тяготеют к выходам коренных рудных тел. Обломочный материал обычно почти не окатан и не сортирован, и рудные минералы заключены в обломках жильной массы или окаторудных метасоматитов. В условиях пересеченного рельефа продукты разрушения рудных тел под воздействием поверхност-

ных факторов миграции смещены от выходов рудных тел в пониженные участки и фиксируются на склонах среди делювиального материала или в русловом аллювии. В этих случаях возникают так называемые смещенные, или оторванные, аномалии, которые теряют прямую пространственную связь с коренным месторождением из-за удаления продуктов разрушения на значи-

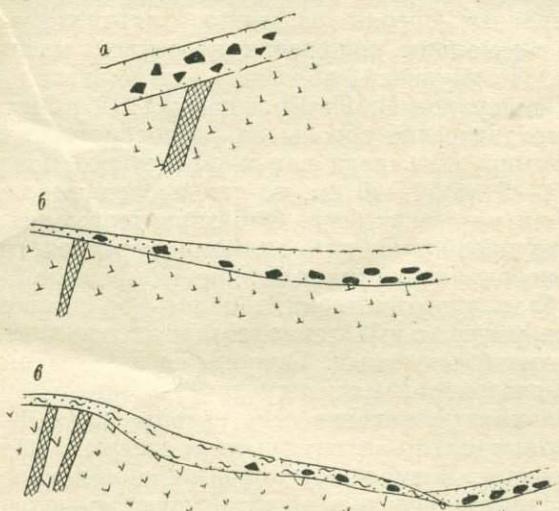


РИС. 3. ТИПЫ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К РУДНОМУ ТЕЛУ:

a — остаточный; *б* — смещенный; *в* — оторванный

тельные расстояния. Прогнозирование положения коренного источника рудного вещества в этих случаях требует дополнительных исследований. По форме такие аномалии имеют тенденцию к удлинению в направлении понижения рельефа и постепенно из площадных переходят в линейные. По мере удаления обломочного материала от коренного источника увеличивается степень его сортированности и окатанности, одновременно происходит дезинтеграция зерен в обломках вплоть до полного высвобождения зерен рудных минералов из сростков.

Сложность минерального состава первичных руд нередко определяет и разнообразие в характере их изменения в гипергенных условиях. Совместное воздействие агентов механического и физико-химического выветривания на руды сложного состава, представленные устойчивыми и легко окисляющимися минералами, определяет одновременное рассеяние рудного вещества в механической и солевой форме. В связи с этим наиболее часто месторождения сопровождаются сложными аномалиями смешанного

типа, в которых первичное рудное вещество представлено обломками физически стойких рудных минералов и сорбированными соединениями вторичных производных неустойчивых первичных минералов. Подобные ореолы возникают обычно среди покрова молодых рыхлых отложений и носят название смешанных либо химических.

При шлиховых поисках обычно используют механические и отчасти смешанные ореолы рассеяния для прогнозирования по выявленным аномалиям положения коренных месторождений в пространстве. По крупности обломков и агрегатному состоянию в них рудных минералов В. Н. Красников (1965) предлагает подразделять механические ореолы на разновидности. Если рудная аномалия формируется среди валунно-галечного материала с обломками от 1—2 до 10—20 см, то такие ореолы называют крупнообломочными механическими. Они характерны для ледниковых отложений, крупнообломочного аллювия в руслах горных рек и глыбового элювия равнинных районов. При сильной степени измельчения обломочного материала вплоть до дезинтеграции его на отдельные минеральные зерна создающиеся в нем аномалии называют тонкообломочными. Они связаны с рыхлыми отложениями самых разнообразных генетических типов.

Крупнообломочные механические ореолы могут быть фиксированы среди элювиально-делювиальных, речных, ледниковых и других отложений. Возможности образования крупнообломочных ореолов рассеяния определяются устойчивостью руд против физического и химического выветривания и активностью эрозионных процессов на участке месторождения, определяющих соотношение между накоплением и удалением продуктов выветривания и денудации. При условиях, благоприятных для разрушения месторождений, в зависимости от характера рельефа могут возникать различные виды аномалий. На головах рудных тел и в непосредственной близости от них (десятки метров) образуются элювиальные рудные развалы и глыбовые россыпи. Делювиальные рудные свалы на пологих склонах смешены по отношению к рудным выходам на сотни метров, но не доходят до русел ближайших водных потоков. Если рудное месторождение вскрывается в борту долины, то рудные обломки и гальки могут быть фиксированы среди аллювиальных отложений на больших расстояниях от коренных месторождений (многие километры и первые десятки километров). В областях регионального оледенения и в высокогорных районах с местным оледенением также возникают крупнообломочные аномалии, причем рудные валуны ледниковых отложений перемещаются на весьма большое расстояние от коренных выходов (многие десятки — первые сотни километров) и сочетаются с элювиальными, делювиальными и аллювиальными ореолами.

Рудные развалы и глыбовые россыпи образуются только при разрушении месторождений весьма устойчивых руд, которые могут сохраняться в условиях длительного выветривания. К ним от-

носятся магнетит-гематитовые, титаномагнетитовые, кварц-касситеритовые и другие руды. Большое значение для образования этих ореолов имеет относительная крепость вмещающих пород: формирование рудных развалов и глыбовых россыпей облегчается при наличии выветривающихся вмещающих пород за счет избирательного удаления продуктов их разрушения и, наоборот, затрудняется в крепких вмещающих породах, особенно при мало-мощных рудных телах, обломки которых легко теряются среди мощных каменных развалов. Конфигурация рассматриваемых ореолов определяется крутизной склонов и расположением рудных выходов на них; в схеме они имеют форму треугольного или трапецидального веера, расширяющегося по мере удаления от коренного источника рудного материала.

Характер окатанности и размеры валунов и галек позволяют судить о вероятном расстоянии до их коренных источников. Степень окатанности обломков зависит от состава и способа переноса пород. Рудные обломки окатываются и истираются быстрее, если они перемещаются с обломками более крепких пород. При скольжении их совместно с элювиальной и делювиальной массой они слабо обрабатываются и сохраняют угловатые очертания. Особенно энергично истираются валуны при переносе в речном материале. По данным В. И. Смирнова, для одного из районов Тянь-Шаня на расстоянии до 0,5—1,0 км от коренного источника рудные обломки почти не окатываются; на расстоянии до 3—4 км они грубо окатаны, но сохраняют первоначальные очертания; на расстоянии более 3—4 км обломки представлены полностью окатанными валунами.

А. В. Хабаков предложил подразделить обломки по степени их окатанности на пять классов:

- 1) нулевой класс (коэффициент окатанности $K=0$)*;
- 2) угловатые гальки со слегка обтертыми ребрами ($K=0,25$);
- 3) угловатые окатанные гальки со слаженными ребрами, сохраняющие исходную форму ($K=0,5$);
- 4) хорошо окатанные гальки, сохраняющие следы первоначальной формы ($K=0,75$);
- 5) полностью окатанные гальки ($K=1,0$).

Таким образом, изучение разнообразных типов крупнообломочных ореолов рассеяния, их контуров, состава рудной гальки и степени ее окатанности дает весьма ценный в поисковом отношении материал и позволяет высказать суждение о возможном пространственном положении месторождения и о составе руд. Ведущими методами поисков по этим ореолам являются обломочно-речной и валунно-ледниковой.

Тонкообломочные механические ореолы рассеяния называются также еще шлиховыми ореолами. В настоящее время они весьма

* Коэффициент окатанности K для пробы находится как средневзвешенное значение в зависимости от числа обломков каждого класса и общего их числа.

широко используются при поисках, особенно в среднегорных и низкогорных районах, где эрозия и аккумуляция развиты примерно в одинаковой степени и в то же время обломочный материал переносится достаточно далеко от его коренного источника и представлен мелко- и тонкообломочными фракциями.

Освобождение устойчивых рудных минералов от жильной массы и вмещающих пород происходит главным образом в элювии и делювии и отчасти в головной части аллювиального ореола. Далее в аллювиальном потоке происходит постепенное измельчение и окатывание рудных зерен, причем на определенной стадии транспортировки окатывание прекращается, а измельчение все же продолжается до полного распыления рудного вещества. Характер и интенсивность этого процесса зависят от твердости, хрупкости, формы и размеров минеральных зерен, а также от их химической устойчивости. Обычно в составе шлиховых ореолов могут быть встречены устойчивые минералы, обладающие высокой плотностью — алмаз, золото, платина, ильменит, рутил, кассiterит, циркон, колумбит, tantalит, монацит и др.

Шлиховые ореолы могут формироваться в рыхлых отложениях всех генетических типов. Однако наибольшее поисковое значение имеют аллювиальные и элювиально-делювиальные ореолы, обычно тесно взаимосвязанные. Интерпретация закономерностей пространственного размещения тонкообломочных ореолов дает обильный материал по поискам коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых. Ведущий метод поисков в этом случае — шлиховой.

Пространственно тонкообломочные ореолы, как правило, смешены или оторваны от коренного источника рудного вещества, так как рудные минералы подвергаются длительной транспортировке агентами поверхности выветривания. В связи с этим в плане аномалии имеют неправильную форму с тенденцией удлинения и сужения в направлении понижения рельефа и постепенно переходят в линейновытянутые потоки рассеяния, подчиненные в своих контурах очертаниям гидрографической сети. Литологически аномалии связаны главным образом с гравийно-песчаными фракциями рыхлых образований, реже с галечниками, алевритовым и алевропелитовым материалом. Для этих отложений характерна прежде всего хорошая механическая сортировка обломочного материала, при которой отчетливо проявляется также и гравитационная дифференциация рудного вещества. Плотность рудных минералов играет большую роль в их размещении по вертикали среди рыхлых отложений. При гравитационной дифференциации обломочного материала скорость перемещения обломков пород или зерен отдельных минералов в значительной степени определяется их размерами и плотностью. Для тяжелых зерен рудных минералов вертикальное их перемещение начинает преобладать над горизонтальным, в результате чего они концентрируются в нижних горизонтах рыхлых отложений, лежащих непосредственно

на ложе коренных пород. Поверхность коренных пород, над которой происходит обогащение рыхлых образований зернами рудных минералов, называется **плотиком**. Следовательно, чем выше плотность минералов, тем отчетливее и быстрее происходит их гравитационная концентрация в нижних приплотниковых слоях рыхлых отложений, лежащих на поверхности коренных пород.

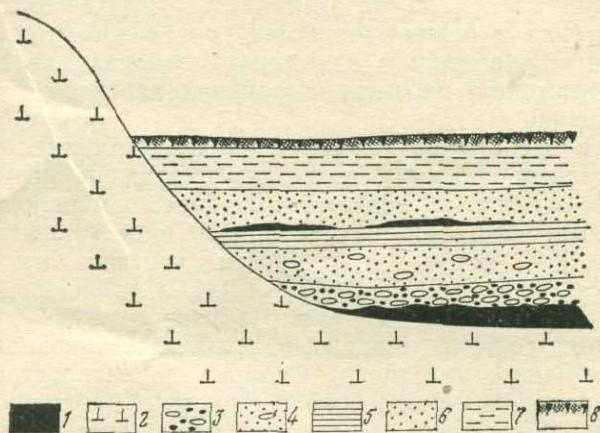


РИС. 4. СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ИСТИННОГО И ЛОЖНОГО ПЛОТИКОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ АЛЛЮВИЯ:

1 — рудный пласт; 2 — коренные породы (истинный плотик); 3 — галечник и гравий; 4 — песок с галькой; 5 — глина (ложный плотик) 6 — песок; 7 — суглинок; 8 — почва

Аллювиальный материал обычно представлен чередованием пород различного гранулометрического состава — грубообломочные галечные и песчано-гравийные слои, обогащенные тяжелыми минералами, сменяются по вертикали тонкообломочными глинистыми горизонтами, практически лишенными зерен рудных минералов. Такой неравномерный характер распределения минералов большой плотности в разрезе рыхлых образований приводит к возникновению нескольких обогащенных горизонтов. В связи с этим на практике различают два типа плотиков — ложные и истинные. Ложный плотик — глинистые горизонты, над поверхностью которых происходит некоторая концентрация зерен тяжелых минералов. Истинный плотик — поверхность коренных пород, на которой располагается наиболее богатый рудный пласт (рис. 4).

В составе шлиховых аномалий, связанных с тонкообломочными ореолами, можно встретить минералы, непосредственно представляющие полезные ископаемые, и минералы-спутники. Найдки рудных минералов среди массы гравийно-песчаного рыхлого материала редки. Значительно чаще можно встретить индикаторные

минералы-спутники, являющиеся указателями на первичную рудную минерализацию определенного типа. Таковыми являются минералы большой плотности, устойчивые в поверхностных отложениях, которые генетически связаны с первичными рудными минералами. Наличие подобных минералов в шлиховых ореолах можно использовать как поисковый признак на определенные группы коренных месторождений. Так, пироп, пикроильменит и хромдиопсид являются указателями на наличие месторождений алмазов; топаз и берилл являются спутниками кассiterита и вольфрамита; турмалин в некоторых районах характерен для рыхлых отложений, развитых в районах коренных золоторудных месторождений.

Однако следствием дифференциации обломочного материала при его транспортировке является нарушение первоначальных ассоциаций минералов, свойственных коренным породам, и замена их иными ассоциациями, где подбор идет по признакам близости размеров, формы и плотности частиц. Тем не менее, намечаются определенные связи между отдельными минералами в составе рыхлых отложений, что может служить руководством при поисках (табл. 2). Например, в шлихах аллювиальных отложений рек одного из районов Сибири, где распространены золотоносные россыпи, золото сопровождается цирконом, рутилом, монацитом, турмалином, шеелитом, пиритом, арсенопиритом и другими минералами.

Очень важное поисковое значение имеет определение дальности переноса рудных минералов от коренных источников до участков концентрации в шлиховых ореолах. О дальности транспортировки обломков рудных зерен можно судить по степени окатанности и по сохранности сростков рудных минералов с другими минералами или с вмещающей породой. В непосредственной близости от коренного источника сростки в ореолах сохраняются. По мере удаления от коренного источника обломки зерен рудных минералов все более истираются, окатываются.

Устойчивость обломочных частиц при переносе определяется их размером, формой, плотностью и абразивной прочностью, которая зависит от твердости минерала, его хрупкости, числа и совершенства возможных плоскостей спайности. В общем случае абразивная прочность минералов прямо пропорциональна их твердости и вязкости и обратно пропорциональна количеству направлений и степени совершенства спайности; существенное влияние оказывают также кристаллофизические свойства минералов. А. А. Кухаренко (1961) приводит следующие тяжелые минералы россыпей по степени возрастания их абразивной прочности: золото, киноварь, вольфрамит, колумбит, платина, апатит, монацит, гематит, пирит, ильменит, магнетит, кассiterит, хромшпинелиды, циркон, турмалин, осмистый иридий, альмандин, топаз, рутил, шпинель, корунд, алмаз. Дальность переноса минералов в поверхностных условиях зависит от способа переноса поверхностными

Типоморфные ассоциации минералов в шлихах

Минерал	Спутники в шлихах	Коренные источники
Алмаз	Магноильменит, первовскит, пироп, хромдиопсид	Кимберлиты
	Хромшпинелиды, платина, осмистый иридий, реже — ильменит, магнетит, оливин	Перидотиты, дуниты
Берилл	Сподумен, колумбит, турмалин, топаз, фенакит, флюорит	Гранитные пегматиты
	Топаз, турмалин, флюорит	Грейзены
Вольфрамит	Кассiterит, халькопирит, арсенопирит, шеелит, флюорит	Высокотемпературные кварцевые жилы
	Топаз, турмалин, берилл, кассiterит, флюорит, колумбит	Грейзены
Золото	Пирит, лимонит, магнетит, ильменит, турмалин, циркон, рутил, шеелит, монацит, арсенопирит	Кварцевые, кварцево-карбонатные и кварц-барит-флюоритовые жилы
Кассiterит	Полихромный турмалин, топаз, вольфрамит, колумбит, сподумен, берилл	Пегматитовые жилы
	Топаз, флюорит, вольфрамит, молибденит, арсенопирит, шеелит, колумбит, берилл, монацит, турмалин, пирит, халькопирит	Кассiterит-кварцевая формация
	Пирротин, пирит, арсенопирит, халькопирит, станинн, галенит, сфалерит	Кассiterит-сульфидная формация
Киноварь	Халцедон, кальцит, барит, флюорит, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит	Телетермальные месторождения
Колумбит, tantalит	Циркон, уранинит, самарскит, гадолинит, ортит, монацит	Редкоземельные пегматиты
	Сподумен, апатит, берилл, полихромный турмалин, кассiterит, самарскит, топаз, флюорит	Натрий-литиевые пегматиты
Ксенотим	Циртолит, уранинит, монацит, гранат, апатит, ортит	Гранитные пегматиты

Минерал	Спутники в шлихах	Коренные источники
Монацит	Циркон, рутил, лейкоксен, ильменит, турмалин, кассiterит, корунд, шпинель, хромшпинелиды	Древние коры выветривания
	Циркон, апатит, ильменит, ортит, tantalо-ниобаты, торит, гранат	Гранитные пегматиты
Платина	Хромшпинелиды, магнетит, титаномагнетит, оливин, хромдиопсид; в джевинских россыпях также мартит, лимонит, шпинель	Габбро-перидотиты
	Магнетит, ильмениг, альмандин, хромшпинелиды	Нориты, габбро-диабазы, драгиты
Хромшпинелиды	Оливин, платиноиды, магнетит, уваровит, хромдиопсид, хромовые хлориты	Дуниты, перидотиты, гарцбургиты
Шеелит	Гранат, диопсид, волластонит, молибденит, халькопирит, пирротин, пирит, арсенопирит, сфалерит	Скарны

потоками. Кристаллы удлиненно-призматической и игольчатой формы переносятся водными потоками обычно во взвешенном состоянии и при этом незначительно истираются, а потому могут мигрировать на довольно большие расстояния от их коренного источника. Кристаллы изометрического облика переносятся в основном путем волочения и перекатывания по дну потока, а поэтому в значительной степени окатываются, истираются и при некотором удалении от коренного источника исчезают из массы обломочного материала.

Минералы твердые истираются и окатываются гораздо меньше, чем мягкие, и переносятся на более далекие расстояния от материнских пород. Если минералы обладают совершенной спайностью, то при истирании они легко раскалываются, а мелкие осколки легче рассеиваются, поэтому минералы с хорошей спайностью могут, как правило, переноситься не очень далеко от их коренных источников. Однако Д. С. Крейтер указывает, что такие минералы, как галенит, молибденит, амфиболы, обладающие совершенной спайностью, обнаруживаются даже в шлихах из пляжных и морских россыпей.

Все эти особенности переноса и сохранения рудных минералов в шлиховых ореолах необходимо внимательно оценивать при интерпретации результатов поисковых работ по тонкообломочным вторичным ореолам рассеяния.

МЕТОДИКА ШЛИХОВЫХ ПОИСКОВ

Области применения шлиховых поисков весьма различны и зависят от уровня геологических знаний и требований промышленности. Зарождение шлихового метода связано с разведкой и эксплуатацией россыпных месторождений; поиски новых участков россыпей успешно производились шлиховым методом, одновременно изучалась и минералогия россыпей. Затем начали применять шлиховой метод для выявления коренных источников рудных минералов россыпей и выяснения их возможной промышленной ценности. В дальнейшем шлиховой метод оказался весьма эффективным при поисках большой группы полезных ископаемых, рудные минералы которых устойчивы к агентам поверхностного выветривания. В настоящее время с помощью шлихового метода решают разнообразные поисковые и геологические задачи. Шлиховые поиски в комплексе с другими поисковыми исследованиями являются ведущим методом при выявлении коренных месторождений тех полезных ископаемых, которые способны давать тонкообломочные механические ореолы рассеяния. Выявление площадных ореолов в делювиально-элювиальных отложениях или потоках рассеяния в аллювии позволяет прогнозировать положение коренных источников рудной минерализации. В последние годы широкое распространение получили шлиховые исследования, связанные с изучением акцессорных минералов в искусственных шлихах изверженных пород с целью выявления месторождений редких элементов и решения ряда генетических вопросов. Изучение современного аллювия и древнеаллювиальных ореолов в различных террасовых отложениях дает богатый материал для поисков россыпей современного и древнего типа. Таким образом, основная задача шлиховых поисков — выявление коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых, таких, как золото, алмаз, платина, кассiterит, tantalо-ниобаты, киноварь и др.

Широко используется шлиховой метод с целью корреляции различных отложений. Изучение ассоциаций тяжелых минералов позволяет расчленять немые толщи по различиям комплексов минералов или сопоставлять между собой трудно параллелизуемые образования. Большую роль играет шлиховой анализ при изучении древнетеррасовых комплексов и выделении разновозрастных террас. Перспективным в этом отношении является изучение типоморфных особенностей некоторых минералов. По мнению Н. Я. Тихомировой (1955), изучая типоморфные особенности цирконов (цвет, кристаллографический облик, степень окатанности, наличие включений и др.), можно расчленять разрез террасовых отложений более дробно, проводить их сопоставление и геоморфологическое картирование. Н. П. Ермаковым (1972) было предложено использовать в поисковых целях шлиховзрывной ме-

тод. Объектом исследования служит кварц легкой фракции шлихов, нагревая который, можно декрептометрически выявлять «рудные» кварцы, характеризующиеся наибольшим количеством взрывов микровключений. Картируя подобным образом по шлихам механические ореолы «рудных» кварцев, удается прогнозировать положение коренных рудных тел.

Шлиховые поиски выполняются с разной степенью детальности и при этом решают различные задачи. В настоящее время производят шлиховые поиски главным образом крупных масштабов при выполнении геологопоисковых работ. Но в отдельных случаях имеют место и мелкомасштабные исследования, носящие региональный характер.

Мелкомасштабные шлиховые поиски сопровождают региональную геологическую съемку в масштабах 1 : 200 000 и 1 : 100 000 и выполняются для крупных территорий в пределах листов международной разграфки. Обычно в результате составления государственной геологической карты устанавливаются поисковые критерии, выявляются признаки рудной минерализации в пределах исследуемой территории и выделяются перспективные районы. Шлиховые поисковые работы позволяют при этом установить в аллювии крупных водотоков механические ореолы рассеяния, которые характеризуют разрушение месторождений, выходящих на дневную поверхность или залегающих под небольшим покровом рыхлых отложений, а также выявить закономерности пространственного распределения обломков рудных минералов в аллювии. На основании комплексного структурно-геологического и шлихоминералогического исследования территории намечается возможное решение вопроса о связи выявленных шлиховых ореолов с коренными источниками рудной минерализации и дается общая перспективная оценка территории.

Шлиховое опробование в масштабах 1 : 200 000—1 : 100 000 проводится маршрутным методом для сильнорасчлененной местности, а в равнинных районах — площадным методом. Производится опробование всей гидросети, включая второстепенные и третиестепенные притоки, а в небольших притоках опробуется их устьевая часть вне пределов основных долин. Шлиховому опробованию подвергаются главным образом современные русловые отложения, реже — древний аллювий террас, отчасти — делювиально-элювиальные образования, а также рыхлые озерные и морские отложения. Отбор шлиховых проб сопровождается протолочным опробованием различных коренных пород для выяснения генетических связей выявленной в шлихах рудной минерализации.

Плотность отбора шлиховых проб определяется строением рельефа, свойствами шлиховых минералов и геологическими особенностями района поисков. В среднем при мелкомасштабных шлиховых поисках отбирается 400—800 шлихов на 1000 км² площади, т. е. шлихи отбираются вдоль русел рек через 500—1200 м. Долины рек по возможности равномерно покрываются редкими

пробами и только в местах, благоприятных для локализации рудных тел, опробование сгущается. Более детально опробуются области развития интрузивных или вулканических комплексов, характеризующиеся благоприятными структурно-тектоническими особенностями, зоны контактов отдельных массивов, поля развития гидротермально измененных пород (сульфидизации, окварцевания, хлоритизации, серицитизации, турмалинизации и т. п.) и жильного кварца.

Мелкомасштабные шлиховые поиски в рудных районах, как правило, комплексируются с другими видами поисковых работ. Наиболее часто одновременно со шлиховым опробованием проводятся металлометрия и отбор гидрохимических проб из поверхностных водотоков и естественных выходов на поверхность подземных вод. Кроме того, в речных долинах, которые характеризуются застойным характером и малой активностью эрозионной деятельности, вместо шлиховых проб отбирают пробы илисто-глинистых донных осадков. Поисковые работы широко опираются также на данные региональных геофизических исследований. На основе анализа сравнительно небольшого фактического материала, собранного по отдельным маршрутам, при учете особенностей геологического строения территории удается высказать общие предположения о перспективах рудоносности района в целом и наметить отдельные интересные участки для постановки детальных поисковых работ.

Крупномасштабные шлиховые поиски ставятся в масштабах 1 : 50 000 и 1 : 25 000 в перспективных районах по листам установленной разграфки и носят предварительный характер. При геологической съемке уточняются поисковые критерии возможного оруденения и устанавливаются его поисковые признаки, что позволяет выделить крупные геологические структуры для специализированных поисков. В результате крупномасштабных шлиховых поисков полностью оконтуриваются тонкообломочные механические ореолы рассеяния в аллювии рек и в делювиально-элювиальных отложениях и выявляется связь аномалий с коренными породами. В заключение прогнозируется возможное положение в пространстве коренных рудных тел и намечаются участки для постановки дальнейших детальных поисково-разведочных работ, направленных на вскрытие и опробование тел полезных ископаемых.

Крупномасштабные шлиховые поиски в отличие от мелкомасштабных ведутся преимущественно площадным методом, который характеризуется равномерным покрытием территории пробами путем систематического опробования всей гидрографической сети. Опробуют долины главных рек и все их притоки, включая сухую овражно-балочную сеть протяженностью до 0,5 км. Если в конусах выноса притоков меньших размеров обнаружены полезные минералы, то эти притоки также опробуются. В случае положительных результатов шлихования аллювия опробуются делю-

виальные отложения, покрывающие склоны речных долин, и элювальные образования водораздельных пространств. Кроме того, шлиховое опробование рыхлых отложений сопровождается отбором искусственных шлиховых проб из коренных пород, что в дальнейшем дает материал для выявления первичных источников рудной минерализации.

В случае достаточно расчлененного рельефа шлихи отбирают на речных косах, в руслах рек и бортах террас, что позволяет характеризовать современный рудный снос. В равнинных районах опробование современного руслового аллювия не дает надежных результатов и пробы отбирают из более глубоких частей долинных отложений.

При крупномасштабных шлиховых поисках для отбора проб широко используются естественные обнажения рыхлых и коренных пород, нередко применяется искусственное вскрытие их копушами или горными выработками. Расстояния между точками взятия отдельных шлиховых проб вдоль русла реки 100—250 м, среднее количество проб на 100 км² 200—400. Частота отбора проб при крупномасштабных шлиховых поисках определяется геологическими особенностями района, его рельефом, степенью обводненности и свойствами самих минералов шлихов. При поисках месторождений, рудные минералы которых физически мало устойчивы, расстояния между точками взятия шлиховых проб сокращаются; для устойчивых первичных рудных минералов оно может быть увеличено. Опробование сгущается также в участках, благоприятных с геологической точки зрения для рудообразования, — в приконтактовых зонах интрузивных массивов, жильных полях, гидротермальных метасоматитах, тектонически интенсивно проработанных участках, зонах развития литологически благоприятных горизонтов и т. п.

Крупномасштабные шлиховые поиски сопровождаются комплексом других видов поисковых работ. Часто в пределах водораздельных частей ставятся металлометрические съемки по рыхлым или коренным образованиям. При ограниченном распространении в русловых отложениях песчано-гравийных накоплений, опробуются донные илисто-глинистые осадки. Гидрохимические и почвенно-гидрохимические пробы дополняют результаты шлихового опробования. Нередко интересные результаты дает биохимическое опробование. Крупномасштабные шлиховые поиски сочетаются часто с поисково-разведочными работами — проходкой горных выработок и опробованием коренных пород. Все виды поисковых исследований тесно увязываются также с различными видами геофизических исследований.

Заключительным этапом поисковых исследований являются поисково-разведочные (оценочные) работы детальных масштабов (1 : 10 000 и крупнее), которые выполняются на площадях концентрации минеральных проявлений в пределах перспективных геологических структур. В результате исследований дается оценка

перспектив описанной территории и оконтуриваются площади наблюдаемого и прогнозируемого проявления рудной минерализации. При выполнении этих работ значение шлиховых поисков существенно снижается и на первый план выдвигаются другие виды работ. Однако для решения отдельных конкретных задач привлечение шлихового метода целесообразно. В частности, по данным детального опробования делювия и элювия полностью оконтуриваются площади шлиховых аномалий, выявляются детали их внутреннего строения, устанавливаются возможные простирания рудных зон, прослеживаются по простианию уже выявленные рудные тела и решается ряд подобных задач прикладного характера.

ОПРОБОВАНИЕ РЕЧНОЙ СЕТИ

Методика выполнения шлихового опробования в значительной степени зависит от степени зрелости гидрографической сети. Ю. А. Билибин (1955) показал, что речная сеть, находящаяся в стадии зрелости, характеризуется уже сформированными долинами, выработанным продольным профилем и отчетливым преобладанием аккумуляции обломочного материала над эрозионной деятельностью. В связи с этим в пределах зрелых речных долин происходит только формирование россыпных месторождений, которые и могут быть выявлены шлиховыми поисками. Если гидрографическая сеть переживает стадию оживления (это может быть юная или омоложенная новейшими движениями речная система), развитие речных долин идет весьма активно. При активной эрозии (профиль равновесия еще не выработан), существенно преобладающей над аккумуляцией, имеет место интенсивный современный снос обломочного материала. Речные долины переживают фазы расширения и углубления вследствие активной боковой и донной эрозии, происходит интенсивное разрушение коренных месторождений, расположенных в бортах речных долин. В результате в современных русловых отложениях формируются механические ореолы рассеяния, которые можно использовать при поисках коренных источников. В значительно меньшей степени при опробовании подобных речных систем удается получить материал для выявления русловых, косовых или долинных россыпей.

Опробование юной или омоложенной сети

Опробование русловых отложений молодых рек по существу сводится к опробованию их современных русловых фаций. Поисковые маршруты прокладываются по долинам рек, как правило, вверх по течению, но, переходя через водораздел в соседнюю долину, шлихи отбирают в обратном порядке. При мелкомасштабных поисках вначале опробуют аллювий реки и устьевой части притоков. Принято в месте впадения притока в главную реку

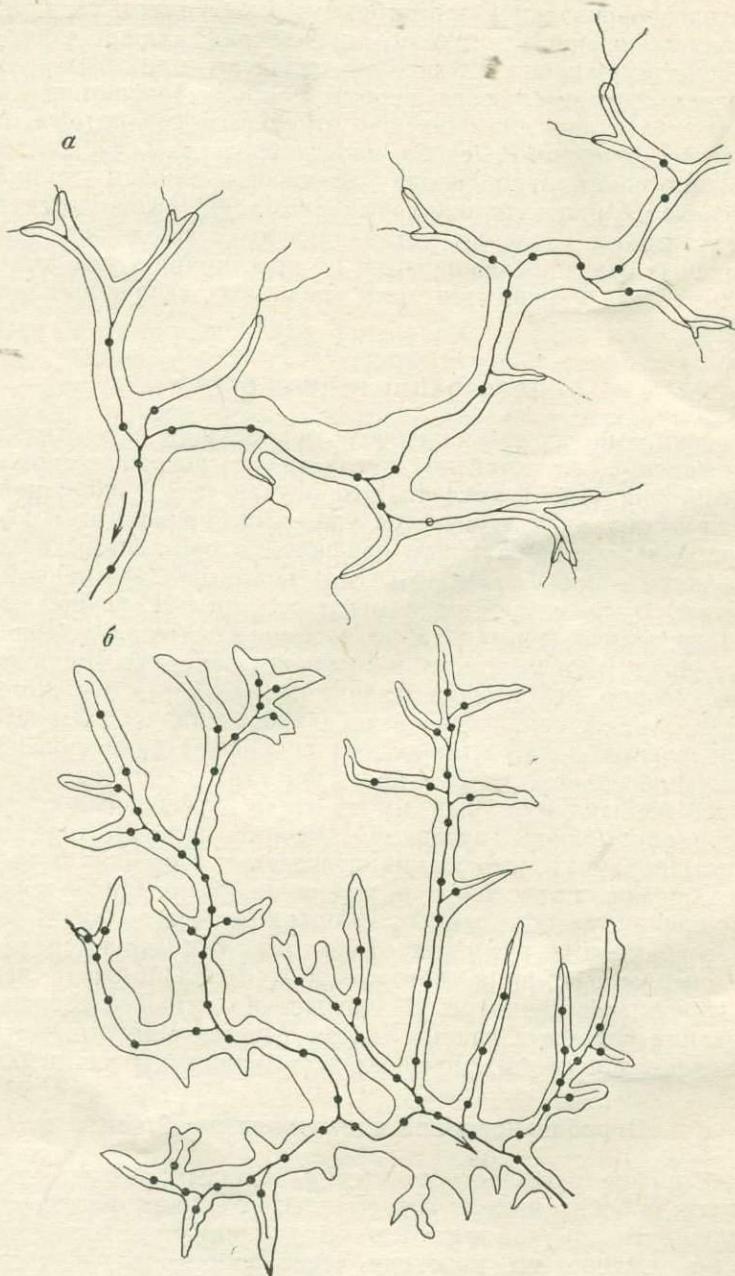


РИС. 5. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ШЛИХОВЫХ ПРОБ ПРИ ПОИСКАХ:
а — мелкомасштабных; б — крупномасштабных

производить более сгущенное опробование: две пробы отбирают из руслового аллювия в долине главной реки, ниже и выше места впадения притока, и одну-две пробы отбирают в долине самого притока выше его устья. Схематическое расположение проб показано на рис. 5, а. Минералогический анализ отобранных шлиховых проб и нанесение его результатов на карты позволяют выделить перспективные отрезки речных долин и выявить роль притоков в выносе рудных минералов. Дальнейшие поисковые работы

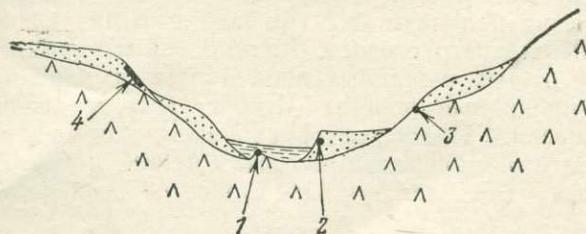


РИС. 6. СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ШЛИХОВЫХ ПРОБ В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ РЕЧНОЙ ДОЛИНЫ:

1 — в русле реки; 2 — в подмываемом обрыве пойменной террасы; 3 — на цоколе террасы («спай»); 4 — в задернованном склоне террасы

проводят в участках, где в аллювии рек обнаружены рудные минералы. При крупномасштабных поисках шлиховыми пробами равномерно освещают всю речную и овражно-балочную сеть (рис. 5, б). При необходимости на выявленных перспективных участках производят дополнительное опробование по сгущенной сети.

Пробы располагают в тех участках русла реки, где происходит резкое уменьшение скорости водного потока и сбрасывание переносимого рекой обломочного материала. Именно здесь наблюдается максимальное обогащение обломочного материала тяжелыми минералами и промывка шлиховых проб дает богатый выход шлиха. Такими благоприятными для опробования местами являются участки, расположенные ниже морфологических изменений речных долин: перегибов продольного профиля речной долины (ниже порогов, перекатов), мест резкого расширения речных долин, крутых поворотов русла реки. Пробы отбирают из русловых отложений рек, на косах, отмелях, пляжах, в старицах, в береговых обрывах пойменных террас (рис. 6). Для этого проходят небольшие горные выработки, которые в практике носят название закопушек или копушей, сечением 20×30 см или 30×40 см при максимальной глубине 50—60 см. Проходка более крупных выработок при массовом шлиховом опробовании нецелесообразна, так как требует большой затраты времени и рабочей силы.

Обычно опробуются грубообломочные, относительно малосортированные отложения, которые накапливаются в участках за-

медления водного потока и обогащаются тяжелыми рудными минералами. Это — галечник, неравномернозернистый гравий, несортированные крупнозернистые или разнозернистые пески с галькой. В практике наиболее подходящими для шлихового опробования считаются, «месниковатые» пески, т. е. пески плохо сортированные, содержащие значительное количество примеси глины и гальку или щебенку различных коренных пород. Именно плохая степень сортировки и наличие глинистой фракции способствуют накоплению в таких песках минералов большого удельного веса и при промывке их получают богатые шлихи, отличающиеся разнообразием минерального состава. Крайне неблагоприятными отложениями для отбора шлиховых проб являются тонкообломочные, хорошо сортированные породы — глины, илы и мелкозернистые кварцевые пески. Подобные образования, как правило, имеют малокомпонентный минеральный состав и при промывке не дают выхода шлиха, так как практически не содержат тяжелой фракции.

Глубина отбора шлиховых проб зависит от распределения тяжелых минералов среди обломочных пород. Ранее было указано, что главная масса рудных минералов тяготеет к плотику — истинному или ложному. В связи с этим пробы следует отбирать с максимально большой глубины. Как правило, опробуется истинный плотик. Если ввиду большой мощности рыхлых отложений это невозможно, отбирают пробы с горизонтов ложных плотиков. Характер плотика оказывает весьма значительное влияние на распределение тяжелых минералов в перекрывающих его рыхлых отложениях. Если плотик представлен массивными породами, то его поверхность обычно довольно ровная и рудные минералы распределены более или менее равномерно в массе обломочного материала и в сам плотик не проникают. При неровной (кавернозной) поверхности плотика, представленного карбонатными породами или гранитоидами, шлих концентрируется в его западинах и образуются богатые кусты, карманы на общем фоне бедных рыхлых отложений. Когда плотик представлен рассланцованными и сильно трещиноватыми породами (такой плотик носит название «ребровик» или «щетка»), тяжелые минералы скапливаются не столько в рыхлых отложениях, сколько в поверхностной части самого плотика. Тогда отбирают так называемые, «щеточные» пробы задиркой, т. е. в пробу поступают не только рыхлые породы, лежащие на плотике, но и самые верхние части плотика, обогащенные шлихом.

Несколько своеобразно опробование косовых отложений. Косы подвергаются постоянному перемыву текущими водами реки и передвигаются; при этом, естественно, наиболее подвижны зерна легких минералов. В результате поверхностный слой косовых отложений обогащается тяжелыми минералами, и часто на песке косы виден черный налет отмытого рекой шлиха. Кроме того, тяжелые минералы скапливаются в головной части косы, на ее

выпуклом крае, выше крупных глыб коренных пород или плавника, лежащих на ней. Все эти элементы и опробуют при шлиховании кос, причем пробу отирают с поверхности части песчаных накоплений косы.

Объем или вес шлиховых проб должен быть стандартным для получения сопоставимых результатов. В полевых условиях удобнее брать пробы определенного исходного объема, который при обычных поисковых работах считается стандартным — $0,02 \text{ м}^3$ ($40-50 \text{ кг}$). В некоторых труднодоступных гольцовых районах, а также в засушливых безводных зонах возникают трудности с промывкой проб и тогда отбирают пробы меньшего объема — $0,01 \text{ м}^3$ ($20-25 \text{ кг}$). Брать еще меньшие пробы нецелесообразно, так как при их промывке получаются весьма маленькие непредставительные шлихи и результаты поисков сильно искажаются. При детальных шлиховых поисках, сопровождающихся разведочной шурфовкой, отбирают крупные шлиховые пробы объемом $0,04 \text{ м}^3$ (100 кг), чтобы увеличить точность определения содержания полезных компонентов в рыхлых отложениях. Исходный объем шлиховых проб зависит также и от содержания в обломочных породах тяжелых минералов: выходом шлиха при промывке проб определяется их первоначальный объем. Последний должен обеспечить минимальный выход шлиха в $10-15 \text{ г}$. Шлихи меньшего веса непредставительны и при анализе результатов поисков не могут быть достоверными. При шлиховых поисках для отбора пробы стандартного объема используют деревянные корытообразные ящики, которые носят название ендовок. Размеры ендовок стандартные: вверху $60 \times 30 \text{ см}$, внизу $50 \times 20 \text{ см}$, высота 20 см (рис. 7). Внутренний объем такой ендовки $0,028 \text{ м}^3$. Учитывая, что порода загружается в разрыхленном состоянии, объем ее меньше. Для талых пород коэффициент разрыхления $K_p=1,40$ и объем породы, помещающейся в ендовку $V=0,02 \text{ м}^3$; для мерзлых пород $K_p=1,75$ и $V=0,016 \text{ м}^3$. Порода насыпается в ендовку сверхом, легким постукиванием дна о землю утрясается и сравнивается под линейку в уровень с краями. Практически в начале полевых работ с помощью ендовки тарируют пробные брезентовые мешки или лотки, в которых промывают пробы, и в дальнейшем ими пользуются для замера исходного объема. В ряде случаев вывшивают промывочный лоток, наполненный породой, и затем ведут учет количества промытых лотков, рассчитывая выход шлиха на исходный вес пробы.

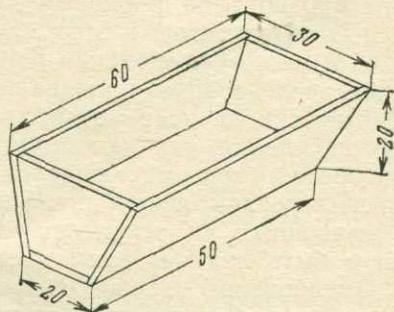


РИС. 7. ЕНДОВКА

Внутренний объем для талых пород $0,02 \text{ м}^3$ ($K_p=1,40$), для мерзлых пород $0,016 \text{ м}^3$ ($K_p=1,75$). Размеры даны в сантиметрах

Опробование зрелой сети

При опробовании рек, имеющих древние, хорошо разработанные долины с ясно выраженным комплексом террас, поисковые работы сосредоточиваются главным образом на опробовании древнеаллювиальных отложений с целью поисков россыпных аллювиальных месторождений. Современные русловые отложения таких рек представлены глинистыми или иловыми накоплениями и их опробование шлиховым методом, как правило, не дает интересных результатов. В этом случае значительно более эффективен иловый метод опробования донных осадков. Таким образом, шлиховое исследование аллювиальных отложений зрелой гидросети практически не дает материалов для поисков коренных рудных месторождений, так как механические ореолы рассеяния не формируются в современных русловых фациях. Более перспективны поиски ореолов, сформировавшихся в древние эрозионные циклы и связанных с террасовым комплексом речных долин, где могут быть локализованы древнеаллювиальные россыпи.

Опробование зрелой гидросети производится с применением горных выработок — шурфов или копушей, а также скважин ручного бурения. При этом вскрывают нижние части древнеаллювиальных отложений, в которых происходит концентрация тяжелых минералов.

Глубина опробования определяется мощностью аллювия. При небольшой мощности желательно опробовать нижние наиболее богатые приплотиковые горизонты, т. е. отбирать пробы с истинного плотика. Если мощность террасовых отложений большая и достичь истинного плотика невозможно, горными выработками вскрывают только верхнюю часть аллювия и опробование производят над горизонтами ложных плотиков. В этих случаях необходимо производить выборочное контрольное опробование над истинным плотиком, используя скважины ручного бурения.

Горные выработки или копушки, вскрывающие древнеаллювиальные отложения, располагаются линиями, которые должны пересекать всю речную долину от увана до увана. Такие створы располагают в пределах перспективных участков речных долин, выявленных предварительными поисками, на 100—300 м ниже выноса боковых притоков. Линии задают в участках речных долин с нормальным продольным профилем и нормальной (средней) шириной долины. Желательно, чтобы в этих местах были достаточно отчетливо выражены элементы морфологии долины. При выборе места заложения створа для опробования руководствуются также наличием благоприятных геологических и геоморфологических факторов, анализируя которые, выявляют участки возможного россыпеобразования или наличия коренной рудной минерализации. Нежелательны для закладки поисковых линий речных долин перегибы продольного профиля, места, расположенные против долин боковых притоков, резко расширенные участки долин, от-

резки долин с большой валунистостью и наличием наледей, ущелья, трубы, щеки.

Створы поисковых выработок располагают вкрест простира-
ния оси долины. Расстояния между линиями копушей, шурfov
или скважин ручного бурения зависят от масштаба поисковых
работ: при поисках в масштабе 1:200 000 створы задаются на
расстояниях 1,5—2 км, в масштабе 1:50 000 — через 0,5—1 км.

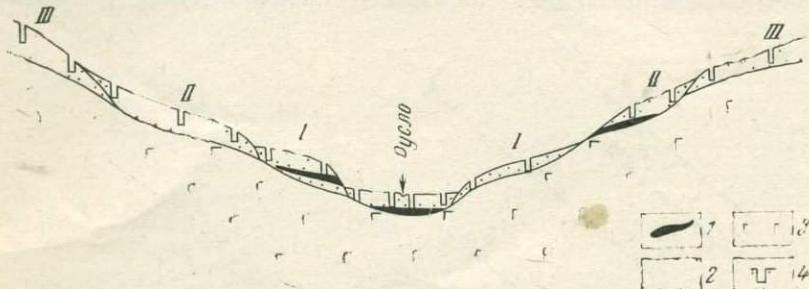


РИС. 8. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ШУРФОВ ПРИ ШЛИХОВОМ ОПРОБОВАНИИ РЕЧНОЙ ДОЛИНЫ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ:

1 — «пласт»; 2 — аллювий; 3 — плотик; 4 — шурфы; I, II, III — надпойменные террасы

В пределах одного створа выработки проходят на расстоянии 20—40 м и более в зависимости от сложности строения речной долины и ее морфологических особенностей. Выработки на линии располагают симметрично от одного борта долины к другому или от центра долины к увалам, начиная с той части, где их труднее разместить. Каждая терраса вскрывается в бровке и тыловой части, а при большой ширине еще и в срединных частях (рис. 8). Выработки не задают в неудобных местах — на обрывистых склонах, порогах, в местах скопления крупных валунов. В этих случаях шурфы переносят на 10 м вверх или вниз по течению, на 6 м вправо или влево по створу.

Если бровки террас обрывисты и обнажены, вместо проходки копушей или шурфов производится расчистка этих обнажений и их опробование. Чаще всего это подмываемые рекой участки пойменной террасы, особенно в период низкой воды. Опробование естественных обрывов террас интересно в поисковом отношении, потому что в них нередко вскрываются приплотиковые горизонты. Наиболее интересны цокольные террасы, так как при их подмыве обнажается спай — место сочленения террасовых отложений с коренным цоколем.

Шлиховые пробы из копушей, шурфов или скважин отбирают погоризонтно или поинтервально. Таким образом, число шлихов, отбираемых с каждого створа, достаточно велико, что позволяет выявить закономерности распределения в аллювии разновозрастных террас определенных рудных минералов и фиксировать различные по возрасту россыпи.

ОПРОБОВАНИЕ ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ И ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Шлиховые поиски делювиальных и элювиальных образований проводятся в детальных масштабах и ставятся на перспективных участках, где по данным поисков более мелкого масштаба были выявлены шлиховые аномалии. Использование геофизических методов поисков позволяет произвести предварительное оконтуривание

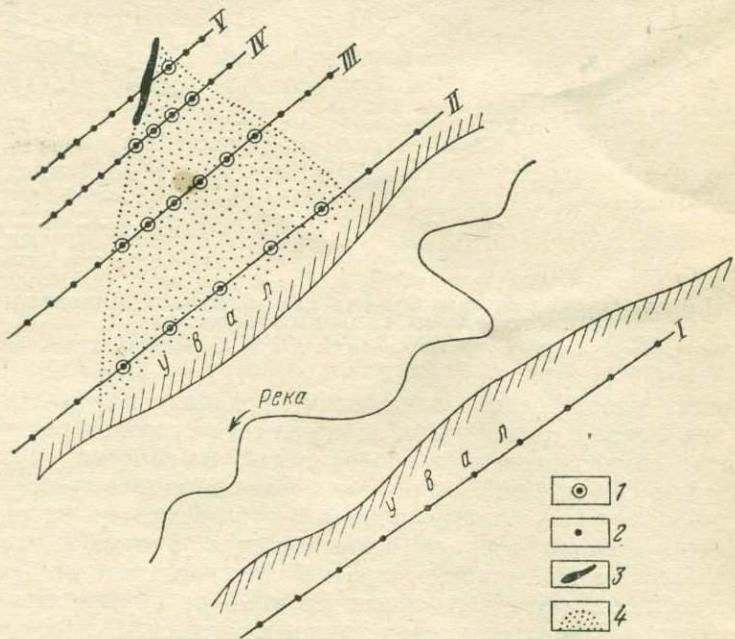


Рис. 9. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ШЛИХОВЫХ ПРОБ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ДЕЛЮВИЯ:

1 — копушки с рудными минералами; 2 — копушки пустые; 3 — коренное рудное тело; 4 — делювиальный рудный веер; I—V — линии поисковых копушей

вание возможной рудоносной площади. Кроме того, детальные шлиховые поиски проводятся на участках, где при геологическом картировании были выявлены рудные свалы или наблюдались прямые признаки проявления рудной минерализации. Наконец, шлиховые работы в пределах делювиально-элювиальных образований проводятся при поисках коренных источников уже известных россыпей. Цель поисковых работ — выявление пространственного положения коренных рудных тел. Для этого проходят поисковые копушки, реже — шурфы.

Часто поиски в делювии проводятся для определения направления сноса рудного материала. Анализируя результаты шлихового опробования устьевой части притоков или сухих оврагов и

балок, определяют перспективную область. Далее на этом участке у подножия борта долины проходят линии копушей (рис. 9). Копуши располагают на расстоянии 50—100 м. Анализ отобранных шлихов позволяет уточнить границы перспективного участка. Одновременно производится исхаживание его с целью выявления прямых поисковых признаков оруденения (свалов рудных обломков или околоврудных измененных пород) и благоприятных форм микрорельефа. Часто производится также отбор протолочных проб из коренных пород.

При получении на первой стадии детальных работ положительных результатов предпринимаются дальнейшие исследования для оконтуривания делювиального веера линиями копушей. Выше по склону на расстоянии 50—100—200 м от первой линии (расстояние определяется характером рельефа) задают еще

2—3 линии копушей в сторону водораздельной части. Лабораторное исследование промытых из копушей шлихов позволяет выделить область делювия, зараженную рудными обломками. Как правило, эта область имеет в схеме форму треугольника и обращена его острой вершиной в сторону первичных рудных тел. Если рудные тела расположены параллельно склону, шлиховой ореол будет иметь форму трапеции, короткое основание которой тяготеет к коренным выходам руд.

В отдельных случаях детальное шлихование делювия или элювия предпринимается для определения простирания рудных тел, присутствие которых уже установлено по рудным валам или по данным линейного копушения. Вдоль горизонталей задается ряд копушных линий так, чтобы изучаемая площадь была покрыта равномерно. Вначале разбивается предварительная сеть 80×20 м, а затем участки делювия, показавшие высокие содержания в шлихах рудных минералов, детализируются по сетке 40×10 м. Копуши с наиболее высокими содержаниями рудных минералов соединяются на планах опробования линией, направление которой соответствует примерному простирианию рудных тел (рис. 10). При групповом расположении копушей, показавших максимальные содержания рудных минералов, на плане проводят контурную изолинию. Полученный контур может отвечать положению штокверковых или изометрических рудных тел; если контур аномалии имеет вытянутый характер, то направление ее

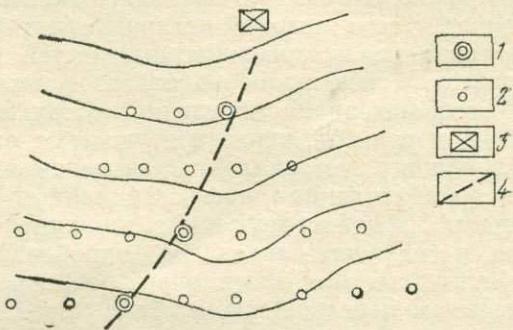


РИС. 10. СХЕМА ПОИСКОВ КОРЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДЕЛЮВИЮ:
1 — богатые копушки; 2 — бедные копушки; 3 — установленный коренной выход рудного тела; 4 — предполагаемое простиранье рудного тела

длинной оси может отвечать примерному простианию ряда сближенных рудных тел.

Глубина отбора шлиховых проб при копушении делювия определяется рядом факторов. Существенное значение имеет плотность искомого рудного минерала. Чем выше плотность минерала, тем быстрее он продвигается в нижние горизонты делювия. Так при поисках на золото пробы следует отбирать из глубоких частей делювия, тяготеющих к плотику; кассiterит концентрируется в средней части разреза делювиальных отложений, а монацит характерен для их поверхностных частей. Распределение рудных минералов в вертикальном разрезе рыхлого делювиально-аллювиального материала определяется также крутизной склонов. При дряхлом рельефе, характеризующемся ослабленным продвижением обломочного материала в пониженные участки, идет интенсивная его гравитационная дифференциация. В результате рудные минералы концентрируются в нижней части рыхлых отложений, в силу чего шлиховое опробование проводят на истинном плотике. Для эрозионного рельефа типичны крутые склоны с активным передвижением обломочного материала к пониженным участкам. При этом не происходит хорошей гранулометрической сортировки и гравитационной дифференциации. В результате этого рудные минералы обогащают поверхностные горизонты делювия и отбор шлиховых проб проводят на глубине первых десятков сантиметров. Гранулометрия делювия также влияет на распределение в нем рудных минералов и, следовательно, на глубину отбора проб; при мелкообломочном материале (песок, глина, дресва) пробы отбирают с глубины 40—50 см; в случае крупноглыбового делювия (сущенцы, глыбы, щебенка без связующего мелкого материала) пробы берут с горизонта появления в нем песчано-глинистых примазок, способствующих концентрации зерен тяжелых минералов.

ОПРОБОВАНИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД

Опробование коренных пород сопровождает поиски разных масштабов. Пробы, отобранные из этих пород, называются протолочными или просто протолочками. Их отбирают, для того, чтобы результаты исследования можно было увязать с данными шлихового опробования руслового аллювия и таким образом выявить связь рудных минералов в составе последнего с коренными породами. Наиболее часто протолочное опробование применяют при поисках коренных месторождений устойчивых в поверхностных условиях рудных минералов большой плотности — кассiterита, вольфрамита, шеелита, золота, галенита, пирохлора и др. Для указанной группы минералов протолочное опробование позволяет получить количественные характеристики содержания рудных компонентов в породе. В последние годы пробы коренных пород стали отбирать также для поисков тех типов рудной мине-

рализации, которые характеризуются мелкой вкрапленностью рудных зерен, низкими содержаниями полезных компонентов и трудно диагностируются макроскопически (ксенотим, танталит, колумбит, микролит и др.). Протолочное опробование не дает надежных результатов в случае поисков месторождений, рудные минералы которых имеют небольшую плотность, низкую твердость и совершенную спайность (флюорит, барит, пирохлор, фергюсонит, эшинит), так как при дроблении проб эти минералы сильно переизмельчаются и во время промывки уходят в шлам. Однако, если желают получить лишь качественную характеристику комплекса рудных минералов, содержащихся в породе, отмыв протолочных проб в этих случаях может применяться.

Протолечные пробы отбирают из естественных выходов коренных пород бортов речных долин или водораздельных частей. Порода пробы должна быть тщательно очищена от вторичных окисленных корочек, остатков лишайников и другой растительности. Из сильно выветрелых и разрушенных пород пробы брать нельзя, так как в них рудные минералы могут быть изменены или выщелочены, что исказит результаты исследований. Материал для протолечной пробы должен быть представлен рядом мелких обломков породы. Обычно протолечные пробы располагают по системам профилей или линиями. Если в обнажении выходит несколько различных типов пород, то для каждого из них отбирается отдельная пробы.

Исходный вес проб коренных пород определяется возможным содержанием искомых рудных минералов и характером дальнейшей обработки дробленой массы с целью извлечения концентрата. Так, редкие минералы при малом исходном весе пробы могут быть пропущены; чувствительность анализа возрастает с увеличением первоначального веса пробы. Экспериментальные работы С. Д. Туровского (1960 г.), В. В. Ляховича, Д. А. Родионова (1961 г.) показали, что исходный вес протолечных проб зависит от состава пород: гранитоиды 8—10 кг, породы щелочного состава 5—6 кг, осадочные породы 15 кг. В. А. Новиков (1970) рекомендует отбирать протолечные пробы от 1 до 32 кг по ступенчатой шкале: 1; 3,2; 10; 32 кг. От способа промывки пробы зависит величина потерь полезных компонентов: наиболее высокие потери при промывке проб в лотках или ковшах и заметно меньшие — на концентрационном столе.

Обработка протолечных проб начинается с взвешивания на технических весах с точностью до граммов. Далее пробы дробятся вручную в чугунных ступах или механически. Правильный выбор степени измельчения проб снижает потери тяжелых минералов за счет их сростков или переизмельчения: выбирают такую степень измельчения проб, при которой будут полностью раскрыты зерна и не возникнет опасности ухода рудных зерен в шлам при их измельчении. В. А. Новиков указывает, что измельчение до 1 мм допустимо только для крупнозернистых агрегатов; чаще, по его

мнению, следует дробить пробы до 0,315 мм (для интрузивных пород и особенно гранитоидов); наиболее мелкозернистые эфузивы и гидротермально измененные породы следует дробить до 0,1 мм. Таким образом, шкала измельчения протолочных проб может быть 1; 0,56; 0,315; 0,18; 0,1 мм. Полученная после дробления рыхлая масса сокращается, незначительная часть ее сохраняется в качестве дубликата, а основная пробы промывается с целью извлечения из нее тяжелых минералов (этот тяжелый остаток часто называют искусственным шлихом). Лабораторная обработка полученных концентратов тяжелых минералов несколько отличается от подготовки к анализу естественных шлихов. В связи с тем, что в этих пробах количественно обычно преобладают легкие минералы, фракционирование целесообразно начинать с обработки их тяжелыми жидкостями, а затем уже вести магнитную сепарацию.

ДОКУМЕНТАЦИЯ

Отбор шлиховых проб в полевых условиях сопровождается одновременной их документацией. Тщательность и аккуратность документации обеспечивают успех поисков и дают надежный фактический материал для интерпретации их результатов. При отборе шлиховых проб в пикетажной книжке записывают номер пробы, место ее взятия, первоначальный объем пробы, поступающей в промывку, литологический состав породы, ее генетический тип. Важным моментом поисков является глубина отбора проб, поэтому ее величину всегда отмечают в документации, что позволяет оценивать тенденцию в возможном изменении с глубиной содержания минералов в рыхлых образованиях. Ценным фактическим материалом служат схематические зарисовки различных морфологических элементов рельефа с указанием мест отбора проб. На таких зарисовках показывают разрезы естественных обнажений, строение рыхлых образований, вскрываемых горными выработками, схематично изображают разрезы отдельных террас или попечные профили речных долин со сложным террасовым комплексом. Эти данные позволяют не только более надежно оценить результаты поисков, но и выявить возрастные и генетические взаимоотношения между разными типами механических ореолов рассеяния.

Существенным моментом является этикетирование проб. При шлиховых поисках в различных географо-климатических зонах промывка шлихов производится неодинаково. Обычно шлиховую пробу промывают в месте ее отбора во время поискового маршрута. Полученный шлих просушивают, снабжают этикеткой и укладывают в двойной капсюль, на котором, так же как и на этикетке, указывают место взятия шлиха, глубину отбора пробы и объем промытой породы. При работах в засушливых районах при опробовании в основном ложковых отложений сухой овражно-балоч-

ной сети, а также в горных районах с бурными мелкими ручьями, изобилующими перекатами, или в районах Крайнего Севера шлиховые пробы транспортируют к водоемам, где и промывают. Для этого пробы рыхлых пород помещают в плотные брезентовые мешки и снабжают этикетками, содержащими указанные выше краткие сведения о шлихе. Если материал влажный, то вместо бумажных этикеток в мешки с пробами вкладывают небольшие деревянные дощечки с надписанными карандашом номерами проб. В дальнейшем, после промывки деревянные дощечки заменяют бумажными этикетками.

В полевых условиях при отборе шлиховых проб составляется карта шлихового опробования, на которой точками наносятся места отбора шлихов и их номера. Карта опробования составляется одновременно с отбором шлиховых проб. При выполнении шлиховых поисков составляется также полевой шлиховой журнал, который в дальнейшем прикладывается к отчету в качестве фактического материала. Журнал шлихов содержит основные сведения, касающиеся отбора шлиховых проб в поле — первая часть, вторая часть его заполняется после получения из лаборатории результатов минералогического анализа шлихов.

ПРОМЫВКА ШЛИХОВ

Отбираемые шлиховые пробы промываются в воде с целью извлечения из них остатка тяжелых минералов, т. е. минералов плотностью более 2,5. Для промывки чаще всего используют лотки или ковши. Существует несколько различных типов лотков — корейский, сибирский, Харитонова, Солодянкина (рис. 11). Наиболее удобен в работе и чаще используется на практике лоток корейского типа. Лоток имеет две широкие наклонные стенки, сходящиеся посредине, и две маленькие, слабо наклоненные стенки, примыкающие к широким. Размеры лотка: длина 62 см, ширина по верху 38 см, по дну 32 см, высота 10—12 см; толщина стенок у дна 1,5 см, к концу рабочих плоскостей стенки утончаются. В лоток таких размеров помещается $0,01 \text{ м}^3$ разрыхленной породы. Сибирский лоток, имеющий в плане округлые очертания, применяется обычно только при поисках золота, так как позволяет быстро получать черные шлихи с золотом, а зерна более легких рудных минералов с его помощью не могут быть извлечены из пробы. Такие минералы лучше улавливаются при промывке проб в лотке Солодянкина. Лотки выдалбливаются из целого куска дерева; наиболее подходящие сорта дерева — кедр, береза, сосна. Составные лотки, а также лотки, имеющие в дне трещины, ни в коем случае нельзя использовать для промывки проб. В последнее время делаются попытки изготовления лотков из дюралиюминия с зашабренной внутренней поверхностью или из пластмасс с нарифляциями на рабочей плоскости. Следует подчеркнуть, что материал, из которого выполнен лоток, влияет на

качество промывки и изменяет выход шлиха, что необходимо иметь в виду при количественной оценке результатов шлиховых поисков. Иногда промывку производят в деревянных или металлических ковшах; чаще всего это ковши азиатского типа. В них же выполняется и доводка шлиха. Приспособления для промывки шлихов должны содержаться в чистоте, недопустимо использование их для каких-либо иных целей. Загрязнение ведет к появлению

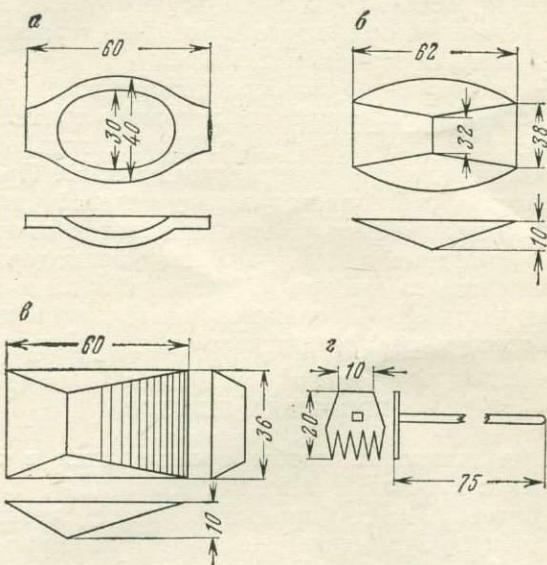


РИС. 11. ЛОТКИ ДЛЯ ПРОМЫВКИ ШЛИХОВ:
 а — сибирский; б — корейский; в — Солодянкина; г — грек. Размеры даны в сантиметрах

нию тонких жировых пленок, что сильно снижает извлечение из проб тяжелых минералов и обедняет шлихи рудными минералами.

Промывка шлиха в лотке корейского типа состоит из трех последовательных операций: пробуторка пробы, отмывка песчаной фракции и доводка шлиха. От тщательности и умения их выполнения во многом зависят результаты поисковых работ и перспективная оценка района.

Пробуторка проб нередко производится в специально отведенном для этого буторочном лотке. Проба засыпается в лоток, погружается под воду и замачивается. Затем с помощью железного гребка пробы осторожно перемешивается. При этом легкие глинистые частицы взмучиваются и током воды уносятся, а более крупные и тяжелые частицы остаются в лотке. Одновременно производится ручная отборка галечного и щебнистого материала: крупнообломочный материал обмывается над лотком от пристав-

ших глинистых и песчаных частиц, просматривается на предмет выявления рудной минерализации и только после этого выбрасывается. Отмучивание глинистой фракции производится до тех пор, пока в лотке остается однородная песчаная фракция и при перемешивании ее вода над лотком будет оставаться чистой, прозрачной.

Отмыкается песчаной фракции выполняется при активном потряхивании лотка под водой. Лоток держат за его короткую сторону и слегка наклоняют от себя, опустив противоположный его конец в воду. Лотку придают возвратно-поступательные и одновременно колебательно-вращательные движения, что заставляет воду в лотке активно перемещаться. В результате зерна отдельных минералов распределются в воде по удельному весу: тяжелые минералы оседают в углублении в центре лотка, а легкие песчинки постепенно перемещаются к краю лотка и смываются водой. При неумелой работе рудные минералы постепенно начинают сползать по дну лотка к его краю и теряются вместе с песчаной фракцией. Во избежание этого время от времени лоток приводят в горизонтальное положение, отбрасывают песчаную фракцию к центру и проверяют, не ползет ли шлих к переднему краю лотка. После этого лоток несколько раз интенсивно встряхивают под водой, а затем вновь продолжают промывку. Промывку продолжают до тех пор, пока промываемый материал количественно заметно уменьшится, заполнит лишь незначительную внутреннюю часть лотка и при движении воды в лотке у задней кромки промываемого материала появится черная полоска, т. е. будет виден сам шлих. Оставшееся в пробе небольшое количество легкого материала удаляется из шлиха при его доводке.

Доводка шлиха производится наиболее осторожно, так как при выполнении именно этой операции возможны наибольшие потери рудных минералов. Для этого промывальщики часто используют специальные более легкие доводочные лотки, позволяющие вести отмыку шлиха более осторожно. При доводке шлиха лоток погружают под воду и качательно-круговыми движениями взмучивают в нем шлих, а затем, потряхивая лоток, сгоняют к переднему краю зерна легких минералов и сливают их с водой. Повторяя эти операции несколько раз, из шлиха удаляют остаток легкой фракции. Иногда для доводки шлихов употребляют обычные деревенские ковши. Оставшаяся в лотке часть пробы переносится в ковш путем смывания водой. Ковш погружается в воду и ему придается потряхивающе-вращательное движение. Одновременно ковш погружают глубже в воду или приподнимают к ее поверхности, слегка наклоняя его. В результате зерна более легких минералов взмучиваются и переплываются через края ковша, а тяжелые минералы скапливаются на его дне.

Правильное определение конца доводки шлиха является крайне важным моментом. Как правило, промывку шлиховых проб ведут до получения серого шлиха, так как в этом случае в шлихе

будут сохранены зерна полезных компонентов не очень большой плотности (например минералы группы монацита: монацит, ксенотит, тантало-ниобаты, титанаты и их типоморфные спутники). Этот момент отчетливо устанавливается по переплыванию через края лотка или ковша ярко-красных зерен граната, бурых зерен сфена (благодаря своей яркой окраске они хорошо различимы в мокром шлихе). Ни в коем случае нельзя промывать пробы до черного шлиха, так как при этом теряется основная масса зерен рудных минералов и в шлихе сохраняются главным образом ильменит, магнетит и другие малоинтересные в поисковом отношении минералы. Промывку проб до черного шлиха можно вести только в случае специальных поисковых работ на определенную группу тяжелых рудных минералов — золото, платину, иногда — касситерит, вольфрамит. Как правило, шлих лучше не домыть, т. е. оставить в нем небольшое количество зерен легких минералов, чем перемыть и потерять при этом часть рудных минералов сравнительно небольшой плотности. От степени квалификации промывальщика во многом зависит успех поисковых работ: неквалифицированный шлиховщик «упускает» шлихи или «перемывает» их и этим может свести на нет всю работу по опробованию.

Производительность промывки зависит от характера промываемого материала, размера частиц ожидаемых рудных минералов; она резко снижается при сильно глинистых, трудно промываемых породах и очень мелких зернах полезных компонентов, требующих осторожной промывки. Нормы выработки на взятие и промывку шлихов на день работы шлихового отряда при средней проходимости территории поисков приведены в табл. 3 («Справочник укрупненных норм», 1960).

Таблица 3

Нормы шлихового опробования

Масштаб поисков	Количество шлихов	
	без копушения	с копушением
1:200 000	20—22	14—16
1:100 000	22—24	16—18
1: 50 000	26—28	18—20
1: 25 000	28—30	22—24

При лотковой промывке всегда имеют место потери тяжелых минералов. Они возникают из-за неопытности промывальщика, при резком и слишком быстром движении лотка, недостаточном предварительном отмыве глинистых частиц, промывке в быстром потоке воды и из-за дефектов промывных приспособлений. Ми-

нералы различной формы, размеров и плотности в разной степени могут быть извлечены из пробы. Наибольшие потери отмечаются для мелких зерен пластинчатого или призматического облика, обладающих сравнительно небольшой плотностью. Так, для золота и платины потери обычно составляют 10—15%, но в случае субмикроскопического золота, связанного с сульфидами, потери достигают 50%; для кассiterита и вольфрамита потери составляют 20—30%. В. А. Новиков (1970) дает следующие коэффициенты извлечения некоторых минералов (в %): магнетит — 90, гематит, ильменит, циркон — 83, гранат, корунд, рутил — 76, лимонит, ставролит, кианит — 60. А. А. Кухаренко (1957 г.) указывает, что при плотности минералов 4—5 извлекается 40—45%, а при плотности 3,0—3,5 — около 20—25%. Учитывая возможность потери ценных компонентов при лотковой промывке шлихов, часто при поисках россыпей производят контрольную промывку хвостов. Для этого промывку проб ведут над брезентом, а затем собранные хвости вновь перемывают в лотке, что позволяет определить процент потерь.

После окончания промывки шлихи высушивают. Высушивание лучше всего производить естественным путем на солнце, но, если это невозможно, шлихи подсушивают в железном совке или ковше легким прогревом на костре. Прокаливать шлихи на огне для более быстрого высыхания не следует, так как при этом некоторые минералы могут окислиться или растрескаться. При массовом маршрутном сборе шлихов их можно смывать с лотка в небольшие мешочки с номерами, а затем, после окончания маршрута, просушивать.

В последнее время для быстрой и качественной промывки шлихов стал успешно применяться винтовой сепаратор. Он представляет собой вертикально расположенный спиральный желоб. В верхнюю его часть производится загрузка пробы, подлежащей промывке, и подается вода. Концентрация шлихов происходит под воздействием на частицы минералов, движущихся с током воды вниз по спирали, сил тяжести, трения, смывных потоков воды и центробежных сил, отбрасывающих легкие частицы к периферийной части желоба, в то время как тяжелые частицы продвигаются вдоль внутренней кромки желоба и выводятся через специальное разгрузочное отверстие, чем и достигается освобождение шлиха от зерен легких минералов.

ЧАСТЬ II

ЛАБОРАТОРНЫЙ АНАЛИЗ ШЛИХОВ

Исследование минералогического состава шлихов в лабораториях несколько своеобразно и существенно отличается по ряду приемов от обычного минералогического анализа образцов руд или пород. Специфика исследования минералов в шлихах определяется прежде всего небольшими их размерами: отдельные зерна минералов шлихов неразличимы простым глазом и их приходится рассматривать с помощью бинокулярного стереоскопического микроскопа. В настоящее время используют микроскопы марок МБС-1 или МБС-2, выпускаемые фирмой ЛОМО. Указанные микроскопы дают стереоскопическое изображение объекта, что позволяет изучать некоторые особенности отдельных зерен или кристаллов минералов, что лежит в основе их диагностики.

Как указывалось ранее, минералы шлихов при длительной транспортировке от их коренного источника меняют свой внешний облик. Так, механическое воздействие на зерна минералов приводит к появлению на их поверхности царапин, трещин, выбоин, при большом количестве которых минералы становятся матовыми. Кроме того, меняется первоначальная форма зерен или кристаллов минералов, так как при переносе в поверхностных условиях происходит разламывание зерен, а в дальнейшем, при значительной транспортировке, — окатывание. При этом химически неустойчивые минералы сильно изменяются: на их поверхности при окислении образуются пленки вторичных минералов, которые покрывают зерна сплошной рубашкой или пятнами, заполняют углубления, дефекты поверхности. Часто зерна минералов шлихов бывают покрыты чужеродными железистыми пленками. Таким образом, механическое и химическое воздействие агентов поверхностного выветривания на минералы сильно изменяет их внешний облик и делает подчас неузнаваемыми. Особенно интенсивно изменяются зерна рудных минералов, представляющих наибольший интерес в составе шлихов. В связи со сказанным своеобразны те методы, с помощью которых минералы диагностируются в шлихах. Обычно лабораторный анализ шлихов разделяют на две стадии: а) фракционирование шлихов, т. е. подготовка их к анализу и выделение групп минералов, близких между собой по определенным свойствам; б) диагностика минералов в отдельных фракциях с помощью различных методов исследований.

ГЛАВА 1

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ШЛИХОВ

Фракционирование шлихов с целью изучения их вещественного состава является одним из важнейших этапов минералогических исследований в лабораториях. Методы сепарации основаны на различиях в физических или физико-химических свойствах разделяемых минералов; различия в плотностях, магнитных, электрических свойствах минералов, их смачиваемости, твердости, размерах и форме зерен позволяют выделять из общей массы шлиха группы минералов, обладающих строго определенными свойствами.

Определение минералогического состава таких фракций шлиха значительно облегчается, так как возможность нахождения в той или иной части шлиха определенного минерала зависит от его свойств и поэтому при диагностике круг возможных минералов заметно сужается. В ряде случаев удается выделять мономинеральные фракции, определение минералов которых не представляет затруднений. Следует иметь в виду то обстоятельство, что рудные минералы или их парагенетические спутники, интересные в поисковом отношении, содержатся в шлихах в незначительных количествах и в массе силикатов и других нерудных минералов трудноразличимы. При выделении из шлиха отдельных фракций эти минералы концентрируются в определенной фракции (чаще всего в тяжелой), количественно обогащаются и тем самым исключается возможность их пропуска в шлихе и облегчается диагностика.

В настоящее время имеется ряд принципиально близких схем, по которым производится фракционирование шлихов. В основе его лежит использование различий у минералов магнитных и электрических свойств и плотностей. Составом шлихов, а именно соотношением в нем тяжелых и легких минералов, определяется последовательность выполнения отдельных операций. Наиболее часто начинают фракционирование с отделения фракций ферромагнетиков, далее с помощью тяжелых жидкостей отделяют тяжелые минералы от легких и полученную фракцию обрабатывают электромагнитом для разделения парамагнитных и диамагнитных минералов (табл. 4). Подобная последовательность операций удобна при черных шлихах, имеющих очень небольшое количество легкой фракции (кварца, полевых шпатов и т. д.). Однако, как было указано ранее, такие шлихи отмываются при поисках редко, так как при этом возможна потеря интересных с поисковой точки зрения типоморфных спутников рудных минералов. При лабораторной обработке серых шлихов целесообразно несколько изменить последовательность операций — обработку шлиха тяжелой жидкостью проводить в заключительные стадии (после отделения всех магнитных минералов). При обилии в шлихе

Схема фракционирования черных иллюхов

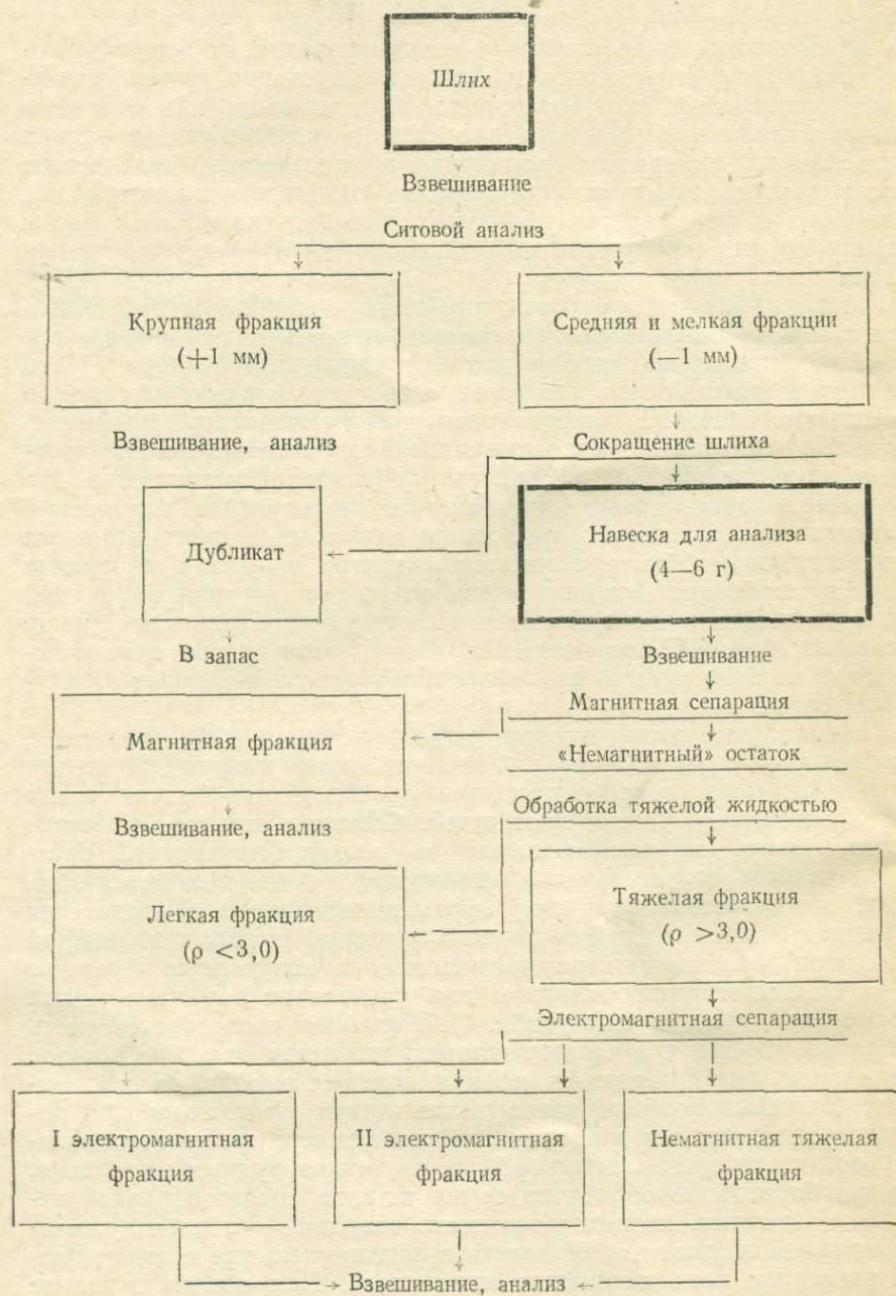
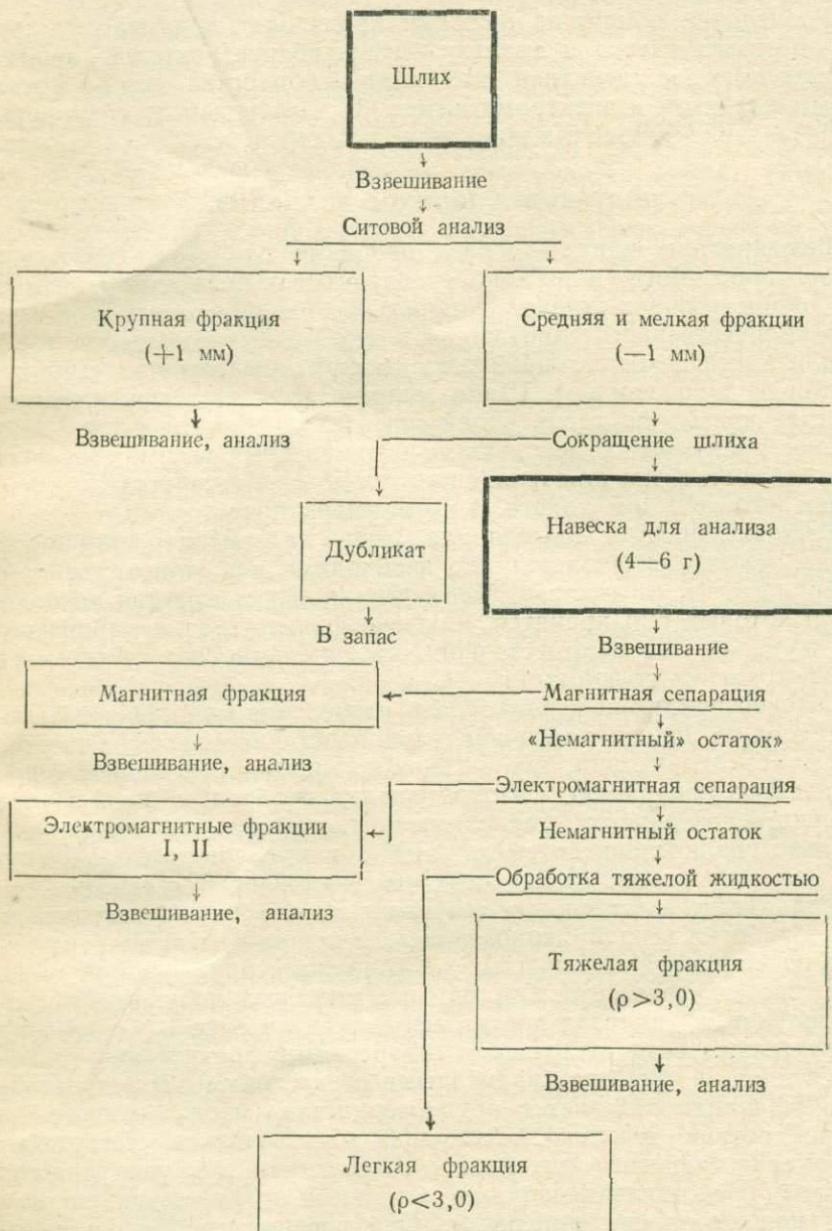


Схема
фракционирования серых шлихов



зерен таких легких минералов, как кварц, полевые шпаты и др., схема фракционирования изменяется, что позволяет существенно сократить расход дорогостоящих тяжелых жидкостей и их растворителей и несколько уменьшить затраты времени на сепарирование шлиха (табл. 5).

Разделение шлиха на фракции производят в четыре стадии: 1) подготовка шлиха к анализу — взвешивание, ситовой анализ, сокращение; 2) магнитная сепарация — обработка шлиха постоянным магнитом и электромагнитом; 3) электрическая сепарация; 4) разделение в тяжелых жидкостях или сплавах.

ПОДГОТОВКА ШЛИХОВ К АНАЛИЗУ

Взвешивание шлиха — первая операция при его обработке в лаборатории. Массу шлиха, полученную после промывки стандартной пробы песчано-глинистых пород, необходимо знать для расчета количественного содержания в нем рудных минералов (объем или масса исходных проб должны быть указаны при отправке шлихов в лабораторию). Шлих взвешивается на технических весах с точностью до сотых долей грамма. В полевых условиях удобнее пользоваться небольшими аптекарскими весами, точность которых достаточна для шлихового анализа. Масса шлиха указывается на наружном пакете, в который упакован шлих.

Каждая фракция, выделяемая при дальнейшей обработке шлиха, также взвешивается, что необходимо для количественного минералогического анализа. Масса фракций указывается на пакетах, в которых они хранятся, а также фиксируется в лабораторном журнале или в картотечной карточке при соответствующей форме хранения информации.

Ситовой анализ преследует цель разделения механической смеси минералов шлиха различной размерности на классы, однородные по гранулометрии, что позволяет производить более точно дальнейшую сепарацию. Ситовой анализ необходим при крайне неравномернозернистом шлихе, так как разделять минералы, значительно отличающиеся по величине зерен, очень трудно. В случае мелкозернистых, однородных по размерности зерен шлихов ситовой анализ в отдельных случаях может не производиться. При обработке неравномернозернистого шлиха для выделения чистых по составу и однородных по гранулометрии фракций шлих просеивается через сите. Обычно при массовых полуколичественных шлиховых анализах достаточно рассев на сите 1 мм (весьма нежелательны сите с круглыми отверстиями; значительно точнее рассев идет на сетках с квадратными отверстиями). В результате этого от шлиха отделяется крупнозернистая часть, количество которой обычно невелико, а основная масса шлиха состоит из равномернозернистого материала. Выделенная крупная фракция (+1 мм) представлена мелкими обломками пород, крупными зернами или сростками минералов. Она взвешивается и упаковы-

вается в отдельный пакет. После окончания минералогического анализа всех прочих фракций крупная функция также просматривается под бинокуляром, так как и в ней могут оказаться крупные зерна или сростки рудных минералов, которые следует учесть при количественном анализе. Отсевая равномернозернистая часть шлиха (-1 мм) подвергается дальнейшей обработке.

При более точных количественных анализах шлихов В. А. Новиков (1970) рекомендует производить более дробный рассев; при этом указывается стандартный набор сит 3,2; 1; 0,315; 0,1 мм. При наличии большого количества зерен класса ($-0,1$), ситовой набор следует дополнить ситом 0,056 мм. Для увеличения точности количественных определений при специальных исследованиях В. А. Новиков советует использовать еще и промежуточные сита — 0,56 и 0,18 мм.

Взятие средней пробы или сокращение шлиха. Обычно шлихи, поступающие на исследование в лабораторию, не анализируются полностью. От каждого шлиха отделяется определенная часть, которая затем изучается, а оставшаяся часть сохраняется в качестве дубликата. Средняя пробы берется наиболее тщательно, так как она должна быть представительной и действительно отражать средний минеральный состав шлиха. Размер навески для анализа определяется первоначальным содержанием в пробе и соответственно в шлихе полезного компонента и размером его зерен, а также чувствительностью анализа (последнее зависит от минимального промышленного содержания полезного компонента в песках). При шлиховых поисках редко встречающихся минералов (золото, платина, tantalит) полученные после промывки проб песчано-глинистых пород шлихи сокращать не следует. Если же поиски ведутся на более распространенные минералы (вольфрамит, кассiterит, шеелит, монацит и др.), то шлихи целесообразно подвергать квартованию. Пределом квартования для класса (-1 мм) следует считать $\frac{1}{16}$ часть первоначального веса шлиха, с таким расчетом, чтобы в полученной навеске было не менее 2 г минералов большой плотности (т. е. навеска должна быть взята в пределах 4—6 г). При малом выходе шлиха из проб рыхлых пород (при небольшом весе полученных шлихов), шлих не сокращается.

Сокращение шлиха и отделение от него навески для анализа производится различными методами. Наиболее прост и доступен, но весьма трудоемок метод квартования. На описании техники работы методом квартования мы останавливаться не будем; эти вопросы подробно изложены в соответствующих пособиях по методике опробования*.

* П. Н. Марков. Геологоразведочное дело. Изд. МГУ, 1967. А. А. Максимов, Г. Г. Милосердина, Н. И. Еремин. Краткий курс геологоразведочного дела. Изд. МГУ, 1971.

Гораздо удобнее сокращать шлих с помощью специальных лабораторных делителей (рис. 12). Струйчатый делитель представляет собой приемник, разделенный перегородками на отделения. Каждое отделение имеет дно, склошенное в противоположную сторону по отношению к соседнему отделению. Через все отделения приемника осторожно, равномерно пересыпают шлих. При этом зерна минералов, попавшие в два соседних отделения, раз-

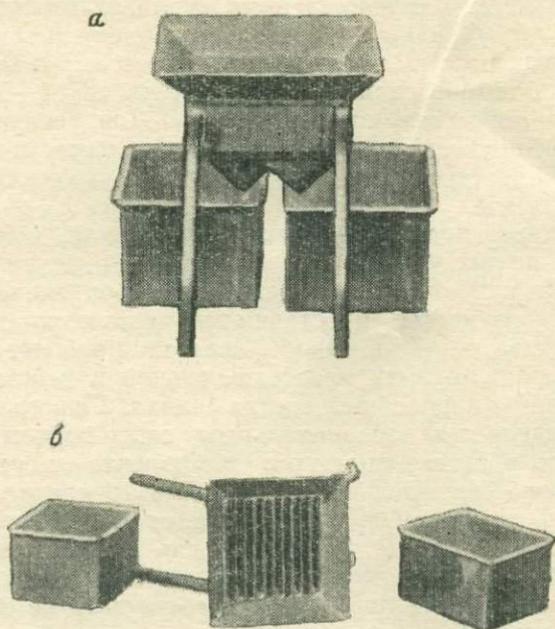


РИС. 12. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТРУЙЧАТЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ
ДЖОНСА:
а — вид в профиль; б — вид сверху

гружаются в противоположные стороны и попадают в два разных небольших приемника, находящихся под делителем. Этой операцией достигается сокращение шлиха вдвое. Одну из полученных половин шлиха вновь сокращают, а вторую откладывают в запас. Эту операцию повторяют до получения навески для анализа нужного исходного веса, т. е. 4—6 г, или $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ часть первоначального шлиха. Отложенные части шлиха идут в дубликат.

После сокращения шлиха выделенную из него навеску для анализа взвешивают и вес ее записывают в журнал. Дубликат шлиха сохраняют на случай необходимости проведения дополнительных или повторных исследований. Дальнейшее фракционирование производится только в навеске для анализа, из которой и выделяются для подробного минералогического анализа основные фракции.

МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ ШЛИХОВ

Как известно, многие минералы способны намагничиваться в магнитном поле. Выражением магнитных свойств минералов является интенсивность их намагничивания в магнитном поле или величина магнитной восприимчивости — κ . По величине магнитной восприимчивости все минералы можно разделить на три группы: 1) диамагнитные — $\kappa < 1$, отталкиваются магнитом, например самородный висмут; 2) парамагнитные — $\kappa > 1$, проявляют свои магнитные свойства в сильных магнитных полях, например пироксены, амфиболы; 3) ферромагнитные — κ очень велика, например магнетит, пирротин.

Магнитные свойства минералов определяются присутствующими в их составе атомами или ионами, геометрией их расположения в пространстве и типом действующей между ними химической связи. Ионами — магнитоформами, по Г. А. Смелянской (1967), являются Fe^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , некоторые лантаноиды и актиноиды.

Значения магнитной восприимчивости минералов колеблются в широких пределах как для различных групп минералов, так и в пределах одного и того же минерального вида. Как правило, минералы, характеризующиеся широким изоморфизмом элементов, обнаруживают заметные колебания значений магнитной восприимчивости, что может быть вызвано изоморфизмом элементов — парамагнетиков и диамагнетиков — в решетке минерала. Кроме того, заметные колебания величин магнитной восприимчивости наблюдаются при наличии в минералах микропримесей сильномагнитных или парамагнитных минералов.

На различиях магнитных свойств минералов основаны разнообразные виды магнитной сепарации шлихов. Ферромагнитные минералы отделяются с помощью постоянных магнитов, парамагнитные минералы могут быть извлечены в сильных магнитных полях электромагнитом.

Сепарация постоянными магнитами. Магнитная сепарация производится с целью извлечения из навески для анализа минералов, обладающих ферромагнитными свойствами, — магнетита, титаномагнетита, якобсита, пирротина, маггемита, феррита и др. Эти минералы извлекаются из шлиха с помощью обычного постоянного магнита (прямого или подковообразного). Однако последний не очень удобен в работе, так как прилипшие к полюсам магнитные минералы трудно удаляются с магнита. Для устранения этого явления полюса магнита оберывают тонкой папиросной бумагой, снимая которую удаляют и магнитную фракцию. Папиросную бумагу можно заменять фотопленкой без эмульсии или «башмачками» из тонкой пластмассы.

В работе наиболее удобен и практичен специальный постоянный многополюсный самосбрасывающий магнит, конструкция которого чрезвычайно проста. Магнит имеет продол-

говатую, заклеенную снизу фотопленкой алюминиевую рамку, в которой передвигается якорь. В одной части рамки якорь укрепляется с помощью специальных выступов, а из другой части свободно вынимается. В алюминиевом корпусе якоря с помощью цементирующей массы укреплена небольшая рифленая пластинка, отлитая из никель-алюминиевой стали, которая и служит магнитом. Для выделения магнитной фракции с помощью этого магнита навеску для анализа рассыпают тонким равномерным слоем на стекле или на листе бумаги и подносят рамку с закрепленным в ней якорем к поверхности шлиха, слегка касаясь его. Магнитные минералы притягиваются к полюсам магнита идерживаются им на пленке. Затем, держа магнит над чистым листом бумаги, якорь переводят в противоположную часть рамки и вынимают, магнитные минералы с пленкисыпаются на бумагу. Так как выделение магнитной фракции идет очень активно, то, во избежание ее загрязнения механически захватываемыми зернами немагнитных минералов, перед сбрасыванием магнитных минералов производят их чистку. Для этого якорь в рамке слегка передвигают возвратно-поступательно, держа магнит горизонтально высоко над шлихом, и случайно захваченные зерна осыпаются обратно в шлих.

Для обработки проб, содержащих сильно магнитные минералы, можно использовать ручной магнит в чехле РМЧ, предназначенный для сухой или мокрой сепарации. Прибор состоит из внутреннего подвижного стержня, имеющего на одном конце насадку из сплава СПМ-16 (магнико), на другом — пластмассовую ручку, и заключен в цилиндрический дюралюминиевый чехол. Перемещение стержня в чехле переводит магнит из нижнего рабочего положения в верхнее — нерабочее. Для выполнения сухой магнитной сепарации навеска рассыпается тонким слоем на стекле или листе бумаги. Чехол магнита при опущенном до крайнего нижнего положения подвижном стержне приводится в соприкосновение с навеской, в результате чего из последней отделяются ферромагнитные минералы. Магнит уносят в сторону и над чистым листом бумаги отделенную сильномагнитную фракцию сбрасывают, передвигая стержень в крайнее верхнее положение. Повторяя подобные операции, выделяют все ферромагнитные минералы и полученную фракцию дополнительно перечищают, действуя аналогичным образом. При обработке мелких классов ($-0,1$ мм) сепарацию целесообразно производить в воде, чтобы получить более чистые фракции. Для этого навеску помещают в фарфоровую чашку диаметром 100—200 мм и заливают водой. Рядом ставят еще несколько чашек с водой. Зерна, приставшие к магниту, постепенно переносят из чашки в чашку, освобождая их от приставших частиц немагнитных минералов последовательным промыванием в воде.

Количество сильномагнитной фракции в шлихах различно, в среднем на ее долю приходится небольшая часть навески, но ча-

сто эта фракция составляет 20—40% навески. Иногда шлихи совершенно лишены магнитной фракции. Выделенная сильномагнитная фракция взвешивается и анализируется под бинокулярным микроскопом.

Сепарация электромагнитами. После отделения сильномагнитной фракции в «немагнитном» остатке остается еще довольно много минералов, обладающих слабо выраженным магнитными свойствами, — парамагнитные минералы. В основном это минералы, содержащие в своем составе элементы семейства железа (пироксены, амфиболы, гранаты и др.), а также те минералы, в состав которых железо входит в виде изоморфной примеси (моанцит, сфен и другие слабомагнитные минералы). Эти минералы, помещенные в сильное магнитное поле, также начинают проявлять свои магнитные свойства, что позволяет отдельить их от минералов действительно немагнитных (диамагнитных). Для этого производится электромагнитная сепарация «немагнитного» остатка, образовавшегося после выделения из навески для анализа сильномагнитной фракции.

Электромагнитная сепарация производится с помощью электромагнитов. В настоящее время известны электромагниты, отличающиеся между собой конструктивными особенностями. Электромагниты старых систем (Сочнева, Окунева, Биндуля) предназначены для небольших стационарных лабораторий.

В крупных лабораториях, где приходится разделять значительные по весу шлихи или крупные протолочные пробы, используются барабанные многополосные магнитные сепараторы или электромагнитные индукционно-роликовые сепараторы, а также электромагниты: 138Т — СЭМ, УЭЛЭМС, УЭЛЭМС-1 и УЭМ-1Т.

Универсальный электромагнит УЭМ-1Т (рис. 13) может использоваться в полевых и стационарных условиях и предназначен для разделения шлихов на слабо-, средне- и сильномагнитные фракции. Электромагнит имеет две последовательно соединенные катушки с сердечниками из стали Армко-Э, на которые крепятся полюсные наконечники. В комплект прибора входит три пары полюсных наконечников: 1) многополосные гребенчатые, служащие для отделения сильномагнитных минералов методом просыпки; 2) клиновидные, применяемые для сепарации «сухим» методом и выделения среднемагнитной и слабомагнитной фракций; 3) конические, используемые для отделения мономинеральных фракций «мокрым» методом с использованием специальной приставки. Применение различных полюсных наконечников позволяет менять напряженность поля в их зазоре в пределах 1500—27 500 эрстед. Обмотки электромагнита питаются постоянным током от источника, состоящего из автотрансформатора и мостикового выпрямителя. Ток в электромагните устанавливается поворотом ручки автотрансформатора и контролируется по амперметру.

Работа на электромагните производится следующим образом. «Немагнитный» остаток, полученный после обработки навески для анализа постоянным магнитом, рассыпают тонким равномерным слоем на стекле, которое находится на некотором расстоянии или

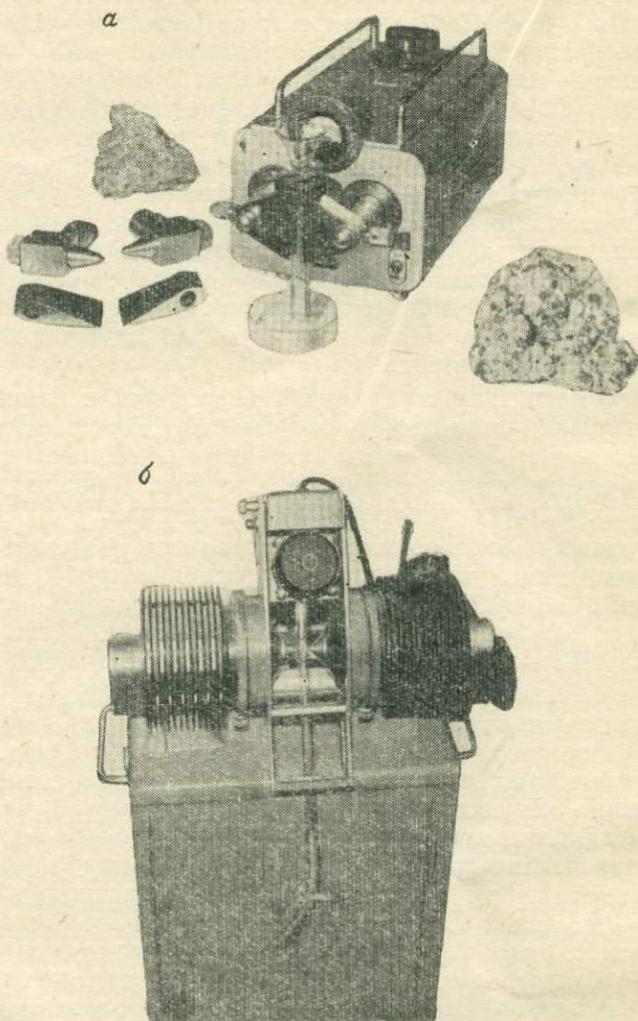


РИС. 13. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ:
а — универсальный электромагнит УЭМ-1Т; б — сепаратор СЭМ-1

слабо касается полюсов электромагнита. При замыкании цепи электромагнита магнитные минералы прилипают к его полюсам и удерживаются на них до тех пор, пока включен электромагнит. Выключая его, сбрасывают магнитные минералы на чистый конец

стекла. Иногда полезно отделенные магнитные минералы вновь набрать на полюса электромагнита, а потом сбросить. При этом случайно захваченные зерна немагнитных минералов уходят из фракции. Меняя условия выделения магнитных минералов — напряженность поля электромагнита, расстояние между его полюсами и расстояние между поверхностью стекла со шлихом и полюсами электромагнита, — удается выделить различные по магнитности фракции. Обычно выделяют две электромагнитные фракции: первую — средней магнитности и вторую — слабой магнитности. Первая электромагнитная фракция может выделяться при силе тока около 0,5—1 А, при зазоре между полюсами 1,5 мм и при расстоянии между стеклом со шлихом и плоскостью полюсов электромагнита около 1 см. Вторая электромагнитная фракция может выделяться путем касания полюсами электромагнита поверхности шлиха при силе тока 1,0—1,5 А и при зазоре между полюсами 1,5 мм. Выделенные фракции взвешивают и изучают их минеральный состав. Оставшийся от навески для анализа немагнитный остаток подвергается обработке тяжелой жидкостью для выделения из него тяжелых рудных минералов.

Универсальный постоянный ручной магнит С-5 (магнит А. Я. Сочнева) позволяет отбирать из шлихов фракции разной магнитности: сильномагнитную — магнетитовую, среднемагнитную — ильменито-гранатовую, слабомагнитную — пироксен-амфиболовую и очень слабомагнитную — монацит-феновую.

Основным элементом магнита является магнитная колодка, отлитая из сплава магнико, внутренняя полость которой залита серой. Вследствие неодинаковой ширины межполюсных зазоров интенсивность магнитного поля различная, что и используется для отделения слабомагнитной и очень слабомагнитной фракций. Выступающая часть боковой поверхности колодки намагничена многополюсно и служит для извлечения сильномагнитных минералов. Среднемагнитные минералы могут быть извлечены с помощью специальной накладки — скобы, примыкающей к боковой поверхности колодки.

Для работы с магнитом С-5 шлих рассыпают тонким слоем на листе бумаги или на стекле. Сначала на выступающую часть колодки магнита накладывают тонкую железную пластину, через которую отбирают методом касания сильномагнитную фракцию. Очистка ее производится путем придания магниту возвратно-поступательного движения относительно железной пластинки. Чистая сильномагнитная фракция сбрасывается путем снятия пластинки с магнита. Среднемагнитная фракция извлекается с помощью скобы без использования железной пластинки. Для этого зазором скобы последовательно касаются пробы в разных ее участках и среднемагнитные минералы удерживаются магнитом. Разгрузка фракции производится на чистый лист бумаги или в стеклянную чашку — снимается скоба с магнита или фракция сметается кисточкой. Слабомагнитные минералы могут быть из-

влечены той частью магнита, где зазор между краями магнитной колодки магнита более широкий, а для отделения самых слабомагнитных минералов следует использовать наиболее узкий зазор в колодке магнита. В обоих случаях магнит накладывается соответствующей стороной на шлих и затем постепенно перемещается вдоль него при легком приподнимании магнита над пробой. Отделенные фракции счищаются кисточкой с рабочих поверхностей

магнита на лист бумаги или в стеклянную чашку. Случайно оставшиеся неизвлечеными зерна магнитных минералов можно быстро отобрать, проведя магнитом по пробе несколько раз взад и вперед, не приподнимая его.

В последние годы заводом «Геологоразведка» освоен серийный выпуск электромагнитов высокого класса, позволяющих при достаточном навыке и вдумчивой работе извлекать из шлихов или протолочных проб практически мономинеральные фракции. При

РИС. 14. ОБЩИЙ ВИД ИЗОДИНАМИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА СИМ-1

выполнении специальных тематических исследований для подобных целей предназначен изодинамический электромагнитный сепаратор типа СИМ-1 (рис. 14). Высокая чистота и точность разделения проб обеспечивается магнитным полем заданной неравномерности и наличием в воздушном зазоре полюсных башмаков зоны изодинамичности. Зоной изодинамичности называется часть межполюсного пространства магнита, в которой сила, действующая на частицу вдоль образующей поперечного профиля полюсных башмаков, равна нулю, а в направлении, перпендикулярном образующей, создается магнитное поле заданной неравномерности. Для разделения минералов близких по величине χ пребывание частиц в зоне изодинамичности должно быть большим, что достигается созданием магнитных цепей больших габаритов и длительным временем нахождения минералов в магнитном поле.

Сепаратор состоит из электромагнита и трех сменных сепарационных устройств. Вертикальное сепарационное устройство используется для выделения из многокомпонентной смеси минерала с сильно отличающимся значением χ (магнетит). Наклонное сепарационное устройство предназначено для разделения минеральных смесей с близкими значениями магнитной восприимчивости и выделения мономинеральных фракций. Для обработки тонких

классов (0,01—0,001 мм) предусмотрено сепарационное устройство, где разделение минералов по степени их магнитности происходит в суспензиях.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ ШЛИХОВ

В последние годы все больший интерес стало вызывать использование новых методов для лабораторной обработки проб. К ним относится электрическая сепарация минералов. Используя различия электрических свойств минералов в комбинации с методами магнитной сепарации (Захарова, 1969), можно успешно разделять сложные для фракционирования пробы (табл. 6).

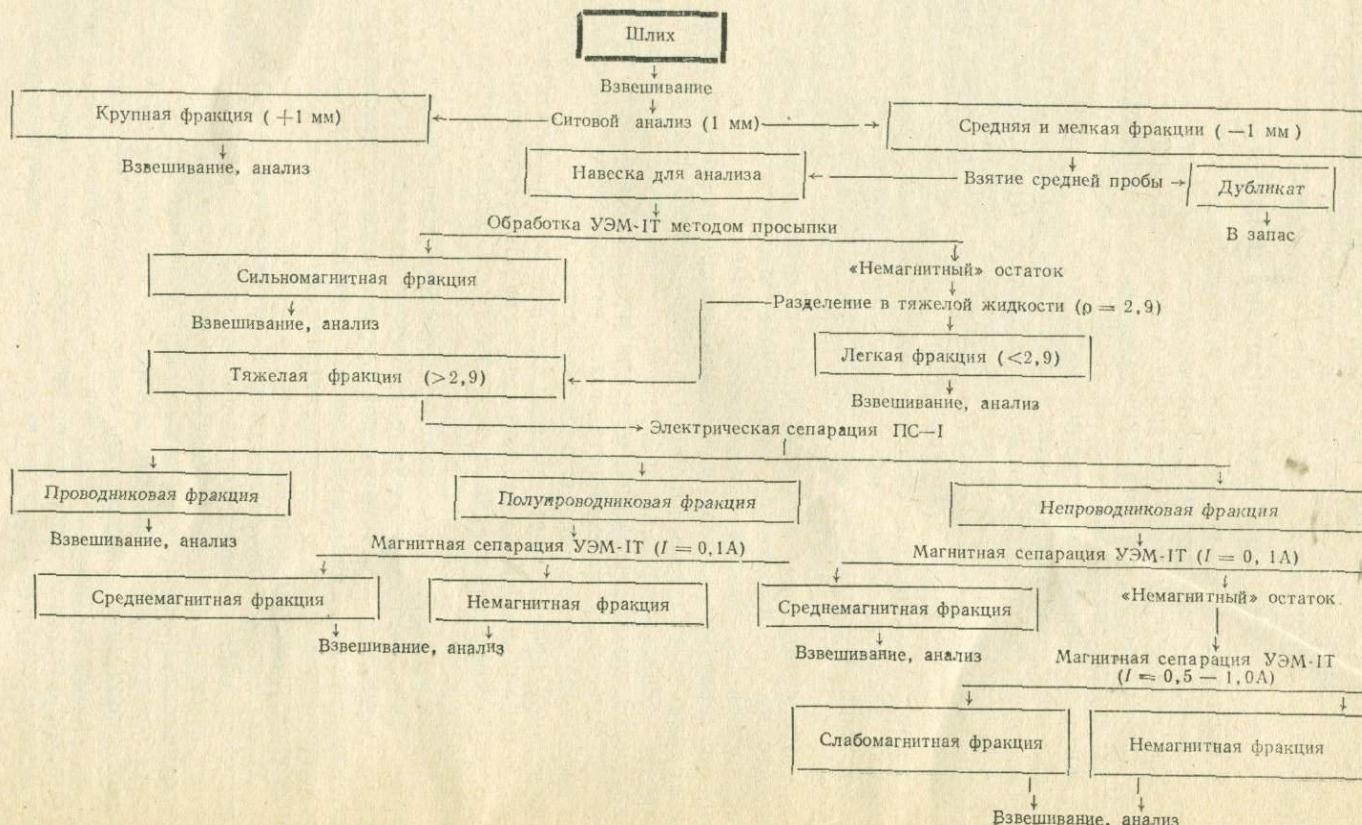
По электрическим свойствам минералы можно разделить на проводники, диэлектрики и полупроводники. Поэтому, попадая в поле высокого напряжения между электродом с высоким отрицательным потенциалом и заряженным положительно осадительным электродом, разные минералы ведут себя различно. Минералы-проводники, обладающие электронной проводимостью и имеющие низкие значения удельного сопротивления, почти мгновенно отдают свои электроны осадительному электроду и, получая однотипный с ним заряд, отталкиваются от него. К таким минералам относятся ильменит, сульфиды, гематит и др. Минералы-диэлектрики с высокими значениями удельного сопротивления вследствие их ионной проводимости и малой подвижности электронов медленно отдают последние осадительному электроду и, сохраняя на поверхности зерен отрицательный заряд, некоторое время удерживаются на осадительном электроде. Диэлектриками являются такие минералы, как апатит, циркон, кварц, амфиболы и др. Минералы, относящиеся к полупроводникам, занимают промежуточное положение в электрическом поле. Основываясь на различной проводимости минералов, можно выполнять электрическую сепарацию двумя методами: с помощью поискового электрического сепаратора сухим методом и на диэлектрическом сепараторе в жидком диэлектрике.

Поисковый электрический сепаратор ПС-1 (рис. 15) предназначен для разделения минералов по электрическим свойствам — электрической проводимости и диэлектрической проницаемости. Сепарация может производиться в коронном электрическом поле, в электростатическом поле и в комбинированном электрическом поле.

В коронном электрическом поле отделяются сульфиды, арсениды, сульфосоли и самородные металлы. Минералы — непроводники с удельной проводимостью ниже 10^{-9} см/ом сепарируются в электростатическом поле, так как при этом используются различия в их диэлектрической проницаемости. С помощью электростатического поля можно разделять такие минералы, как кварц и кальцит, гранат и др. Для выделения в проводящую фракцию минералов с проводимостью выше 10^{-8} см/ом применяют комбинированное электрическое поле, в котором разделение минералов ос-

Таблица 6

Схема фракционирования шлихов



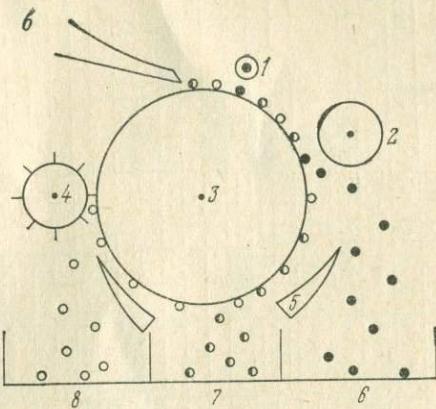
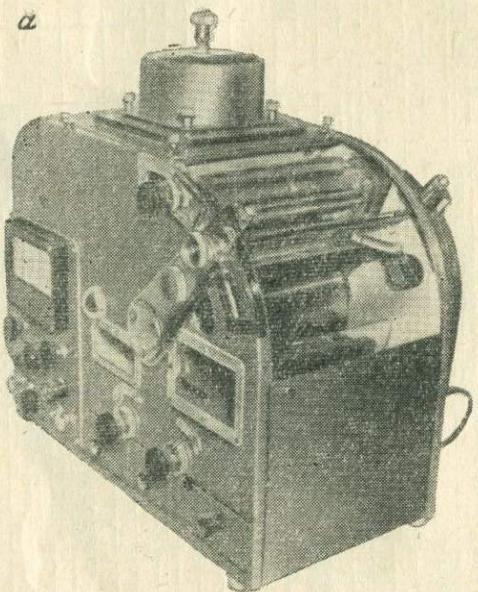


РИС. 15. ПОИСКОВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ПС-1:

a — общий вид; *б* — принципиальная схема: 1 — коронирующий электрод; 2 — отклоняющий электрод; 3 — осадительный электрод; 4 — щетка; 5 — отсекатель; 6 — приемник для проводниковых минералов; 7 — приемник для полупроводниковых минералов; 8 — приемник для непроводниковых минералов

новано на различиях в проводимости и диэлектрической проницаемости их. В этом случае в проводниковую фракцию могут быть извлечены ильменит, рутил, колумбит, магнетит, хромит

Таблица 7

Распределение главнейших шлихобразующих минералов по фракциям

Минералы	Тяжелая ($d > 2,9$)						Легкая ($d < 2,9$)		
	Сильно-магнитная	Полупроводниковая		Непроводниковая		Продукт	Полупроводниковая	Непроводниковая	
		Средне-магнитная	Немагнитная	Средне-магнитная	Слабо-магнитная				
Анатаз									
Алатит									
Амфиболы									
Барит									
Берилл									
Биотит									
Вольфрамит									
Галенит									
Гематит									
Дрангит						Малослюдистые			
Золото						Железистые			
Ильменит									
Карбонат									
Касситерит		Черные				Светлые			
Кварц									
Киколярь									
Кианит			Свободен			Свободен			
Колумбит									
Ксеноцит									
Лимонит									
Моназит									
Магнетит									
Мусковит									
Оливин									
Пирит			Окисленный						
Пироглоб									
Пироксены									
Пирротин									
Полевые шпаты									
Рутил									
Ставролит									
Сфальрит									
Силлиманит			Свободен						
Сфен								Чистые	
Дантолит									
Топаз									
Циромалин									
Флюорит									
Халькопирит									
Хлорит									
Хромит									
Циркон									
Шеелит									
Эпидот									

Преобладает — Много — Мало — Единичные зерна

Примечание. Проводниковая фракция $\frac{1}{\rho} > n \cdot 10^{-4}$; полупроводниковая $\frac{1}{\rho}$ от $n \cdot 10^{-4}$

до $n \cdot 10^{-12}$ и непроводниковая $\frac{1}{\rho} < n \cdot 10^{-12}$.

и др. минералы. Возможность использования электрической сепарации в общей схеме шлихового анализа показана в табл. 7. Диэлектрические постоянные некоторых минералов приведены в табл. 8.

Таблица 8
Диэлектрические постоянные (ϵ) некоторых минералов

Минерал	ϵ по Е. В. Рожко- вой и Л. В. Про- скуровскому	ϵ по Розенхольну и Смиту	Минерал	ϵ по Е. В. Рожко- вой и Л. В. Про- скуровскому	ϵ по Розенхольну и Смиту
Монацит	3,0—6,6	7,98	Хлоритоид	6,9	—
Лимонит	3,2	—	Целестин	—	6,94
Шеелит	3,5	—	Везувиан	7,2	—
Циркон	3,6—5,2	7,09	Эгирин	7,2	—
Сфен	4,0—6,6	5,63	Топаз	7,4	6,09
Ортит	4,2	—	Диоптаз	7,6	—
Альмандин	4,3	6,25	Реальгар	7,6	—
Малахит	4,4	—	Тремолит	7,6	7,03
Роданит	4,6	—	Спессартин	7,6	—
Апатит	4,8	5,72	Гроссуляр	—	7,64
Роговая обманка .	4,9—5,8	7,37	Самарскит	7,7	—
Эвксенит	5,2	—	Андрадит	8,2	6,35
Сидерит	5,2	6,78	Энстатит	—	8,23
Сфалерит	—	5,29	Андалузит	—	8,28
Корунд	5,65—6,35	5,35	Геденбергит	—	8,99
Дистен	5,7	7,18	Силлиманит	—	9,29
Эшниит	5,8	—	Диопсид	10,0	7,16
Азурит	6,0	—	Сerpентин	10,0	—
Ангидрит	—	6,09	Биотит	10,3	9,28
Киноварь	6,2	—	Антофиллит	10,5	—
Эпидот	6,2	6,18	Магнетит	10,6	—
Борнит	6,2—7,9	7,86	Рутил	10,6	5,85
Флюорит	6,2—8,5	7,11	Гётит	—	11,70
Доломит	6,3—8,2	8,45	Касситерит	—	27,75
Хлорит	6,6	8,63	Ильменит	—	33,7—81,0
Актинолит	6,6	6,82	Магнетит	—	33,7—81,0
Авгит	—	6,72	Пирит	—	33,7—81,0
Оlivин	—	6,77	Гематит	—	81
Шпинель	—	6,77	Пирротин	—	81
Ставролит	—	6,80	Галенит	—	81
Гиперстен	—	6,85	Графит	—	81

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ШЛИХОВ С ПОМОЩЬЮ ТЯЖЕЛЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Разделение минералов шлиха с помощью тяжелых жидкостей основано на различиях в их плотностях: минералы тяжелее

Таблица 9

Краткая характеристика
некоторых тяжелых жидкостей и сплавов

Название	Состав	Плотность	Цвет	Растворители	Особые свойства
Бромоформ	CHBr_3	2,89	Бесцветный	Спирт, эфир, ацетон, бензол, бензин, четыреххлористый углерод	Разлагается на свету, летуч, токсичен
Тетрабромэтан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	2,97	То же	Ацетон, спирт, бензин, бензол, эфир, четыреххлористый углерод	Мало токсичен, легко фильтруется
M-44	$\text{ZnI}_2 + \text{BaI}_2$	2,9	»	Вода	Мало токсична, вязкая, фильтруется плохо
M-45	$\text{BaI}_2 + \text{CdI}_2$	3,0	Светло-желтый	Вода	Мало токсична, хорошо фильтруется
Туле	$\text{HgI}_2 - 2\text{KI}$	3,19	То же	Вода	Токсична, разлагает сульфиды, вязкая
Иодистый метилен	CH_2I_2	3,32	Бесцветный	Спирт, бензин, бензол, ацетон	Ядовит, легко разлагается, дорог
Клейна	$9\text{WO}_3\text{B}_2\text{O}_3 + 2\text{Cd}(\text{OH})_2 + 16\text{H}_2\text{O}$	3,36	То же	Вода	Разлагается сульфидаами и карбонатами, вязкая, очень дорогая
Сушина-Порбаха	$\text{BaI}_2 \cdot \text{HgI}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$	3,58	Желтый	Спирт, бензин, бензол, эфир, 5% KI	Вязкая, при добавлении воды разлагается
Клеричи	$\text{CH}_2(\text{COOH})_2\text{Tl} + \text{HCOOTl}$	4,27	»	Вода	Разлагается на свету, дорога
Азотнокислое серебро	AgNO_3	4,29—4,30		Вода (без хлора)	Стоит дорого, разлагает сульфиды, карбонаты и фосфаты
Двуххлористый свинец	PbCl_2	5,0		Вода	Разлагает сульфиды, карбонаты и фосфаты
$\text{AgNO}_3 + \text{NaNO}_3$		3,5—4,2		Вода (без хлора)	Стоит дорого, разлагает сульфиды, карбонаты и фосфаты
$\text{PbCl}_2 + \text{ZnCl}_2$		4,5—5,0		Вода	Легко разлагает сульфиды, карбонаты и фосфаты
Азотнокислая закисная соль Hg	$\text{HgNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,3—4,1		Горячая вода + несколько капель HNO_3	Ядовита, дает на коже ожоги, разлагается при нагревании

жидкости тонут, легче — всплывают. Подобное разделение целесообразно проводить в тех случаях, когда основная масса магнитных минералов удалена из пробы другими методами, что позволяет сократить расход дорогостоящих тяжелых жидкостей.

Набор тяжелых жидкостей, которые могут применяться для минералогического анализа, довольно разнообразен (табл. 9), но в практике лабораторных работ широко используются только некоторые из них. Большинство тяжелых жидкостей относятся к дорогостоящим веществам, являются токсичными, поэтому работа с ними требует аккуратности, осторожности и экономии. Все операции с тяжелыми жидкостями производятся только под вытяжным шкафом при наличии хорошей тяги с использованием средств индивидуальной защиты — резиновых перчаток, а иногда и очков.

Разделение минералов по плотности с помощью тяжелых жидкостей можно производить в специальных делительных воронках, в обычных химических воронках с каучуковым наконечником и зажимом или в небольших фарфоровых чашечках.

Остановимся кратко на описании техники работы с бромоформом в делительных или химических воронках. Тяжелая жидкость наливается в воронку примерно на $\frac{2}{3}$ ее высоты и затем в нее всыпают предназначеннную для разделения часть навески для анализа. Тяжелую жидкость активно перемешивают стеклянной палочкой и дают минералам отстояться. При этом легкие минералы всплывают на поверхности жидкости, образуя плотный слой, а тяжелые минералы тонут и падают в нижнюю часть воронки. Незначительная часть минералов с плотностью, близкой к плотности жидкости, остается в безразличном состоянии в средней части воронки (этими минералами обычно пренебрегают). В результате образуются две фракции: тяжелая и легкая с плотностью соответственно больше и меньше 2,9. После разделения фракций открывают кран или зажим воронки и осторожно спускают тяжелую фракцию и часть находящегося над ней бромоформа в химическую воронку, покрытую сухим фильтром (бромоформ нерастворим в воде, а потому фильтр не смачивать!). Оставшуюся в делительной воронке легкую фракцию и бромоформ спускают в другую химическую воронку, также покрытую сухим фильтром (главная масса легкой фракции прилипает к стенкам делительной воронки и извлекается только после ее промывания более легкой жидкостью — смесью бромоформа и спирта). После того как от минералов, находящихся на фильтрах в химических воронках, отфильтруется бромоформ (он вновь может бытьпущен в работу), фракции промывают спиртом, чтобы извлечь остатки бромоформа.

Окончанием промывки фракций считается исчезновение запаха бромоформа. Промывные воды — раствор бромоформа в спирте — тщательно собираются для регенерации из них чистого бромоформа. Промытые фракции высушивают в сушильном шкафу при

температурае 60—80° С, взвешивают и затем исследуют их минеральный состав.

Разделение минералов с помощью тяжелых жидкостей удобно также вести в небольших фарфоровых чашечках, куда наливается бромоформ и всыпается немагнитная часть шлиха. Легкую фракцию, всплывающую на поверхность, отделяют путем слияния бромоформа через край чашечки на сухую воронку с фильтром и обмывания стенок чашечки бромоформом из небольшой резиновой груши. Тяжелая фракция остается на дне чашечки. После отделения от фракций бромоформа они тщательно промываются спиртом.

Если шлих очень мелкозернист, его удобно разделять по плотности с помощью центрифуги, для чего материал засыпается в специальные пробирки и заливается бромоформом. Обработка фракций ведется по ранее описанному способу.

Регенерация тяжелых жидкостей из промывных вод преследует цель свести их расход в процессе разделения шлихов до минимума в связи с дороговизной и дефицитностью тяжелых жидкостей. При работе с бромоформом в большую делительную воронку наливается его спиртовой раствор, а затем в двойном объеме к нему прибавляется дистиллированная вода. Смесь в воронке тщательно взбалтывается до образования молочно-белой эмульсии. Смеси дают отстояться в течение нескольких часов, в результате чего в нижней части делительной воронки отстаивается чистый бромоформ, который легко отделяется слиянием через нижний кран воронки. Полноту осаждения бромоформа из смеси проверяют приливанием в делительную воронку новой порции воды: в случае полного осаждения бромоформа эмульсия не образуется и смесь спирта и воды в воронке остается прозрачной. При использовании жидкости Туле ее регенерация производится в большой фарфоровой чашке путем выпаривания на водяной бане. Проверка восстановления плотности жидкости производится по обломку ортоклаза: выпаривание прекращается, когда ортоклаз устойчиво всплывает на поверхность жидкости.

В некоторых случаях необходимо уже полученные тяжелые фракции делить еще более дробно и выделять из них еще более тяжелые фракции. Достигается это путем применения так называемых тяжелых сплавов, из которых наиболее часто употребляют азотнокислое серебро и двуххlorистый свинец (см. табл. 9).

Для дальнейшего разделения полученной тяжелой фракции с помощью тяжелого сплава последний помещают в пробирку и нагревают на пламени газовой горелки до полного расплавления соли. Тяжелые сплавы обычно легкоплавки: температура плавления 40—90° С. Затем в горячий расплав засыпают шлих, хорошо взбалтывают и дают смеси отстояться. Получается, как и в делительной воронке, две фракции: тяжелая — на дне пробирки и

легкая — на поверхности расплава. Расплав охлаждают и после его кристаллизации пробирку осторожно разбивают, чтобы извлечь из нее сплав с полученными фракциями. Вынутый из пробирки столбик сплава аккуратно разрезают на две части, предварительно отметив, где находятся тяжелая и легкая фракции, и каждую из частей растворяют в отдельной фарфоровой чашке в воде. При растворении сплава заключенные в нем минералы освобождаются и отфильтровываются, а сплав восстанавливается из раствора путем выпаривания его на водяной бане.

Этот метод довольно дорогостоящий и к нему прибегают только в исключительных случаях. Кроме того, оба указанных тяжелых сплава разлагают сульфиды, карбонаты и фосфаты, поэтому ими не всегда можно пользоваться.

ГЛАВА 2

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ ШЛИХОВ

Получаемые в результате сепарации фракции шлихов подвергаются минералогическим исследованиям для определения их состава и количественной оценки на полезные компоненты. Основной метод предварительной диагностики минералов в шлихах — изучение их под бинокулярным микроскопом. При этом по ряду внешних признаков опытный минералог легко диагностирует наиболее распространенные шлихообразующие минералы, такие, как гранаты, амфиболы, магнетит, ильменит и др. Для определения редких минералов в шлихах, а также минералов, трудно диагностируемых, необходимо использовать специальные методики, позволяющие надежно отличать похожие между собой минералы. К таким исследованиям относятся оптические, микрохимические, люминесцентные и другие методы.

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

Обычно для изучения минералов шлихов пользуются бинокулярными стереоскопическими микроскопами. В практике наиболее распространены микроскопы марок МБС-1 или МБС-2. В последнее время выпущен поляризационный стереоскопический микроскоп МПС-2, который позволяет изучать минералы шлихов в простом и поляризованном свете и фотографировать их (рис. 16).

Стереоскопические микроскопы МБС-1 и МБС-2 обеспечивают прямое и объемное изображение предмета в проходящем и отраженном свете при увеличениях объекта от $3,5\times$ до $119\times$ и поле зрения от 42 до 1,9 мм. Источником света служит электрическая лампочка, помещаемая в передвижной патрон над объектом при

работе в отраженном свете или в специальную прорезь в столике микроскопа для изучения минералов в проходящем свете.

Для наблюдения шлих рассыпают на стекле размером 9×12 см в виде длинной узкой полосы (при большом количестве шлиха таких полос делается несколько). Стекло со шлихом помещают на столик микроскопа, внутренняя часть которого имеет прорезь, закрывающуюся черной или белой металлической пластиной или стеклянной пластинкой, что позволяет найти оптимальные условия для наблюдения минералов.

Тонкую полоску шлиха внимательно рассматривают, передвигая под объективом стекло и перебирая зерна минералов тонкой иглой или остро отточенным карандашом. Некоторые минералы настолько характерны по своему внешнему виду, что диагностируются без труда. Другие минералы для своего определения требуют всесторонних исследований. Зерна таких минералов отделяют иглой от общей массы шлиха и затем изучают более подробно. Обычно у минералов наблю-

РИС. 16. ОБЩИЙ ВИД ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА МПС-2

дают и изучают: форму зерен и их размеры, габитус кристаллов, прозрачность, цвет минералов и их черту, блеск, спайность и характер излома, твердость, степень окатанности, характер поверхности зерен и наличие вторичных образований.

Форма, размеры и степень окатанности зерен. Различают зерна изометричные, пластинчатые, призматические, игольчатые и др. Формой зерна определяется способ переноса в поверхностных потоках, а это в свою очередь влияет на степень окатанности минералов. Изометричные минералы перекатываются по дну потока и при этом сильно истираются. Минералы пластинчатой и игольчатой формы хорошо плавучи, а поэтому переносятся в поверхностных потоках во взвешенном состоянии и значительно меньше окатываются. По степени окатанности зерен выделяют три группы: 1) слабокатанные — резкие, угловатые, нередко оскольчатые очертания, кристаллографические формы хорошо различимы; 2) среднеокатанные — очертания таких зерен несколько сглажены; резкие ребра, углы, сколы отсутствуют; кристаллографические формы различимы не всегда; 3) сильноокатанные — по форме округлы или овальны, все ребра, углы и сколы сглаже-

ны, кристаллографические формы почти не различимы, поверхность зерен нередко матовая.

Первоначально хорошо ограненные кристаллы в ряде случаев сохраняются в шлихах (особенно для минералов высокой твердости) и изучение габитуса их дает надежные критерии для диагностики отдельных минералов. Так, например, в шлихах часто встречаются идеально ограненные кристаллы циркона, граната, по которым эти минералы диагностируются уверенно и легко.

Характер поверхности зерен и вторичные образования. В зависимости от химической стойкости минерала, а также от длительности его транспортировки поверхностными потоками на зернах остаются различные следы растворения, царапания, истирания или скальвания. Вследствие этого поверхность зерен выглядит ямчатой, бугорчатой, штрихованной, ступенчатой, гладкой или матовой. Химически неустойчивые минералы при этом покрываются пленками вторичных образований, которые облекают зерно или сохраняются лишь в углублениях его поверхности. Нередко продукты окисления минералов имеют своеобразную окраску, отличную от окраски самого минерала. На основании формы зерен, степени их окатанности и характера поверхности делаются выводы о длительности транспортировки материала поверхностными потоками от их материнских пород.

Излом и спайность минералов. Обычно на зернах шлиховых минералов характер излома или спайность наблюдаются внешне довольно трудно — мешает окатанность зерен. Для исследования этих свойств минералы раздавливают и рассматривают характер получившихся осколков. Для этого отбирают 1—2 зерна на минерала, помещают их отдельно от других, накрывают толстым предметным стеклом и, наблюдая в бинокуляре, раздавливают. В зависимости от наличия или отсутствия у минерала спайности, а также от характера его излома получаются осколки той или иной формы. Минералы, обладающие спайностью, при раздавливании дают правильные, удлиненные осколки, ограниченные ровными, гладкими сколами по спайности, которые сильно блестят при поворачивании осколков иглой. Минералы с весьма совершенной спайностью в одном-двух направлениях нередко рассыпаются на тонкие игольчатые обломки (например, амфиболы). Минералы, не имеющие спайности, при раздавливании дают оскольчатые обломки неправильной формы с характерным изломом. Следует отметить, что метод раздавливания не всегда позволяет определить достоверно характер спайности минерала; некоторые минералы, обладающие спайностью, не проявляют ее при раздавливании (например, рутил раздавливается с трудом, но обломки неправильной формы).

Прозрачность минералов. Прозрачность устанавливается по просвечиванию минерала или по характеру его порошка. Для определения прозрачности минерал помещают на стекле на столик бинокулярного микроскопа и, подсвечивая снизу с помощью

лампочки и зеркала, исследуют. По степени прозрачности минералы разделяют на прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные.

М. Н. Чуева (1950) указывает, что крупные зерна темноокрашенных минералов не всегда просвечивают. Поэтому в подобных случаях она рекомендует зерна темноокрашенных минералов раздавливать и изучать характер получившегося порошка: у прозрачных минералов порошок обычно белый или светлоокрашенный в различные оттенки и хорошо просвечивает; непрозрачные же минералы дают черный или темноокрашенный порошок.

Блеск минералов. Блеск минералов в шлихах определяется довольно трудно, так как при искусственном освещении под бинокуляром все минералы приобретают не свойственный им синеватый или фиолетовый отблеск и не удается различать тонкие переходы блеска минералов. Характер блеска минералов определяется более четко на свежем изломе. Чаще всего наблюдается стеклянный, алмазный и металлический блеск. Причем металлический блеск минералов под бинокулярным микроскопом воспринимается иначе, чем в обычных условиях в штуфах, поэтому при определении металлического блеска приходится прибегать к исследованию цвета черты минерала как к вспомогательному средству (у минералов с металлическим блеском черта черная).

Цвет минералов и их черта. Окраска минералов в шлихах и в штуфных образцах несколько различна. Чистые, типичные цвета отдельных минералов удается наблюдать не всегда. Чаще минералы шлихов имеют несколько своеобразные окраски. Это связано с тем, что минералы поцарапаны и поверхность их матовая; кроме того, нередко они покрыты тонкими пленками вторичных продуктов, что придает минералу совершенно иной цвет. Поэтому окраска минерала не всегда достоверный признак. Надежнее и удобнее определять цвет минерала в порошке (цвет черты минерала). Для этого вдавливают зерно изучаемого минерала в обратный конец деревянной ручки препарировальной иглы и, закрепив его таким образом, прочекивают по бисквиту. Окраску получившейся черты изучают под бинокулярным микроскопом, так как невооруженным глазом она не всегда различима.

Твердость минералов. Твердость минералов исследуется также под бинокуляром. Для этого 1—2 зерна минерала отделяют от шлиха, помещают в центр поля зрения микроскопа, накрывают толстым предметным стеклом и проводят по стеклу или надавливают стеклом на минерал. В зависимости от твердости минерала на стекле остаются царапины или ямки; мягкие минералы при этом не оставляют на стекле следов. По твердости минералы разделяют на три группы: 1) минералы мягкие (меньше 3) при царапании на стекле не оставляют следа, при надавливании бесшумно рассыпаются в порошок; 2) минералы средней твердости (3—5) при царапании оставляют на стекле едва заметный след, при надавливании рассыпаются с хрустящим звуком; 3) минералы твердые (больше 5) легко царапают стекло, оставляя на нем

ясный след, при надавливании рассыпаются с резким скрипящим звуком и оставляют на стекле ямку или выбоинку.

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ ПО ОПТИЧЕСКИМ КОНСТАНТАМ

Оптические исследования минералов шлихов важны для точной их диагностики, так как по внешнему виду многие окрашенные прозрачные минералы трудно определимы. Особенно важен этот метод для определения бесцветных прозрачных минералов, которые надежно различаются между собой главным образом по оптическим константам. Часто для того, чтобы различить между собой похожие минералы, достаточно определить лишь некоторые основные оптические константы (характер плеохроизма, угол угасания и др.) и ограничиться этим предварительным исследованием. Таким способом можно легко различить, например, сфен, ставролит и монацит, которые похожи в деформированных окатанных зернах шлихов. Иногда этих исследований недостаточно и для точной диагностики минерала прибегают к определению величин показателей преломления в иммерсионных жидкостях. Этот метод более кропотлив, но зато позволяет однозначно определить минерал или отдельные минеральные виды в пределах группы минералов. Нужно отметить, что полезные шлиховые минералы имеют показатели преломления более высокие, чем у иммерсионных жидкостей стандартного набора. Для точного определения показателей преломления таких минералов используют высокопреломляющие жидкости или сплавы, но применение их сложно и они редко используются для рядовых шлиховых анализов. Методика выполнения оптических исследований подробно изложена в соответствующих руководствах, в связи с чем ниже мы дадим лишь краткие указания к их выполнению.

Предварительные оптические исследования

Оптически можно изучать только зерна прозрачных минералов, поэтому перед началом исследований нужно еще раз убедиться в принадлежности изучаемого минерала к этой группе. Это особенно важно для густоокрашенных минералов (амфиболов), в прозрачности которых можно убедиться только после раздавливания зерен. Аппаратурой может быть любой петрографический поляризационный микроскоп.

Для изучения зерен шлиховых минералов в поляризованном свете из них изготавливают цементные шлифы, пользуясь в качестве цементирующей массы шеллаком, бакелитом или пластмассой. Однако изготовление цементных шлифов далеко не всегда доступно, особенно в полевых условиях. Вместо них пользуются препаратами, изготовленными на глицерине. Для приготовления такого препарата из шлиха отделяют 1—2 зерна исследуемого

минерала, причем важно, чтобы эти зерна не имели включений и не представляли собой сростков с другими минералами. Отобранные зерна помещаются на предметное стекло и раздавливаются стеклянным пестиком или другим предметным стеклом до осколков величиной в доли миллиметра (в пыль растирать минерал не следует!). На осколки минерала помещают каплю глицерина и осторожно покрывают препарат покровным стеклом, стараясь не оставлять под ним пузырьков воздуха.

В подобных препаратах, заменяющих цементные шлифы, можно определять оптические константы минералов. Необходимо иметь в виду, что в препаратах на глицерине приходится иметь дело не с плоскопараллельными срезами минералов как в шлифах, а с неправильными объемными осколками зерен различной толщины. Поэтому проявление оптических свойств минералов в этих препаратах несколько своеобразно, однако при достаточном навыке диагностика их не вызывает затруднений.

Препараты на глицерине можно исследовать, так же как и шлифы, в проходящем свете при одном николе, в скрещенных николях и в сходящемся свете.

В проходящем свете при одном николе исследование ведут с помощью объективов $8\times$ или $20\times$. В препаратах на глицерине изучают окраску минерала и плеохроизм, наличие спайности и относительные величины показателей преломления. Для определения последней константы пучок лучей, пропускаемых поляризатором, несколько диафрагмируют и изучают характер рельефа обломков зерен минерала, наличие шагреневой поверхности и наблюдают полоску Бекке. По комплексу этих признаков минералы условно можно разбить на три группы: 1) с низкими показателями преломления — границы осколков зерен минерала нечеткие, тонкие, шагреневая поверхность не наблюдается, полоска Бекке плохо различима; 2) со средними показателями преломления — границы зерен резкие, полоска Бекке хорошо видна, шагреневая поверхность проявлена весьма слабо; 3) с высокими показателями преломления — границы зерен толстые, имеют темные теневые каймы, отчетливо проявлена резкая шагреневая поверхность.

В скрещенных николях (объективы те же) устанавливается отношение минерала к поляризованному свету (изотропен или анизотропен), определяется угол угасания, знак удлинения и относительная величина двупреломления.

Угол угасания может быть определен для обломков зерен, обладающих спайностью или ясным удлиненным обликом. Для этого удлинение минерала или направление спайности ориентируют параллельно вертикальной нити микроскопа, берут отсчет по лимбу столика микроскопа, а затем, включив анализатор, вращают столик до ближайшего погасания зерна и вновь фиксируют отсчет на лимбе. Разность отсчетов дает величину угла угасания минерала.

Знак удлинения минералов (знак зоны) определяется установкой вытянутости обломка зерна минерала по ходу компенсатора (под углом 45° к кресту нитей). Включив анализатор, наблюдают характер интерференционной окраски, а затем вводят компенсатор и определяют изменение этой окраски. В случае повышения интерференционной окраски при введении компенсатора (совпали одноименные оси компенсатора и оптической индикатрисы минерала N_p), удлинение минерала отрицательное; при понижении интерференционной окраски (по удлинению минерала расположена ось N_g), удлинение положительное.

Относительная величина двупреломления может быть оценена по характеру интерференционной окраски. Однако в препаратах, изготовленных на глицерине, толщина зерен в их центральной части увеличивается, что ведет и к повышению интерференционной окраски. Учитывая это, по величине двупреломления минералы условно можно подразделить на три группы: 1) с низким двупреломлением — обломки зерен минерала имеют в краевых частях серые интерференционные окраски, повышающиеся в центральных частях до оранжево-красных и даже оранжево-синих тонов; 2) со средним двупреломлением — минералы имеют интерференционные окраски от желто-оранжевых до фиолетово-синих, причем нередко можно наблюдать два-три порядка окрасок, расположенных зонально по мере приближения к центру зерна; 3) с высоким двупреломлением — зерна минерала в скрещенных николях имеют нежные перламутровые интерференционные окраски высших порядков, близкие к белому цвету.

В сходящемся свете достаточно крупные обломки зерен минералов, помещенные в глицерин, дают отчетливые эффекты. Для наблюдения их необходимо выбрать зерно с наиболее низкой интерференционной окраской, поднять конденсор, открыть его диафрагму и включить линзы Лазо и Бертрана (используют объективы, дающие большие увеличения, при их точной центрировке!). Для получения более четкой картины лучше диафрагмировать линзу Бертрана. Анализируя полученную фигуру, можно определить осность минерала и его оптический знак.

Одноосные кристаллы в сходящемся свете дают темный крест для разрезов, перпендикулярных оптической оси; у косых разрезов видны ветви этого креста (балки), перемещающиеся параллельно нитям окуляра при вращении столика микроскопа. Определение оптического знака минерала производится с помощью компенсатора: вводя его в прорезь тубуса микроскопа, определяют характер появившейся окраски в квадрантах оптической фигуры. В случае положительного кристалла квадранты II и IV (т. е. квадранты, расположенные по ходу компенсатора) будут окрашены в желтый цвет, в случае отрицательного кристалла — в синий цвет.

Двоосные кристаллы дают интерференционную фигуру, распадающуюся на две изогнутые гиперболы. Чаще приходится иметь

дело со случайными косыми разрезами, где выходит только одна из оптических осей, в связи с чем видна лишь одна ветвь гиперболы, вращающаяся при вращении столика микроскопа непараллельно нитям окулярного креста. Исследование этой фигуры с компенсатором позволяет определить оптический знак минерала: при введении компенсатора у оптически положительного кристалла на выпуклой стороне гиперболы появляется синяя окраска, а на вогнутой — желтая; обратное расположение окрасок свойственно оптически отрицательным кристаллам.

Краткие сведения об иммерсионном методе

Для точной диагностики прозрачных минералов шлихов или уточнения состава отдельных членов изоморфных рядов применяется иммерсионный метод количественного определения величин показателей преломления путем погружения обломков зерен в иммерсионные среды с известными показателями преломления. Метод основан на оптическом эффекте, возникающем на границе раздела двух сред с разными показателями преломления. При этом используется световая полоска Бекке, по положению и перемещению которой при передвижении тубуса микроскопа сравнивают показатели преломления минерала и иммерсионной среды. Последовательно меняя иммерсионные среды, подбирают две соседние жидкости, у одной из которых показатель преломления (n_1) будет больше, чем у кристалла (n_k), а у другой (n_2) — меньше. Тогда, показатель преломления кристалла будет

$$n_k = \frac{n_1 + n_2}{2}.$$

В качестве сред для исследования обычно используют стандартные наборы иммерсионных жидкостей, включающие 98 препаратов с показателями преломлений 1,408—1,780, что вполне удовлетворяет требованиям шлихового анализа. Следует отметить, что с течением времени иммерсионные жидкости частично изменяют свои параметры, поэтому при работе с ними необходимо проверять жидкости с помощью рефрактометра (в практике наиболее часто употребляется рефрактометр с составной призмой типа Аббе).

Препараты для исследования можно готовить с незакрепленными и с закрепленными зернами. Обычно работают с препаратами без закрепления зерен. Для этого отобранные для исследования зерна минерала помещают на предметное стекло, раздавливают и осколки покрывают покровным стеклом. Каплю иммерсионной жидкости переносят на препарат и дают ей всосаться под покровное стекло. Если материала для исследований очень мало и нужно его сохранить для многократных замеров, зерна минерала перед началом работы рекомендуется закрепить. Это позволяет неоднократно производить работу на выбранных разрезах

зерен или выполнять количественные подсчеты. М. Н. Чуева (1950) рекомендует закреплять зерна, помещая их в каплю воды с последующим осторожным просушиванием: осколки минерала приклеиваются к стеклу солями, содержащимися в воде. М. С. Сахарова (1970) и В. А. Новиков (1970) предлагают аналогичным способом использовать 0,5%-ный водный раствор желатина, который позволяет получить более прочные препараты, годные для длительного хранения.

МИКРОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ

Общие сведения

Микрохимические методы исследования довольно широко применяются при минералогическом анализе шлихов. Эти методы требуют незначительного времени для проведения реакции, получаемые результаты обычно четкие, ясные и позволяют открывать даже ничтожные концентрации элементов в растворах минералов. Для проведения микрохимических реакций необходимо весьма малое количество исходного вещества (2—3 мелких зерна), что также ценно в практической работе.

Необходимо отметить, что проведение микрохимических реакций требует большой тщательности и аккуратности. Для того чтобы получать вполне надежные результаты, необходимо: 1) брать для исследования зерна чистых минералов, не содержащих включений; 2) использовать только чистую посуду во избежание случайного внесения в растворы посторонних веществ; 3) все реакции проводить в максимально малых количествах растворов, ни в коем случае не допуская сильного их разведения, снижающего чувствительность реакций; 4) реагенты прибавлять маленькими порциями, так как их избыток может привести к неправильному ходу реакции и получению совершенно неожиданных и искаженных результатов.

Для проведения микрохимических реакций минерал необходимо перевести в растворимое состояние. Если минерал растворяется в кислотах, то обычно пользуются растворами его в концентрированных кислотах или их смесях. Для растворения нескольких зерен минерала помещают на предметное стекло в лунку* прибавляют 1—2 капли кислоты и осторожно нагревают стекло на спиртовой горелке. Чаще применяют концентрированную соляную кислоту, реже — крепкие азотную, серную кислоты (для растворения сульфидов) и царскую водку (1 часть $\text{HNO}_3 + 3$ части HCl). Обработка минерала продолжается 1—2 мин, причем достаточно уже незначительного растворения поверхностной части зерен для того, чтобы в растворе создалась минималь-

* Для микрохимических испытаний используют специальные предметные стекла с лунками.

ная открываемая концентрация элементов, входящих в состав минерала. Полученный раствор минерала может быть использован для проведения нескольких различных реакций, для чего каждый раз с помощью стеклянной палочки или пипетки от раствора отделяется часть его и исследуется. Если минерал в кислотах нерастворим, то его переводят в раствор путем сплавления с различными плавнями и последующего растворения полученных сплавов. В качестве плавней используют Na_2CO_3 , KOH или NaOH , реже применяют $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (пиросульфат калия) или поташ (5 частей $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 1$ часть KNO_3). Количество плавня должно превышать количество минерала в 5—6 раз. Сплавление наиболее удобно производить в пламени паяльной трубки в ушке платиновой проволоки, так как при высокой температуре, даваемой паяльной трубкой, сплавление минералов идет наиболее быстро и полно. После окончания сплавления сплав охлаждают и растворяют в капле дистиллированной воды, слегка подкисленной какой-либо кислотой. Если сплавление проведено правильно, то сплавы должны легко нацело растворяться. Следует иметь в виду, что при сплавлении сульфидов надо производить их предварительный обжиг, в противном случае легко может быть испорчена платиновая проволока.

На практике часто выполняют сплавление минералов в небольших фарфоровых тиглях, куда помещают зерна минерала и 5—6-кратное количество плавня. Нагревание производят на пламени газовой горелки; при этом сплав вначале пузырится, затем в нем хорошо различимы конвекционные токи и наконец он приобретает слабую желтовато-зеленоватую или буроватую окраску, что является признаком окончания сплавления. После охлаждения сплав растворяют в дистиллированной воде, нередко с добавлением кислот. Для полного растворения сплава полезно растирать его с водой стеклянным пестиком. В зависимости от способа проведения испытания и от полученных результатов все микрохимические реакции делятся на четыре типа: капельные, пленочные, кристаллоскопические, по методу растирания порошков.

Капельные реакции производят следующим образом: минерал переводят в раствор, небольшую часть этого раствора с помощью стеклянной палочки переносят на кусочек фильтровальной бумаги, в центр его, и сюда же наносят маленькую каплю реактива-проявителя. В результате реакции на фильтровальной бумаге выступает окрашенное пятно или кольцо, появление которого позволяет открывать тот или иной элемент. В зависимости от концентрации определяемого элемента в растворе меняется интенсивность возникающей окраски.

Пленочные реакции производятся на самих зернах минералов. Для проведения этих реакций зерна минерала обрабатывают в течение 1—2 мин каким-либо сильным растворителем, а затем прибавляют каплю реактива, вызывающего появление на

поверхности зерна яркоокрашенной пленки. Характер пленки исследуется обычно под бинокулярным микроскопом (макроскопически она не всегда бывает видна). Часто пленка не покрывает сплошь всего зерна, а наиболее четко различается только в углублениях его поверхности или в трещинах.

Кристаллоскопические реакции основаны на получении в результате реакции кристаллического осадка, характерного формой выпавших кристаллов и их окраской. Для получения кристаллического осадка минерал растворяют на стекле, а затем к полученному раствору прибавляют каплю или 2—3 кристаллика реактива-осадителя. Выпавшие кристаллы изучаются под бинокулярным микроскопом. Если кристаллизация осадка начинается не сразу, то стекло осторожно немного подогревают (не допускать выпаривания раствора) или потирают стеклянной палочкой.

Реакции по методу растирания порошков И. М. Исаков (1955) рекомендует производить следующим образом. Зерна минерала тщательно растирают с 5—6-кратным количеством какого-либо кристаллического реактива, являющегося растворителем. Растирание производится в небольшой фарфоровой кюветке или в маленьком фарфоровом тигле с помощью стеклянного пестика. После измельчения зерен минерала и получения однородной смеси к ней прибавляется несколько кристаллов реактива-проявителя и растирание повторяется. Нередко при этом смесь увлажняется дыханием или смачивается незначительным количеством дистиллированной воды. Появление характерной окраски смеси позволяет открывать в минералах определенные элементы.

Микрохимические реакции на отдельные элементы

Барий

Барий чаще всего определяется, когда диагностируют барит. Этот минерал нерастворим в кислотах и щелочах, поэтому его переводят в раствор путем сплавления с $K_2S_2O_7$ или со смесью равных частей KOH и Na_2CO_3 . Полученный сплав растворяют на стекле в воде, подкисленной уксусной кислотой.

Определение бария с хроматом калия. После полного растворения сплава к полученному раствору прибавляют каплю 5%-ного раствора хромата калия (K_2CrO_4). Из раствора в случае барийсодержащего минерала начинает кристаллизоваться желтый мелкокристаллический осадок $BaCrO_4$.

Бериллий

Бериллийсодержащие минералы трудно растворимы в кислотах (гельвин, даналит и др.), а некоторые (берилл) в кислотах совершенно нерастворимы. Поэтому обычно их переводят в ра-

створ путем сплавления в пламени паяльной трубки с содой и последующего растворения сплава в воде.

Определение берилля с хинализарином. Полученный раствор минерала переносят на фильтровальную бумагу и затем к нему прибавляют насыщенный спиртовой раствор хинализарина. В случае присутствия в минерале берилля фиолетовая окраска хинализарина переходит в васильково-синюю. Эта реакция позволяет однозначно определить бериллий и наиболее удобна по сравнению со всеми другими методами. Этую же реакцию можно выполнить по методу пленочной: зерна минерала залить расплавом Na_2CO_3 и смочить водным раствором хинализарина. На берилле появляется ярко-синяя пленка.

Бор

По растворимости минералы бора можно разделить на две группы: боросиликаты и бороалюмосиликаты, не растворяющиеся в кислотах, и бораты, легкорастворимые в воде и кислотах. В зависимости от диагностируемого минерала растворение производят в H_2O , в концентрированной H_2SO_4 или путем сплавления минерала с едким калием и растворения сплава в воде.

Определение бора с хинализарином. Раствор минерала переносят на фильтр и добавляют каплю хинализарина ($0,001\%$ -ный раствор в концентрированной H_2SO_4). Изменение окраски хинализарина из розовато-фиолетовой в синюю позволяет открывать в минералах бор.

Ванадий

Минералы ванадия хорошо растворимы в концентрированных кислотах — HCl , HNO_3 , но в некоторых случаях для их растворения приходится прибегать к сплавлению с едким калием и растворению сплава в воде.

Определение ванадия с бензидином. Раствор минерала переносят на фильтровальную бумагу и прибавляют каплю уксуснокислого бензидина ($2,5\%$ -ный водный раствор). Появление на фильтре синей окраски свидетельствует о наличии в минерале ванадия. Этую же реакцию можно проделать в порошке. Для этого 1—2 зерна минерала растирают с несколькими кристаллами уксуснокислого бензидина в фарфоровой кюветке и порошок смачивают каплей 3% -ного раствора уксусной кислоты. В случае ванадийсодержащего минерала порошок принимает синюю окраску.

Висмут

Минералы висмута обычно довольно легко растворяются в концентрированных кислотах (HNO_3 , HCl). Однако некоторые из них приходится переводить в раствор путем сплавления с KOH .

и последующего растворения сплава в воде, подкисленной HCl.

Определение висмута с тиомочевиной. Азотно-кислый раствор минерала переносят на фильтр и к нему прибавляют каплю 10%-ного водного раствора тиомочевины. В случае содержания в минерале висмута появляется желтая окраска. Эта реакция весьма чувствительна и специфична для висмутовых минералов. Следует отметить, что минералы, содержащие свинец, серебро, медь и ртуть, при добавлении тиомочевины, в отличие от минералов, содержащих висмут, дают белый осадок.

Вольфрам

Минералы вольфрама представлены, главным образом, шеелитом, вольфрамитом и вольфрамовыми охрами.

Определение вольфрама в шеелите. 1—2 зерна минерала помещают на стекло в каплю концентрированной HCl и нагревают до кипения. При нагревании и растворении шеелита в соляной кислоте на поверхности его зерен появляется желтая пленка, а из раствора выпадает мелкокристаллический желтый осадок. При прибавлении к раствору кусочка цинка или олова пленка на зернах шеелита окрашивается в синий цвет и сам раствор принимает синюю окраску. Эта реакция весьма специфична, но для успешного ее проведения необходимо предварительно хорошо прокипятить минерал в кислоте.

Определение вольфрама в вольфрамите. Для диагностики вольфрамита пленочная реакция, описанная в первом методе, неприменима в связи с интенсивной темной окраской самого минерала. Е. В. Копченова (1969) предлагает получать пленку на вольфрамите, обрабатывая его зерна расплавленным пиросульфатом калия ($K_2S_2O_7$). В результате темные зерна вольфрамита покрываются светло-серой пленкой. Для определения вольфрама в вольфрамите применяют и сухую реакцию, предложенную И. М. Исаковым (1955). Зерна минерала растирают в фарфоровой кюветке с несколькими крупинками KOH. Смесь слегка нагревают на пламени спиртовки до появления желтой окраски, прибавляют 1—2 кристаллика $SnCl_2$ и повторяют растижение. Смачивают полученную массу каплей соляной кислоты (1:1) и снова немного подогревают. Появление синей окраски смеси позволяет определить в минерале вольфрам.

Железо

Минералы железа распространены довольно широко и представлены различными типами соединений. Главная масса минералов железа растворима в крепких кислотах и только ильменит и силикаты для переведения в растворимое состояние сплавляют с содой или разлагают смесью серной (H_2SO_4) и плавиковой (HF) кислот. Закисное (Fe^{+2}) и окисное (Fe^{+3}) железо определяется различно.

Определение закисного железа (Fe^{+2}). Минерал растворяют в концентрированной HCl с добавлением к ней нескольких кристаллов Na_2CO_3 для предотвращения окисления железа до трехвалентного. Полученный раствор переносят на фильтровальную бумагу и добавляют к нему 2—3%-ный водный раствор $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (красная кровяная соль). На фильтре появляется зеленовато-синее окрашивание (турнбуллева синь). При появлении очень темной трудно различимой окраски на фильтр добавляют каплю дистиллированной воды — тогда по периферии пятна появляется ясное синее кольцо.

Определение окисного железа (Fe^{+3}). Минерал растворяют в концентрированной HCl . Полученный раствор переносят на фильтр и исследуют любым из указанных двух способов: а) прибавляют к нему каплю KCNS (3%-ный водный раствор) — появляется интенсивное буровато-красное окрашивание; б) прибавляют к раствору каплю 3%-ного водного раствора желтой кровянной соли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ — появляется темно-синее окрашивание (берлинская лазурь).

Золото

Наиболее часто в шлихах встречается самородное золото и диагностика его не вызывает трудностей. Кроме того, золото может быть генетически связано с сульфидами железа, свинца и цинка, где присутствует в виде твердого раствора или субмикроскопической вкрапленности и выявляется с трудом. Золото растворяется при нагревании в царской водке с образованием золотохлористоводородной кислоты (HAuCl_4).

Определение золота в виде кассиева пурпурата. Полученный раствор осторожно выпаривают досуха, сухой остаток растворяют в небольшом количестве воды и к нему прибавляют каплю 5%-ного раствора хлористого олова (SnCl_2) в концентрированной HCl . Выделение коллоидального золота вызывает окрашивание раствора в пурпурно-красный цвет (кассиев золотой пурпур).

Кобальт

Минералы кобальта представлены в основном сульфидами, арсенидами, сульфоарсенидами, которые хорошо растворимы в крепких кислотах — соляной или азотной — чем и пользуются для разложения этих минералов. Из кислого раствора определение кобальта можно вести различными методами.

Определение кобальта с ртутно-ородановой солью. К раствору минерала в концентрированной HNO_3 прибавляют каплю насыщенного водного раствора ортофосфорной кислоты (H_3PO_4), так как определению кобальта мешает железо, которое почти всегда сопровождает кобальт в минералах. Затем

к раствору минерала прибавляют каплю ртутно-родановой соли $(\text{NH}_4)_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$ и по выпадению тонких призматических темносиних кристаллов $\text{Co}(\text{CNS})_2 \cdot \text{Hg}(\text{CNS})_2$ диагностируют кобальт. Реакцию лучше проводить в слабокислой среде (в избытке кислоты выпавшие кристаллы легко растворяются). Для приготовления раствора соли в 100 мл H_2O при комнатной температуре растворяют 8 г хлорной ртути и 9 г роданистого аммония.

Марганец

Минералы марганца довольно разнообразны, но наибольшим распространением пользуются окислы и гидроокислы. За исключением силикатов марганцевые минералы растворимы в крепких кислотах. Для определения марганца в минералах можно рекомендовать следующие реакции.

Определение марганца с бензидином в пиролюзите. 1—2 зерна минерала помещают на кусочек фильтровальной бумаги и смачивают 3%-ным раствором уксуснокислого бензидина. В случае присутствия в минерале марганца, спустя 1—2 мин, на фильтре под зернами минерала появляется синее окрашивание.

Определение марганца с серной кислотой в псиломелане, ваде и брауните. Несколько зерен минерала помещают в небольшой фарфоровый тигель, заливают 5—6 каплями концентрированной H_2SO_4 и кипятят. При растворении в H_2SO_4 таких минералов, как псиломелан, вад и браунит, раствор принимает красно-фиолетовую окраску. С помощью данной реакции легко можно отличить указанные выше минералы от пиролюзита и мanganита, которые при кипячении в концентрированной H_2SO_4 раствора не окрашиваются.

Определение марганца по окрашенному перлу буры. Минералы марганца удобно определять также по получению характерного перла буры. Для этого в ушке платиновой проволоки получают бесцветное стекло буры, а затем к нему присаживают 1—2 зерна минерала и вновь перл сплавляют. Наличие в минерале марганца устанавливается по появлению в окислительном пламени розовато-фиолетовой окраски стекла и по его обесцвечиванию в восстановительном пламени.

Медь

Природные соединения меди довольно разнообразны — это сульфиды, окислы, карбонаты и др. Большинство из них растворимы в концентрированной HNO_3 и многие минералы (кроме сульфидов) легко растворяются в соляной кислоте. Из азотнокислых или солянокислых растворов минералов определение меди можно проводить различными способами.

Определение меди с рубеановой кислотой.
Каплю азотнокислого раствора минерала переносят на кусочек фильтровальной бумаги, нейтрализуют 10%-ным раствором аммиака и добавляют каплю рубеановой кислоты (1%-ный спиртовой раствор). В присутствии меди появляется характерное окрашивание грязно-зеленого цвета. Эта реакция весьма чувствительна, но определению меди мешает присутствие в минералах никеля.

Определение меди с ртутно-родановой солью.
Азотнокислый раствор минерала осторожно выпаривают, сухой остаток растворяют в воде и прибавляют каплю ртутно-родановой соли $(\text{NH}_4)_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$. После небольшого подогревания из раствора выпадают желто-зеленые моховидные кристаллы роданистой медно-ртутной соли $\text{Cu}(\text{CNS})_2 \cdot \text{Hg}(\text{CNS})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Эта реакция менее чувствительна, чем реакция с рубеановой кислотой, поэтому для определения меди этим методом необходимо весьма тщательно производить растворение минералов для создания в растворе более высокой концентрации меди.

Определение меди в малахите и азурите. Зерна минерала помещают на кусочек металлического цинка и смачивают HCl (1 : 1). Довольно быстро они покрываются медно-красной пленкой (восстановленная медь), которая в избытке кислоты растворяется.

Молибден

Молибденсодержащие минералы растворяются довольно трудно. В связи с этим для растворения применяют концентрированные азотную или серную кислоты, причем растворение идет легче при нагревании или кипячении. В ряде случаев удобно применять сплавление минерала с содой с последующим растворением полученного сплава в HCl (1 : 1). Молибденит растворяется в растертом состоянии в царской водке; растворение облегчается после предварительного прокаливания минерала.

Определение молибдена с ксантогенатом калия. Кислый раствор минерала нейтрализуют 10%-ным раствором аммиака и к полученному раствору прибавляют кристаллик ксантогенновокислого калия. В случае молибденсодержащего минерала раствор окрашивается в яркий малиново-красный цвет. Эта реакция весьма чувствительна, но идет только в нейтральной среде.

Определение молибдена с роданистым калием. Раствор минерала переносят на фильтровальную бумагу, а затем добавляют к нему каплю 3%-ного водного раствора KCNS — на фильтре появляется розовато-оранжевое пятно. Если это пятно смочить 15%-ным раствором SnCl_2 в соляной кислоте 1 : 1, то окраска переходит в кроваво-красную. Проведению реакции мешает железо: соединение железа с KCNS дает аналогичную окраску, но она полностью обесцвечивается после прибавления

SnCl_2 . При одновременном присутствии в минерале вольфрама в результате реакции с KCNS в центре пятна на фильтре будет синее окрашивание от соединений вольфрама, а по периферии — оранжево-красный ободок роданита молибдена.

Мышьяк

Мышьяковые минералы представлены различными соединениями. Это в основном сульфиды, арсениды и сульфосоли. Все они в той или иной степени растворимы в концентрированной азотной кислоте или в царской водке.

Определение мышьяка с молибденовокислым аммонием. К кислому раствору минерала прибавляют каплю насыщенного водного раствора молибденовокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. Наличие в минерале мышьяка устанавливается по выпадению желтого мелкокристаллического осадка. Кристаллизации осадка способствует подогревание.

Никель

Для определения никеля минерал растворяют в царской водке ($\text{HCl} + \text{HNO}_3 - 3 : 1$) при нагревании. Полученный сильнокислый раствор нейтрализуют 10%-ным раствором NH_4OH и переносят на фильтр, где к раствору добавляют диметилглиоксим (1%-ный спиртовой раствор); появляется яркое малиновое или розовое окрашивание. Реакция весьма чувствительна и специфична.

Эту же реакцию можно выполнить сухим методом, проведя сплавление с неплавкой царской водкой и дальнейшее растирание вначале с тиосульфатом натрия, а затем с диметилглиоксимом.

Олово

Олово определяют, главным образом, в кассiterите, и практически только с помощью реакции на «оловянное зеркало» и можно достоверно определить касситерит. Зерна минерала помещают на кусочек металлического цинка и, наблюдая под бинокулярным микроскопом, добавляют каплю HCl (1 : 1). Касситерит растворяется и бурно выделяется водород. В результате из раствора минерала восстанавливается металлическое олово, которое тонкой серебристой пленкой покрывает зерна минерала (образуется так называемое «оловянное зеркало»). Результаты реакции наблюдают в бинокуляре, и, как только пленка покроет зерна касситерита, избыток кислоты оттягивают кусочком фильтра во избежание растворения зеркала.

Реакция не всегда проходит успешно, так как в концентрированной кислоте образующееся зеркало вновь растворяется. Для проверки, не было ли пропущено оловянное зеркало, каплю раствора с кусочком цинка переносят на фильтровальную бумагу и добавляют каплю водного раствора какотелина. В присутствии

олова на фильтре появляется фиолетовое пятно, что позволяет диагностировать кассiterит. Можно также полученный солянокислый раствор минерала перенести на фильтр и обработать каплей раствора $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. В присутствии олова появляется синее окрашивание. Следует иметь в виду, что сильножелезистые (черные или темнобурье) разности кассiterита трудно растворимы в разбавленной HCl и их необходимо предварительно прокипятить в концентрированной HCl, а затем проводить реакцию, как обычно.

Платина

Для определения платины минерал растворяют при нагревании в царской водке, затем к раствору прибавляют каплю дистиллированной воды и каплю концентрированной HCl для образования хлорной платины.

Определение платины с хлористым калием. К полученному раствору хлорной платины добавляют кристаллик KCl, что вызывает осаждение лимонно-желтых октаэдрических кристаллов хлорплатината калия (K_2PtCl_6).

Определение платины с диметилглиоксом. К раствору платины добавляют в избытке диметилглиоксом (1 %-ный спиртовой раствор) и осторожно нагревают до кипения. При кипячении из раствора выпадает осадок сине-зеленого цвета. При небольшой концентрации платины в растворе осадок выпадает только после его охлаждения.

Ртуть

Минералов ртути в природе известно немного. В шлихах в основном встречается киноварь, диагностика которой в отдельных случаях затруднительна.

Определение ртути с $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и NH_4CNS . Минерал растворяют при нагревании в царской водке и к полученному раствору прибавляют каплю 30 %-ного водного раствора азотнокислого кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и каплю насыщенного водного раствора роданистого аммония NH_4CNS . В присутствии ртути раствор окрашивается в синевато-фиолетовый цвет, а при высокой концентрации в нем ртуть выпадают темно-синие призматические кристаллы $\text{Hg}(\text{CNS})_2 \cdot \text{Co}(\text{CNS})_2$ в виде лучистых сростков (кристаллизация осадка идет лучше при нагревании).

Свинец

Свинецсодержащие минералы довольно разнообразны и представлены сульфидами, карбонатами, сульфатами и другими соединениями. Все они обычно легко растворимы в концентрированных кислотах (HCl, HNO_3) при нагревании.

Определение свинца с иодистым калием. Полученный азотнокислый раствор минерала выпаривается и остаток

растворяется в воде. К водному раствору прибавляют кристаллик KI ; выпадает ярко-желтый чешуйчатый осадок, имеющий при искусственном свете перламутровый или шелковистый блеск. Под бинокуляром хорошо различима шестиугольная форма пластинчатых кристаллов. По блеску осадок иодистого свинца легко отличим от похожих на него иодистых осадков висмута и мышьяка.

Определение свинца в порошке растиранием. Эту же реакцию можно проделать в порошке. Для определения свинца 1—2 зерна минерала растирают с кислым сернокислым калием ($KHSO_4$). Сульфиды при этом разлагаются с выделением сероводорода (запах!). К полученной смеси прибавляют 2—3 кристаллика KI и повторяют растирание. После увлажнения смеси дыханием или каплей воды появляется желтая окраска, позволяющая установить в минерале наличие свинца. В случае труднорасторимых минералов свинца можно провести сплавление их с NH_4NO_3 и далее производить растирание, как описано.

Сурьма

Минералы сурьмы многочисленны, почти все они с той или иной легкостью растворяются в крепких кислотах. Определение сурьмы для разных минералов можно вести различными методами.

Определение сурьмы в антимоните. Антимонит дает очень характерную пленочную реакцию на сурьму. Для этого 1—2 зерна минерала помещают в каплю 20%-ного водного раствора KOH и, спустя 1—2 мин, на поверхности зерен появляется яркая оранжево-красная пленка. Реакция очень специфична. Эту же реакцию можно выполнить сухим методом, растирая антимонит с кристаллическим едким калием. Смесь приобретает оранжевую окраску.

Определение сурьмы в порошке растиранием. 2—3 зерна минерала растирают в фарфоровой кюветке, смачивают каплей концентрированной H_2SO_4 и нагревают до выпаривания кислоты. К сухому остатку прибавляют возможно меньшую крупинку Судан III (двуазотистый амидоазобензол+ β -нафтол) и вновь растирают. Появление синей окраски смеси позволяет определить в минерале сурьму. Реакция очень чувствительна.

Сера

В ряде случаев для того, чтобы в минерале установить тип его соединения (в частности, для сульфидов), приходится определять серу. При растворении сульфидов в концентрированных кислотах выделяется сероводород. Растворение минералов в кислотах и выделение сероводорода идет более интенсивно при подогревании. Из кислых растворов серу можно определить различными способами.

Определение серы с хлористым барием. Минерал при подогревании растворяют в концентрированной HCl , а

затем к раствору прибавляют каплю 10%-ного водного раствора хлористого бария. Наличие в минерале серы устанавливается по выпадению тонкокристаллического бесцветного осадка BaSO_4 .

Тантал и ниобий

Минералы группы tantalа и ниobia разнообразны и диагностируются довольно трудно. Надежный способ их определения — пленочная реакция на ниобий и tantal. Для этого зерна минерала сплавляют в ушке платиновой проволоки с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$, сплав растворяют на стекле при нагревании в 5%-ном растворе H_2SO_4 . При этом зерна tantal- или ниобийсодержащих минералов покрываются голубовато-серой пленкой (различима под бинокуляром). Аналогичная пленка образуется на ильмените и вольфрамите. Поэтому характер получившейся пленки проверяется путем обработки зерен раствором танина (1%-ный раствор в 5%-ном растворе H_2SO_4). Для этого зерна исследуемого минерала переносят на другое стекло, просушивают фильтровальной бумагой, смачивают раствором танина и нагревают. При нагревании на зернах tantalсодержащего минерала появляется ярко-желтая пленка, а минералы ниobia покрываются оранжево-красной пленкой. Если минерал одновременно содержит ниобий и tantal, то образуется пленка промежуточного цвета, причем в зависимости от соотношения того и другого элемента цвет пленки приближается то к желтому, то к красному.

Титан

Минералы титана распространены широко, но в шлихах встречаются только некоторые из них (ильменит, сфен, рутил и его полиморфные разности). Эти минералы, как правило, в кислотах не растворяются и их переводят в растворимое состояние путем сплавления с пиросульфатом калия ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$) или с содой и последующего растворения сплава в серной кислоте H_2SO_4 (1 : 1).

Определение титана с перекисью водорода. Сплав минерала с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ растворяют в капле H_2SO_4 (1 : 1), полученный раствор переносят на фильтр и добавляют к нему каплю крепкой ортофосфорной кислоты H_3PO_4 и каплю перекиси водорода (3%-ный или 10%-ный раствор). В случае присутствия в минерале титана на фильтре появляется светло-желтая неустойчивая окраска, которая очень хорошо различима в первые моменты, а затем исчезает.

Уран

Урановые минералы весьма разнообразны. Многие из них легко растворимы в воде и в различных кислотах; окислы растворяются только в крепкой HNO_3 , а урановые минералы титана, tantalа

и ниобия переводятся в раствор только путем сплавления с $K_2S_2O_7$, $KHSO_4$ или NaF и последующего растворения сплавов в разбавленных кислотах.

Определение урана с желтой кровяной солью. Определению урана этим методом мешает железо, поэтому исследование ведут различными способами для железистых и безжелезистых соединений. В железистых урановых минералах испытание ведут следующим образом. На кусочек фильтровальной бумаги помещают каплю насыщенного водного раствора KI и наносят каплю раствора минерала. Выделяющийся свободный иод обесцвечивается на фильтре раствором гипосульфита, затем добавляется капля $K_4[Fe(CN)_6]$ (5%-ный водный раствор). Наличие урана вызывает бурое окрашивание разной интенсивности, в зависимости от концентрации металла в растворе. При диагностике безжелезистых урановых минералов их растворяют, раствор переносят на фильтр и добавляют каплю $K_4[F(CN)_6]$. Результаты реакции оценивают по появлению бурой окраски.

Определение урана по люминесценции перла. 2—3 зерна минерала сплавляют в пламени паяльной трубки с фтористым натрием (NaF), бурой ($Na_2B_4O_7$) или фосфорной солью ($NaNH_4HPO_4$) до образования окрашенного перла (в окислительном пламени перл желтый, в восстановительном — зеленый). При облучении перла ультрафиолетовыми лучами обнаруживается яркая желтовато-зеленая (фосфорическая) люминесценция.

Фосфор

Минералы фосфора довольно разнообразны, но в шлихах наиболее часто встречаются лишь апатит и монацит. Эти минералы растворяют в концентрированной HNO_3 при нагревании, а если минерал труднорастворим, то его предварительно сплавляют с содой и сплав растворяют в HNO_3 (1 : 5).

Определение фосфора с молибденовокислым аммонием и бензидином. Раствор минерала переносят на фильтровальную бумагу и добавляют каплю молибденовокислого аммония азотно-виннокислого. Полученное светло-желтое пятно смачивают каплей уксуснокислого бензидина, а затем подвергают действию паров амиака. Наличие в минерале фосфора устанавливается по появлению на фильтре синей окраски.

Приготовление реагентов: 1) молибденовокислый аммоний азотно-виннокислый — 5 г $(NH_4)_2MoO_4$ растворяют в 100 мл H_2O , раствор вливают в 35 мл HNO_3 (1 : 1) и добавляют 2,6 г винной кислоты; 2) уксуснокислый бензидин — 0,05 г основного или солянокислого бензидина растворяют в 10 мл ледяной уксусной кислоты и доливают все до 100 мл водой.

Определение фосфора по методу порошков. 1—2 зерна минерала растереть в фарфоровой кюветке с несколькими кристаллами молибденовокислого аммония. Полученную

смесь увлажнить каплей концентрированной HNO_3 . Появление желтой окраски смеси позволяет установить в минерале фосфор. Эту же реакцию можно выполнить по типу кристаллоскопической. Она особенно удобна для диагностики монацита. К раствору минерала, полученному после сплавления с содой, прибавляют несколько кристаллов молибденовокислого аммония (избегать его избытка!). В присутствии фосфора выпадает ярко-желтый тонкокристаллический осадок. Необходимо напомнить, что аналогичный осадок в таких же условиях дает мышьяк.

Хром

Из минералов хрома в шлихах встречается обычно хромшипнелиды, значительно реже — хроматы. Они трудно растворимы, поэтому для переведения в раствор их сплавляют с едким калием, а затем сплав растворяют в воде, подкисленной H_2SO_4 до сильно-кислой реакции.

Определение хрома с дифенилкарбазидом. Раствор минерала переносят на кусочек фильтровальной бумаги и смачивают каплей дифенилкарбазида (1%-ный раствор в 96%-ном этиловом спирте). Хром устанавливается по изменению фиолетово-красной окраски реактива на васильково-синюю.

Цинк

Минералы цинка растворимы в крепких кислотах, особенно при подогревании. Трудно растворимые минералы цинка (сфалерит) переводят в раствор сплавлением с содой и последующим растворением сплава в воде, подкисленной HCl или HNO_3 . В зависимости от состава исследуемого минерала определение цинка ведется различными способами.

Определение цинка в без железистых соединениях. 1—2 зерна минерала растворяют на стекле при подогревании в концентрированной HCl . К солянокислому раствору минерала прибавляют 2%-ный водный раствор $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Выпадение хлопьевидного голубовато-белого, белесого осадка позволяет установить в минерале цинк. При содержании в минерале железа появляется интенсивное синее окрашивание, которое все маскирует и не позволяет открыть цинк.

Определение цинка в железосодержащих минералах. 2—3 зерна минерала растворяют при нагревании в HNO_3 (1 : 5). Полученный раствор минерала переносят на фильтровальную бумагу, добавляют к нему возможно меньшее количество CuSO_4 (0,2%-ный раствор в 40%-ном растворе уксусной кислоты) и 1—2 капли ртутьно-родановой соли $(\text{NH}_4)_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$. Появление серовато-сиреневой или в высококонцентрированных растворах черной окраски позволяет установить в минерале цинк.

Железо, содержащееся в минералах цинка (в сфалерите), при проведении этой реакции дает интенсивное буровато-красное окрашивание, которое легко обесцвечивается путем промывания окрашенного пятна на фильтре водой или добавления капли 25%-ного раствора SnCl_2 , в результате чего грязно-сиреневое окрашивание комплексной медно-цинковой соли становится более ясным и интенсивным.

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ ПО ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Изучение люминесценции минералов — важный вспомогательный метод диагностики их в шлихах, позволяющий быстро и просто не только определять минералы, но и оценивать их количественно. Под люминесценцией понимают способность минералов светиться собственным светом под воздействием внешнего возбудителя. К возбудителям, вызывающим люминесценцию, относятся механическое воздействие, нагревание, коротковолновое излучение и т. д. В связи с этим различают несколько видов люминесценции.

Триболюминесценция — свечение минералов при механическом воздействии на них (трении друг о друга, истирании в порошок и т. п.). Число минералов, обнаруживающих подобную люминесценцию, невелико. Такой люминесценцией обладает светлая разновидность сфалерита (клейофан): при раскалывании сфалерита по спайности в темноте в момент разламывания наблюдается слабое и кратковременное зеленовато-голубое свечение (то же — при раскалывании сахара). Это явление наблюдается у ряда минералов, но не имеет практического значения при их диагностике.

Термoluminesценция — люминесценция минералов под действием нагревания — обнаруживается также у ограниченного числа минералов, но отчасти может использоваться как диагностический признак. Так, флюорит при нагревании обнаруживает синевато-фиолетовую, реже желто-зеленую люминесценцию. Достаточно резко выраженной способностью люминесцировать при нагревании обладают топаз, рубин, кальцит, волластонит и др.

Фотолюминесценция — свечение минералов под воздействием световых квантов видимого света, ультрафиолетового, рентгеновского и γ -излучения. Очень многие минералы обладают способностью хорошо люминесцировать под действием ультрафиолетового излучения, поэтому фотолюминесценция широко используется при изучении минералов.

Катодолюминесценция — свечение минералов под влиянием электронного потока. Этот вид люминесценции наблюдается у значительного числа минералов и широко применяется для их изучения, так как в большинстве случаев интенсивность свечения при этом облучении превосходит таковую при применении ультрафиолетового излучения.

В основе представлений о сущности явления люминесценции лежит зонная энергетическая модель твердого тела, исходя из которой внешняя валентная зона заполнена, а зона проводимости, расположенная выше, не заполнена электронами. При возбуждении атома каким-либо внешним источником энергии, электрон из валентной зоны может перейти в зону проводимости, где его положение нестабильно. Обратный его переход на первоначальный стабильный энергетический уровень сопровождается выделением избытка энергии в виде светового излучения и выражается люминесценцией минерала. Примеси чужеродных элементов способствуют возникновению промежуточных энергетических уровней между валентной и свободной зонами, что и приводит к усилению явлений люминесценции без дополнительного энергетического воздействия. Таким образом, вхождение в минерал чужеродных атомов, играющих роль «активаторов», — одна из причин их люминесценции. Известны минералы, люминесценция которых не связана с вхождением в их состав примесей, а фосфорогенами являются атомы или комплексные ионы основного вещества кристаллической решетки. К ним относятся вольфраматы (шеелит), молибдаты (повеллит) и урановые минералы, содержащие группу $(UO_2)^{2+}$. В зависимости от длительности свечения различают флюоресценцию (кратковременное свечение во время облучения) и фосфоресценцию — свечение после прекращения возбуждения (послесвечение).

Общее число известных элементов-активаторов в природных минералах и синтетических кристаллофосфорах превышает 30. Однако наиболее достоверными элементами-активаторами являются (по данным Н. Н. Васильковой и Б. С. Горобец, 1969) примеси редких земель, урана, марганца, хрома; менее изучены рубидий, германий, стронций, таллий, сурьма, титан, молибден. При различном составе примесей у одного и того же минерала наблюдается различное по цвету и интенсивности свечение (табл. 10). Кроме того, установлено, что некоторые элементы-примеси, наоборот, гасят люминесценцию минералов. К ним относятся железо, ванадий, мышьяк, висмут и др.

Из изложенного следует, что одни минералы светятся всегда вполне определенным цветом (например, циркон имеет желтую люминесценцию в ультрафиолетовых лучах), большая же часть минералов люминесцирует различными цветами в зависимости от наличия примесей, от расположения их в кристаллической решетке минерала и от других физико-химических свойств люминесцирующего объекта. Минералы, лишенные примесей элементов-активаторов, люминесценцией совсем не обладают (например, некоторые разности шеелита или бурые метамиктные цирконы не обнаруживают люминесценции). Различные виды коротковолнового излучения вызывают люминесценцию минералов. Наиболее часто для диагностики минералов используют ультрафиолетовое и катодное излучение, реже — рентгеновские лучи.

**Люминесценция минералов шлихов
в коротковолновом излучении**

Цвет люминесценции	В ультрафиолетовых лучах		В катодных лучах	
Красный, оранжево-красный, кирпично-красный, розовый, оранжевый	Александрит Англезит Апатит Барит Гипс Доломит Кальцит Клейофан	Корунд Малакон Полевые шпаты Скараполит Смитсонит Топаз Целестин Янтарь	Александрит Апатит Доломит Кальцит Корунд Лепидолит Магнезит Полихромный турмалин	Сидерит Скараполит Смитсонит Слюдямен Топаз Тремолит Янтарь
Желтый, оранжево-желтый, золотисто-желтый, зеленовато-желтый	Алмаз Англезит Апатит Барит Гипс Доломит Кальцит	Повеллит Скараполит Смитсонит Топаз Целестин Церуссит Циркон Шеелит	Алмаз Апатит Волластонит Малакон Повеллит Полевые шпаты Циркон Шеелит	
Зеленый, желтовато-зеленый, голубовато-зеленый	Алмаз Барит Повеллит Топаз	Флюорит Шеелит Янтарь	Алмаз Апатит Повеллит Полевые шпаты	Флюорит Шеелит Янтарь
Голубой, зеленовато-голубой, голубовато-белый, белый	Алмаз Англезит Апатит Барит Берила Доломит Кальцит Кварц	Корунд Полевые шпаты Силлиманит Скараполит Смитсонит Топаз Флюорит Целестин Церуссит Шеелит	Алмаз Амазонит Англезит Апатит Берила Каламин Кварц Корунд	Полевые шпаты Скараполит Топаз Флюорит Церуссит Циркон Шеелит
Фиолетовый, синевато-фиолетовый, синий	Алмаз Апатит Барит Берила Витерит Каламин	Кальцит Полевые шпаты Флюорит	Аквамарин Алмаз Барит Кальцит Топаз	Фенакит Флюорит Целестин Церуссит

Ультрафиолетовое излучение получают от приборов с газоразрядными трубками, представляющими собой ртутно-кварцевые лампы, которые в зависимости от их типа дают ультрафиолетовые лучи разных длин волн. Лампы монтируются в специальных предохранительных кожухах, весьма портативны и могут использоваться для работы в полевых условиях. Из большого разнообразия ультрафиолетовых облучателей наиболее часто применяются облучатели ЛЮМ-1, ЛЮМ-2М и Ультрахимископ.

Аналитическая лампа ЛЮМ-1 дает длинноволновые ультрафиолетовые лучи ($\lambda=360$ нм), возбуждающие люминесценцию многих природных объектов, особенно органических. Для минералогических исследований она применяется реже, поскольку только немногие минералы (например, урановые) имеют достаточное активное свечение в ее лучах.

Минералоскоп ЛЮМ-2М служит для возбуждения люминесценции в минералах под воздействием коротковолновых ультрафиолетовых лучей ($\lambda=230$ нм). Источником ультрафиолетовых лучей служит ртутно-кварцевая лампа типа ПРК-4. Для поглощения видимых лучей применяется светофильтр УФС-1 (пластина из ортофосфорной кислоты, окрашенная солями кобальта и никеля). Питание прибора осуществляется от сети переменного тока 127—220 в через понижающий трансформатор. С минералоскопом работают в затемненном помещении. Шлих рассыпают на стекле тонким равномерным слоем, затем, держа люминескоп в горизонтальном положении, шлих облучают и рассматривают цвет и характер люминесценции отдельных минералов. В процессе работы не рекомендуется смотреть на прямые ультрафиолетовые лучи и следует пользоваться защитными очками, предохраняющими глаза. Ярким характерным свечением в ультрафиолетовых лучах обладают шеелит и повеллит, поэтому при изучении руд вольфрама и молибдена ЛЮМ-2М используется наиболее часто. Характер свечения некоторых минералов в лучах ЛЮМ-2М приведен в табл. 10.

Ультрахимископ имеет три бактерицидные лампы, которые дают излучение в пределах $\lambda=253$ нм. Свечение минералов в лучах ультрахимископа очень интенсивное и диапазон возбуждающихся минералов значительно шире по сравнению с облучателем типа ЛЮМ-2М, хотя характер свечения тот же.

Катодное излучение. Значительно большее число минералов люминесцирует в катодных лучах. Для изучения катодолюминесценции минералов применяются катодные трубы (или катодные ячейки), которые дают электронный поток достаточной мощности. В зависимости от способа получения электронного потока различают трубы с холодным и горячим катодом. В практике наиболее часто используется катодная трубка с холодным катодом системы Г. Ф. Комовского.

Катодная установка Г. Ф. Комовского состоит из разборной трубы, высоковольтного трансформатора, подающего на-

пряжение на электроды катодной трубы, и вакуумного насоса с мотором. Изучаемый объект (шлих, фракция или отдельные зерна) помещается в катодную трубку на небольшой подставке и после откачки воздуха из трубы вакуумным насосом облучается там катодными лучами, образующимися в результате излучения электронов катодом трубы. С увеличением вакуума усиливается катодное излучение и при давлении $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. наблюдается интенсивное свечение минералов. В практике также широко применяется катодная установка М. Г. Богословского, в принципе близкая к установке Г. Ф. Комовского. Недостаток катодных установок в том, что они могут использоваться только в стационарных лабораториях.

Для исследования люминесценции минералов в катодных лучах шлих, фракция или зерна отдельных минералов помещаются в катодную ячейку и свечение минералов наблюдается через бинокулярную лупу, которая укрепляется на специальном штативе над ней.

ГЛАВА 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ШЛИХООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Здесь остановимся на описании только наиболее распространенных и часто встречающихся минералов шлихов. Основное внимание уделим характеристике важных в промышленном или в поисковом отношении минералов и способам их диагностики.

МИНЕРАЛЫ МАГНИТНЫХ ФРАКЦИЙ

Минералы фракции сильной магнитности

Сильномагнитная фракция в шлихах обычно небольшая, в основном не более 10—15% всей массы шлиха; в редких случаях она преобладает. В состав фракции входят темноокрашенные минералы, поэтому она имеет однородный черный цвет. Средний удельный вес фракции больше 4. В основном она состоит из магнетита, иногда встречаются титаномагнетит; пирротин и изредка минералы аномально повышенной магнитности — ильменит и хромит (табл. 11). Из рудных минералов в состав фракции входит только крайне редко встречающаяся разновидность магнитной платины (поликсен), поэтому практического интереса фракция не представляет.

Магнетит — FeFe_2O_4 хорошо сохраняется при транспортировке в рыхлых отложениях и может переноситься от коренного источника на значительные расстояния. Это наиболее распространенный минерал шлихов, встречающийся повсеместно и нередко слагаю-

Таблица 11

Минералы магнитных фракций шлиха

Магнитность	Прозрачность	Цвет	Минералы	Стр.
Сильная	Непрозрачные	Железно-черный	Ильменит Магнетит Титаномагнетит Хромшпинелиды	90 87 90 91
		Коричневато-черный, буровато-черный, бурый	Пирротин Хромшпинелиды	90 91
Средняя	Непрозрачные	Черный, красновато-коричневый, коричневый до черного	Вольфрамит Гематит Ильменит Колумбит-танталит Хромшпинелиды	92 93 90 93 91
		Коричневато-бурый, ржаво-бурый до охристо-желтого	Лимонит	94
Слабая	Прозрачные	Темно-зеленый до черного, бутылочно-зеленый, буровато-зеленый, светло-зеленый	Амфиболы Оlivины Пироксены Турмалины Эпидот	94 97 95 99 105
		Бурый, желтовато-бурый, желтый, розовый	Гельвин Гранаты Стравролит Сфен	102 100 108 108
Слабая	Непрозрачные	Черный, буровато-коричневый до черного	Гематит Ильменит Марматит Ортит Уранинит	93 90 105 103 103
		Бурый, охристо-желтый	Лимонит	94
Слабая	Прозрачные	Зеленый, бутылочно-зеленый, буровато-зеленый, желто-зеленый, светло-зеленый	Амфиболы Оlivины Пироксены Турмалины Эпидот	94 97 95 99 105
		Бурый, желтовато-бурый, медово-желтый, розовый	Гранаты Ксенотит Монацит Пироксены Сфен Шпинель	100 107 106 95 108 107

щий значительную его часть. Магнетит определяется в шлихах очень легко по характерным кристаллам в виде октаэдров со ступенчатыми и штрихованными гранями (рис. 17) и их магнитности, вследствие чего отдельные зерна минерала агрегируются между собой, образуя цепочки. Магнетит часто наблюдается в виде неправильных зерен с неровным или раковистым изломом и в плот-



РИС. 17. МАГНЕТИТ. ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ

ных тонкозернистых агрегатах. Нередко в одном шлихе одновременно присутствует магнетит разной степени окатанности и различной формы. Это свидетельствует о поступлении его из разнообразных коренных источников. Твердость 5—6, раздавливается с хрустом. Плотность 4,9—5,2. Блеск — от сильного металлического до матового у окисленных разностей. Окраска черная, часто зерна покрыты пленками вторичных образований (обычно лимонита и гематита), поэтому имеют бурый, красноватый или

ржаво-желтый цвет. Чертка черная, у окисленных разностей — с красноватым или буроватым оттенком.

Магнетит легко диагностируется по внешнему виду и сильной магнитности; в мелких остроугольных осколках похож на ильменит, от которого отличается большей магнитностью (зерна магнетита на расстоянии притягиваются к стальной игле).

При растворении в концентрированной HCl магнетит окрашивает раствор в желтый цвет и дает микрохимическую реакцию на Fe^{2+} и Fe^{3+} .

Титаномагнетит — FeTiO_3 в FeFe_2O_4 представляет собой пропастание магнетита тонкими пластинчатыми выделениями ильменита. По своему внешнему виду и свойствам титаномагнетит мало отличается от магнетита. Зерна его также неправильной формы, угловатые, оскольчатые на изломе; вторичные пленки бывают представлены лимонитом. От чистого магнетита титаномагнетит отличается несколько меньшей магнитностью. Титаномагнетит надежно диагностируется микрохимической реакцией на титан.

Пирротин — $\text{Fe}_{n-x}\text{S}_n$ встречается в шлихах довольно редко. Его присутствие в современных рыхлых отложениях свидетельствует о близости коренного рудного месторождения. При длительной транспортировке и поверхностных потоках зерна пирротина легко окисляются, механически истираются и рассеиваются. Минерал сильно магнитен, имеет темный бронзовый цвет с буроватой или черной побежалостью, металлический блеск и черную черту. Наблюдается в виде неправильных, угловатых зерен. Твердость 3,5—4,5. Плотность 4,5—4,7. Чистые неизмененные зерна пирротина макроскопически определяются легко по их бронзовому цвету (хорошо выделяется среди массы черных зерен магнетита). Окисленные зерна пирротина, покрытые вторичными пленками гидроокислов железа, диагностируются гораздо труднее и похожи на пирит. Отличается от измененных зерен магнетита или пирита по бронзово-буровому цвету на свежем изломе зерна в его центральных участках и по микроскопической реакции на серу.

Минералы фракции средней магнитности

Во фракцию средней магнитности входят минералы, содержащие в своем составе элементы семейства железа (железо,cobальт и никель), а также марганец, хром и редкие земли. Это главным образом силикаты, в меньшей степени простые и сложные окислы. Промышленно интересные минералы встречаются обычно во фракции в немногочисленных зернах — это ильменит, хромшипелиды, вольфрамит, тантало-ниобаты.

Ильменит — $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{TiO}_3$ распространен в шлихах довольно широко и часто концентрируется в рыхлых отложениях в значительных количествах, нередко преобладая над всеми другими минералами среднемагнитной фракции. Концентрируется в прибрежно-морских и некоторых речных россыпях.

Ильменит определяется в шлихах довольно просто. Он стоек в поверхностных условиях и хорошо окатывается, поэтому его зерна обычно имеют округлую, неправильную форму, иногда сохраняются таблитчатые очертания кристаллов. Для свежих неокатанных зерен характерны уплощенные таблитчатые кристаллы псевдогексагонального облика, которые позволяют легко диагно-

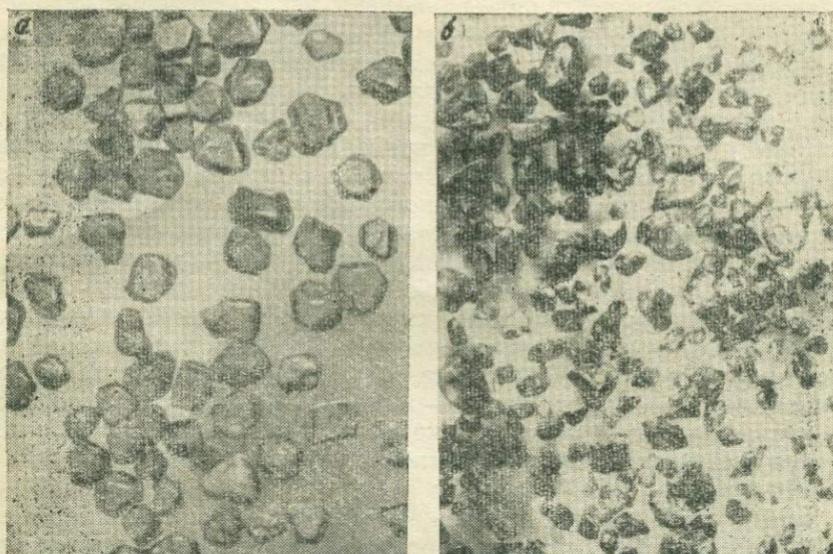


РИС. 18. ИЛЬМЕНИТ:
а — кристаллы в «рубашке» лейкоксена; б — слабоокатанные зерна

стировать минерал (рис. 18). Твердость 5—6, спайности нет. Иногда отмечается отдельность. Излом неровный, раковистый. Плотность 4,4—4,8. Цвет ильменита обычно смоляно-черный, окисленные зерна покрыты ржаво-бурыми пленками лимонита или грязно-серыми налетами лейкоксена. Свежие неизмененные зерна ильменита хорошо выделяются среди темных силикатов своим ярким смолистым, полуметаллическим блеском и хорошей окатанностью или таблитчатым обликом. Черта минерала, как правило, черная, при замещении ильменита лимонитом — коричневато-черная или рыжевато-черная, неоднородная. Черная черта и отсутствие спайности легко отличают ильменит от похожих на него по внешнему виду окатанных зерен хромита, тантало-ниобатов и вольфрамита. От магнетита отличается меньшей магнитностью и положительной микрохимической реакцией на титан.

Хромшпинелиды — $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_4$ обычно редки в шлихах, но в районах, сложенных интрузивными породами габбро-

перidotитовой формации встречаются довольно часто и находки повышенных их концентраций в шлихах (иногда в шлихах этих районов хромшпинелиды преобладают) представляют значительный интерес с точки зрения поисков коренных месторождений хромитовых руд или связанных с ним полезных ископаемых. В поверхностных условиях минералы этой группы стойки и могут переноситься на значительные расстояния от коренных источников. Из группы хромшпинелидов наиболее распространены алюмохромит и хромпикотит. Диагностика их затруднительна, так как по своему внешнему виду они нехарактерны и трудно различимы во фракции среди массы зерен ильменита или темных силикатов. Зерна хромшпинелидов обычно имеют неправильную или округлую форму, реже это окатанные кристаллы октаэдрического облика, грани которых несовершены и несут следы растворения. Цвет хромшпинелидов от смоляно-черного и железно-черного до буро-черного и темно-коричневого. В тонких осколках — красновато-коричневый или бурый. Блеск полуметаллический, матовый; твердость 5,5—6,5. Плотность 4,2—5,0. Спайность отсутствует. Характерна коричневато-бурая или светло-бурая черта, позволяющая легко отличить хромшпинелиды от близких к ним по внешнему виду минералов (магнетита, ильменита). Надежный способ определения хромшпинелидов — микрохимическая реакция на хром, причем они наиболее легко переводятся в растворимое состояние путем сплавления с перекисью натрия.

Вольфрамит — (Fe, Mn) WO_4 встречается в шлихах редко. Он имеет относительно невысокую твердость, обладает хорошей спайностью, поэтому легко истирается в поверхностных условиях и рассеивается. Находки вольфрамита в шлихах характерны для делювия или ложкового аллювия и являются ценными в поисковом отношении, так как свидетельствуют о близости коренных рудных жил. Длительной транспортировки не выдерживает.

В шлихах вольфрамит выявляется довольно трудно, так как он маскируется зернами широко распространенных темноокрашенных силикатов. Зерна вольфрамита имеют железно-черный, темно-коричневый или коричневато-бурый и красно-бурый цвет, а если они покрыты пленками вторичных образований (вольфрамовых охр), окраска их становится буро-черной, грязно-серой или желтой. Форма зерен обычно пластинчатая или таблитчатая, часто угловатая; хорошо наблюдается спайность по двум направлениям, окатанные зерна редки. Цвет черты меняется от красновато-коричневой (для вольфрамита) до желто-бурой (для гибнерита). Блеск полуметаллический, на плоскостях спайности близкий к алмазному. Твердость 5,0—5,5. Плотность 6,7—7,5. Минерал хрупок, имеет неровный или ступенчатый излом. Вольфрамит от похожих на него минералов отличает его способность просвечивать: в тонких осколках зерен и вдоль трещин спайности вольфрамит просвечивает ярким буровато-красным цветом (так называемый внутренний рефлекс). Вольфрамит легко отличается от

похожих на него минералов также по цвету порошка и наличию хорошей спайности. Диагностируется вольфрамит по микрохимической реакции на вольфрам. При возможности применения люминесцентного анализа Г. Ф. Комовский предлагает быстро и надежно определять вольфрамит по люминесценции в ультрафиолетовых лучах после несложной его обработки. Для этого несколько зерен минерала сплавляют в небольшом фарфоровом тигле с хлористым кальцием (CaCl_2) или со смесью равных объемов $\text{CaCl}_2 + \text{KCl}$; сплав выщелачивают водой. При этом на поверхности зерен вольфрамита появляется тонкая пленка вольфрамата кальция (CaWO_4) — шеелита, которая при облучении ультрафиолетовыми лучами люминесцирует голубым цветом.

Группа колумбита — tantalита. Минералы группы колумбита — tantalита довольно редки в шлихах и диагностируются с большими трудностями, в то же время находки их имеют большое значение при поисках коренных рудных жил. В поверхностных условиях устойчивы и могут значительно переноситься от коренных источников.

Минералы группы колумбита — tantalита представляют собой изоморфный ряд от колумбита ($\text{Fe}, \text{Mn}[(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6]$ до tantalита ($\text{Fe}, \text{Mn}[(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6]$). Физические свойства минералов несколько меняются для крайних представителей этого ряда. Цвет минералов — от железно-черного до темно-коричневого, черта — от черной до красновато-коричневой и бурой. В краях тонких осколков просвечивают красно-бурым цветом. Зерна имеют пластинчатую, таблитчатую, реже неправильную форму; несут отчетливые следы окатывания. Часто наблюдается штриховка граней призмы, характерна их ступенчатость. Твердость 6,0—6,5. Плотность колеблется от 5,2 для колумбита до 7,9 для tantalита. Спайность ясная по (100) у колумбита и менее отчетливо выражена у tantalита. Излом неровный. Нередко на плоскостях спайности колумбита, а также в тонких сколах наблюдаются красноватые внутренние рефлексы, чем колумбит близок к вольфрамиту (эти минералы также похожи по окраске, цвету черты и характеру спайности), но зато легко отличим от ильменита. Танталит и колумбит трудно отличимы от ортита, эшинита, фергюсонита. Надежный способ определения минералов группы колумбита — tantalита — проведение микрохимической пленочной реакции на ниобий и tantal.

Гематит — Fe_2O_3 довольно обычен в шлихах, причем чаще всего образует псевдоморфозы по магнетиту (мартиит) или другим железосодержащим минералам. Реже встречается разновидность гематита, называемая железным блеском. Находки гематита в шлихах практического значения не имеют.

Минерал диагностируется довольно просто. Зерна гематита чаще всего угловаты, неправильны или представляют собой зернистый агрегат, реже встречаются пластинчатые зерна или натечные корковидные образования. Цвет буровато-красный или черный с

вишневым оттенком у землистых разностей и железно-черный с металловидным блеском у пластинчатых разностей. Твердость зависит от агрегатного состояния и колеблется от 3,5 до 5,5—6,5. Плотность 5,0—5,3. Спайности нет, иногда наблюдается хорошая отдельность по [1011]. Излом неровный, раковистый. Черта характерная, вишнево-красная, иногда с буроватым оттенком из-за частичного замещения гематита лимонитом. В тонких осколках в краях просвечивает кроваво-красным цветом.

От сходных темноокрашенных минералов гематит легко отличается по вишнево-красной черте, отсутствию спайности, просвечиванию в краях тонких осколков и по микрохимической реакции на Fe^{3+} .

Лимонит — $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ — широко распространенный минерал шлихов, но практически интереса не представляет. Он дает или самостоятельные натечные, корковидные охристые и землистые, или плотные образования неправильной формы, или псевдоморфозы по различным железистым минералам (пириту, марказиту, ярозиту и др.). Твердость колеблется от 2 у землистых разностей до 5 у наиболее плотных агрегатов. Плотность 3,2—4,0. Спайности нет, излом раковистый, скорлуповатый, землистый. Цвет минерала и черты от темно-бурового до охряно-желтого. Блеск матовый, иногда металловидный (у сливных темноокрашенных разностей). Определяется в шлихах лимонит по яркому рыжевато-буруму или коричневому цвету, по охряной черте, землистым или бесформенным выделениям и микрохимической реакции на Fe^{3+} .

Амфиболы — наиболее распространенные минералы шлихов, встречаются в значительных количествах; практически они наряду с пироксенами в основном и слагают электромагнитные фракции. Из амфиболов типична для шлихов обыкновенная роговая обманка, реже встречается актинолит; прочие представители этой группы в шлихах очень редки. Зерна амфиболов обычно мало окатаны, имеют темнозеленую до черной, реже светло-зеленую окраску и неправильный или удлиненно-призматический облик (рис. 19). Блеск стеклянный. Цвет черты амфиболов зелновато-серый, а у светлоокрашенных маложелезистых разностей — зеленовато-белый. Сингония большинства амфиболов моноклинная и только некоторые из них кристаллизуются в ромбической или триклинической сингонии. Твердость 5—6. Плотность 3,0—3,4. Спайность у амфиболов хорошая по (110) под углом около 120° , причем наиболее четко она наблюдается при раздавливании их зерен. При этом зерна амфиболов рассыпаются на мелкие тонкие игольчатые или пластинчатые обломки ясного зеленого цвета, имеющие совершенную спайность по двум направлениям. Форма получающихся осколков настолько характерна, что по ним почти безошибочно можно диагностировать амфиболы. Нередко спайность у амфиболов прослеживается в виде грубой вертикальной штриховки на гранях призмы. Излом неровный; причем характерно, что на концах зерна имеют неправильный «дощатый» или занозистый излом, по

которому амфиболы хорошо отличимы от всех других минералов. Блеск стеклянный, у железистых темноокрашенных разностей приближается к металловидному.

По внешнему виду амфиболы отчасти сходны с пироксенами, турмалином, а иногда (темные высокожелезистые разности) даже с черными непрозрачными рудными минералами (ильменит и др.).

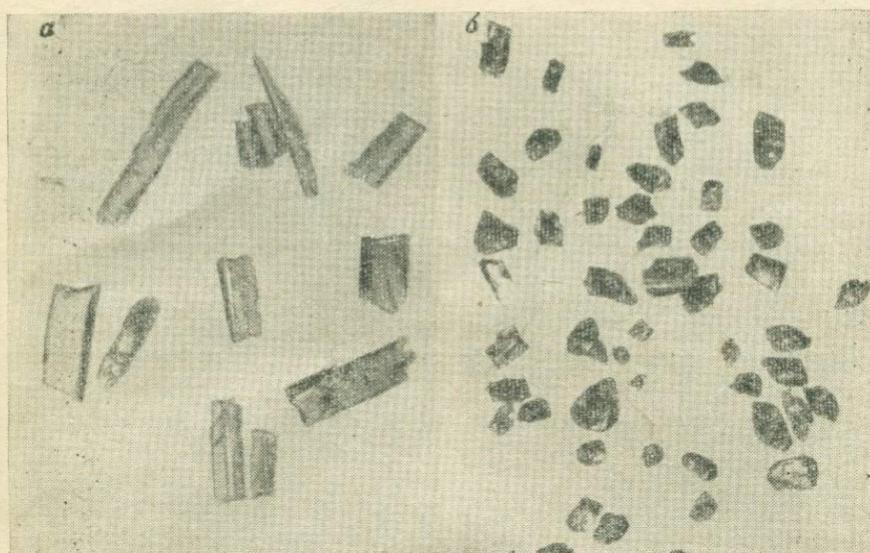


РИС. 19. АМФИБОЛЫ:
а — угловатые осколки; б — слабоокатанные зерна

от которых отличаются блеском. Наиболее характерными отличительными признаками амфиболов являются зеленовато-серая черта, совершенная спайность под тупым углом и характер раздавливания с образованием игольчатых обломков ясно-зеленого цвета. Точная диагностика амфиболов и определение их минеральных видов производится по оптическим константам путем исследования препаратов на глицерине в поляризованном свете.

В поляризованном свете амфиболы окрашены в грязно-зеленые тона, обнаруживают отчетливый плеохроизм в грязно-зеленых и желто-зеленых тонах, показатели преломления 1,6—1,7. Моноклинные амфиболы имеют в среднем небольшие углы угасания 12—16°. Амфиболы принадлежат к двусymbolic отрицательным минералам, углы оптических осей 70—88°. Основные оптические константы минералов группы амфиболов приведены в табл. 12.

Пироксены, так же как и амфиболы, обычны для шлихов, хотя количественно и уступают последним. Из довольно большой группы пироксенов наиболее часто встречаются моноклинные и ромбические — диопсид, энстатит, гиперстен, геденбергит и авгит. Они

Таблица 12

Оптические константы группы амфиболов

Минерал	Показатели преломления			$Ng-Np$	Угол угасания $c:Ng$	Знак удлине- ния	Плеохроизм	Осность, знак	$2V$
	Ng	Nm	Np						
Антофиллит	1,625—1,680	1,615—1,668	1,605—1,660	0,018—0,020	0°	(+)	Слабый, в зелено- ватых тонах		(-85°)— -(+78°)
Обыкновен- ная роговая обманка	1,655—1,680	1,647—1,672	1,635—1,655	0,020—0,025	16—22°	(+)	Интенсивный, в сине-зеленых и желтых тонах		65—(-75°)
Актиноолит	1,638—1,660	1,630—1,650	1,612—1,635	0,024—0,026	10—15°	(+)	Средний, в желто- зеленых тонах		-(80—85°)
Тремолит	1,625—1,641	1,613—1,633	1,599—1,617	0,026—0,027	15—20°		Нет		-(85—88°)
Арфведсонит	1,700	1,687—1,696	1,683—1,695	0,005	75°	(—)	Очень сильный, в буро-зеленых тонах		Изменчив
Риббекит	1,697	1,695	1,693	0,004	—	(—)	Очень сильный, в индигово-синих тонах		Большой
Глаукофан	1,638—1,650	1,638—1,644	1,620—1,628	0,015—0,022	3—6°	(+)	Очень сильный, в сине-зеленых, фиолетовых тонах		-(40—80°)

Двоосные отрицательные

образуют толсто-призматические, реже укороченные кристаллы; обломки зерен имеют угловатую, удлиненную неправильную форму (рис. 20). Окраска их зависит от состава и изменяется от темно-зеленой, почти черной у железистых разностей до светло-зеленой, нередко переходящей в зеленовато-буроватые тона. Некоторые зерна темных железистых пироксенов (гиперстен) покрыты бурой

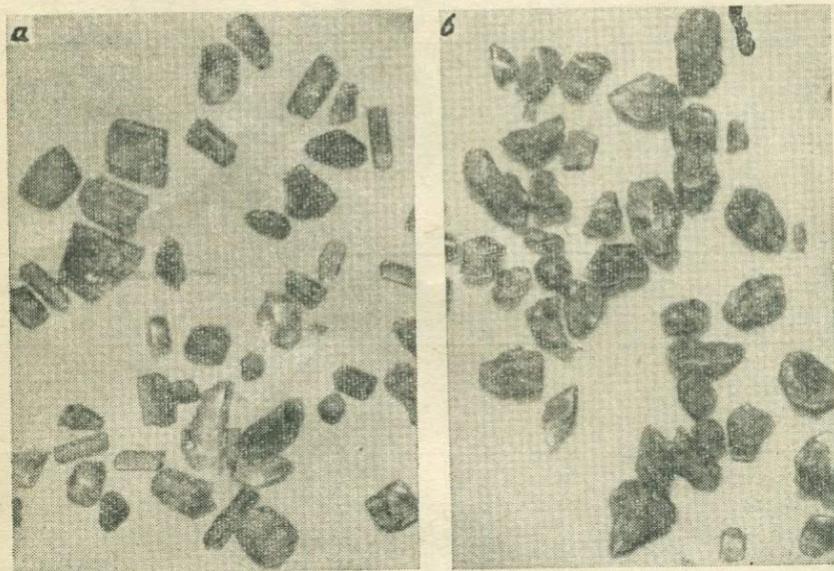


РИС. 20. ПИРОКСЕНЫ:
а — кристаллы; б — угловатые обломки

или охристой рубашкой вторичных образований. Твердость 5—6. Плотность 3,1—3,6. Спайность совершенная по (110) под углом около 90° , что позволяет легко отличать пироксены от амфиболов. Излом неровный, часто занозистый. Блеск стеклянный. При раздавливании зерен пироксенов получаются осколки неправильной, реже прямоугольной формы, что также является хорошим диагностическим признаком. Чешуя сероватая или белая. По своему внешнему виду пироксены мало характерны, но довольно легко отличаются от близких к ним амфиболов на основании их оптических свойств. Минералы группы пироксенов двуосны с переменной ориентированной оптической индикаториссы; в отличие от амфиболов плеохроируют слабее, имеют большие углы угасания и более высокие показатели преломления (порядка 1,68—1,72). Основные их оптические константы приведены в табл. 13.

Оливины, как правило, редки в шлихах, встречаются главным образом в районах развития основных и ультраосновных интрузивных пород. Однако оливин, особенно форстерит, широко распрост-

Таблица 13

Оптические константы группы пироксенов

Минерал	Показатели преломления			$Ng-Np$	Угол угасания $c:Ng$	Знак удлине- ния	Плеохроизм	Осность, знак	$2V$
	Ng	Nm	Np						
Энстатит	1,660—1,680	1,654—1,674	1,652—1,668	0,008—0,012	0°	(+)	Слабый, в желтовато- зеленоватых тонах	Дву- осный (+)	+ (65—88°)
Бронзит	1,680—1,692	1,675—1,687	1,668—1,680	0,010—0,012	0°	(+)	Слабый, в грязно- зеленоватых тонах	Дву- осный, (+)	—(75—90°)
Гиперстен	1,692—1,710	1,687—1,706	1,680—1,697	0,013—0,018	0°	(+)	Средний, в зелено-бурых тонах	Дву- осный, (—)	—(50—70°)
Диопсид	1,694—1,709	1,671—1,686	1,665—1,680	0,029—0,030	38—40°	(+)	Нет	Двуос- ный, (+)	+(58—60°)
Геденбергит	1,738—1,752	1,719—1,735	1,711—1,726	0,026—0,027	45—48°	(—)	Сильный, от желто-зеленого до розового	Дву- осный, (—)	+(61—62°)
Авгит	1,710—1,718	1,698—1,702	1,685—1,695	0,023—0,025	45—55°	(+)	Средний, в зелено-бурых тонах	Дву- осный, (+)	+(60—65°)
Эгирин	1,780—1,825	1,770—1,810	1,740—1,775	0,040—0,052	0—10°	(—)	Отчетливый, в сине-зеленых и травяно-зеленых тонах	Дву- осный, (—)	Непостоянен

ранен в шлихах из районов, сложенных метаморфизованными карбонатными породами (например, на Алдане). Из минералов группы оливина чаще всего встречается собственно оливин. Находки оливина практического значения не имеют, но в ряде случаев с ним парагенетически связаны титаномагнетит и перовскит, поэтому оливин в шлихах может служить важным поисковым признаком на эти руды. Зерна оливина удлиненные остроугольные, неправильной формы, хорошо окатанные, нередко трещиноватые. Характерна шероховатая, ямчатая скульптурная поверхность, в углублениях которой и по трещинкам развиваются вторичные продукты. Окраска от оливково-зеленой через буровато-зеленую до светлой грязновато-зеленой. Цвет черты белый. Спайность по (010) ясная, но наблюдается не всегда. Излом раковистый. Твердость высокая 6,0—6,5 до 7,0. Плотность 3,2—3,4. Блеск стеклянный, у трещиноватых зерен — матовый.

В шлихах оливин довольно трудно отличим от пироксенов и эпидота, к которым он чрезвычайно близок по своим физическим свойствам. Наиболее точно оливин диагностируется по оптическим константам (табл. 14). Это бесцветные или слабо окрашенные минералы, двуосные с переменным знаком, с высокими показателями преломления и двупреломления. Характерны яркие и пестрые интерференционные окраски.

Турмалины относительно редки в шлихах, но в некоторых районах распространены достаточно широко и наряду с амфи-

Таблица 14

Оптические константы группы оливина

Минерал	Показатели преломления			$N_g - N_p$	Плеохронизм	Основность, знак	2V
	N_g	N_m	N_p				
Форстертит	1,670—1,692	1,652—1,670	1,636—1,654	0,035—0,038	Слабый, в зелено-желтых тонах	Двуосный, (+)	+ (80—88°)
Оливин	1,693—1,736	1,672—1,718	1,655—1,692	0,038—0,044	Очень слабый	Двуосный, (±)	(—85)—(88°)
Фаялит	1,861—1,888	1,851—1,847	1,813—1,837	0,048—0,051	Очень слабый	Двуосный (—)	— (52—47°)

болами преобладают в составе магнитной части шлихов. Сам по себе турмалин в шлихах не представляет практического интереса, но в случаях повышенных содержаний на него следует обращать внимание, так как турмалин нередко сопутствует таким промышленно ценным минералам, как кассiterит, вольфрамит, берилл и некоторые полудрагоценные камни. Минералы группы турмалина — сложные бораалюмосиликаты с переменным содержанием железа, магния и алюминия, в связи с чем многие их свойства изменчивы. В шлихах наиболее часто встречаются шерл и дравит. Так как турмалин характеризуется высокой твердостью и отсутствием спайности, он хорошо сохраняется в рыхлых отложениях и может переноситься на значительные расстояния от коренного источника.

Наиболее часто в шлихах турмалин наблюдается в виде угловатых или слабоокатанных зерен неправильной формы, реже сохраняются удлиненно-призматические кристаллы, обломанные на концах. Форма кристаллов турмалина в поперечном сечении имеет вид сферического треугольника. На гранях призмы наблюдается грубая вертикальная штриховка. По форме кристаллов турмалин определяется легко. Цвет железистых разностей (шерлов) черный, зеленовато-черный или буровато-черный, дравиты окрашены в коричнево-желтые и зеленовато-бурые цвета. Турмалины обладают резкой абсорбцией света, поэтому интенсивность и характер окраски одного и того же кристалла сильно меняются даже при поворачивании его иглой под бинокуляром. Эта особенность минерала (дихроизм) позволяет легко отличать его от похожих темноокрашенных силикатов. Чешуя зеленовато-серая, получается с трудом. Блеск яркий стеклянный. Излом неровный, нередко оскольчатый; осколки зерен турмалина имеют неправильную форму. Спайностью не обладает, но перпендикулярно к удлинению наблюдается отдельность. Твердость 7—7,5; раздавливается с трудом с резким хрустом. Плотность 2,9—3,2. По внешнему виду и физическим свойствам турмалины нередко похожи на амфиболы или темноокрашенные пироксены, но легко отличаются от последних высокой твердостью и отсутствием спайности, а также формой кристаллов, дихроизмом и более ярким блеском. Наиболее надежно турмалины диагностируются проверкой оптических констант: высокие показатели преломления и среднее двупреломление. Для шерла $No = 1,665—1,690$, $Ne = 1,630—1,652$, $No - Ne = 0,035—0,038$. Для дравита $No = 1,630—1,650$, $Ne = 1,607—1,626$, $No - Ne = 0,023—0,025$. Чрезвычайно характерен интенсивный плеохроизм в сине-зеленых, бурых и фиолетовых тонах; причем схема абсорбции обратная ($No > Ne$). Угасание прямое, минералы оптически одноосные, отрицательные.

Гранаты распространены весьма широко, встречаются практически в каждом шлихе и в значительных количествах, являясь одними из основных шлихообразующих минералов. По составу они довольно разнообразны благодаря широкому изоморфизму глав-

ных элементов. Наиболее часто встречаются представители пироп-альмандинового и гроссулярового рядов.

Практический интерес представляют находки в шлихах повышенных количеств пиропа, который является парагенетическим спутником алмаза.

Гранаты легко определяются по своему внешнему виду. Часто наблюдаются сохранившиеся кристаллы гранатов — типичные по своей форме ромбододекаэдры или их комбинации с другими простыми формами кубической сингонии (рис. 21). По форме кристаллов гранаты могут определяться безошибочно. Осколки их зерен имеют неправильную угловатую форму и резкий оскольчатый или раковистый излом. Высокая твердость (6,5—7,5) помогает в диагностике минерала: гранаты очень сильно царапают стекло, снимая с него стружку, а при раздавливании раскалываются с большим усилием и оставляют на стекле глубокую вмятину. Окраска гранатов различная, чаще разные оттенки розового, желтого или бурого цвета. Черта бесцветная. Блеск стеклянный, на изломе жирный. Плотность 3,1—4. Спайности нет, но иногда наблюдается по (110) отдельность.

Пироп — $(Mg, Fe)_3Al_2[SiO_4]_3$ распространен в шлихах в районах развития алмазоносных кимберлитов, где сопровождается магноильменитом, хромдиопсидом, оливином, перовскитом и шпинелью. Указанная ассоциация минералов является типоморфной для алмазов. Нередко при поисках алмазов ведут специальные пиропные съемки.

Зерна пиропа в шлихах неправильно-округлые, угловатые, остроугольные, реже окатанные. Характерная для пиропов округлая форма зерен далеко не всегда следствие окатывания, а присуща первичным минералам. Кристаллы пиропа в виде ромбододекаэдров встречаются редко. Цвет пиропов очень своеобразен. Хромсодержащие пиропы окрашены в малиново-красные, лилово-красные, кровавые тона, отличающиеся от прочих розовых грана-

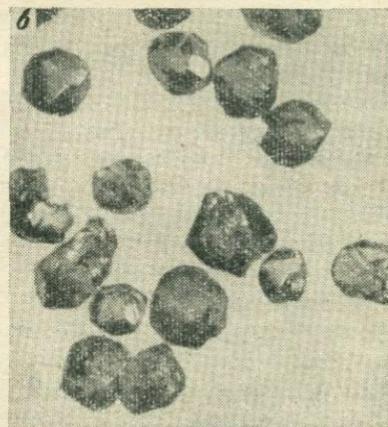


РИС. 21. ГРАНАТЫ:
а — окатанные зерна; б — кристаллы

тов необычностью и яркостью оттенков. Кальцийсодержащие пиропы отличаются оранжево-красными, коричневато-красными и винно-желтыми окрасками, также совершенно своеобразными по оттенкам. Плотность пиропов 3,58—3,70, твердость 7—7,5 (самые твердые из группы гранатов, раздавливаются с большим трудом). Показатель преломления 1,74—1,76.

В поверхностных отложениях неустойчив, при длительной транспортировке окатывается, зерна становятся мутными, исцарапанными, скругленными; в углублениях их поверхности появляется вторичный гидрохлорит.

Иногда по внешнему виду и физическим свойствам диагностировать гранат не удается, ввиду того что в осколках неправильной формы гранат похож на сфен, шпинель, пироксены и ряд других минералов. Тогда гранаты определяются по оптическим константам — изотропности или аномальной анизотропии и высокому показателю преломления (1,71—1,89), вследствие чего гранаты имеют резко выраженную шагреневую поверхность и связанную с ней розовато-серую окраску в проходящем свете.

Гельвин — $Mn_8[BeSiO_4]_6S_2$ встречается в шлихах очень редко. Минерал мало распространен и известен в скарнах, отчасти в гранитных пегматитах. Зерна гельвина неправильно-изометричной, округлой формы, нередко покрыты синевато-черными пленками вторичных марганцовистых продуктов. Цвет от медово-желтого до желто-бурового, красно-бурового и коричнево-бурового. Цвет черты белый. Твердость 5,5—6,0. Плотность 3,1—3,6. Блеск стеклянный, на изломе жирный или смолистый. Излом неровный, слабораковистый, спайность неясная. В поверхностных условиях неустойчив и сохраняется в шлихах лишь вблизи его коренных источников. Выявляется в шлихах с большим трудом, так как трудно различим среди зерен граната, сфена, монацита, шпинели и везувиана. Диагностируется гельвин по оптическим свойствам и микрохимическим реакциям. Гельвин изотропен, показатель преломления высокий (1,739), но более низкий, чем у гранатов; в отличие от последнего имеет меньшую твердость. Кроме того, гельвин дает микрохимическую реакцию на серу и при растворении в концентрированной HCl выделяет студенистый кремнезем. Некоторые разности гельвина обнаруживают яркую оранжево-красную или желтую люминесценцию в ультрафиолетовых лучах.

Минералы фракции слабой магнитности

Во фракцию слабой магнитности выделяются минералы, содержащие элементы — магнитофоры в качестве примесей: пироксены, амфиболы, сфен, эпидот. Типичные рудные минералы — уранинит, силикаты и сложные окислы редких земель, ксенотит, монацит и сфалерит (марматит). Следует отметить, что в фракцию слабой магнитности могут входить минералы, типичные для фракции средней магнитности, но менее железистые и обладающие меньшей

магнитной проницаемостью. Так, например, для фракции слабой магнитности характерно присутствие пироксенов, амфиболов, турмалина, гранатов, оливина, но окрашены они обычно в более светлые тона по сравнению с этими же минералами среднемагнитной фракции.

Уранинит — $n\text{UO}_2 \cdot m\text{UO}_3 \cdot \text{PbO}$ в шлихах редок, был встречен в золотоносных россыпях или в районах развития редкоземельных гранитных пегматитов. Находки его в шлихах представляют чрезвычайный интерес.

В шлихах уранинит наблюдается в виде кристаллов кубического облика или их обломков неправильной, угловатой формы, слабоокатанных, покрытых бурыми и оранжевыми пленками вторичных образований (гумmit). Излом раковистый, неправильный, спайность не выражена. Минерал черного или буровато-черного цвета, на изломе — смоляно-черный. Чешуя черная или буровато-черная. Благодаря яркому смолистому блеску хорошо выделяется среди других темноокрашенных минералов фракции. Твердость изменчива от 7—6 до 4 у сильно окисленных разностей. Плотность 8—10,5. Диагностируется уранинит в шлихах с большим трудом, так как внешне трудно отличим от зерен ильменита и других темноокрашенных минералов и по ряду внешних признаков похож на торианит, перовскит, tantalо-ниобаты. Уранинит непроччен, дает густо-черную черту, не дает двойников прорастания. Наиболее надежным признаком его диагностики является положительная микрохимическая реакция на уран и образование люминесцирующего в ультрафиолетовых лучах перла буры. Уранинит радиоактивен, поэтому для его выявления в шлихах широко применяется определение их γ -активности.

Ортит — $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{La}, \text{Th})_2(\text{Al}, \text{Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$ представляет собой алюмосиликат кальция с редкими землями группы церия. Обычно это редкий минерал шлихов, но может быть встречен повсеместно в незначительных количествах в составе рыхлых отложений из районов развития гранитонидов; кроме того, он характерен для пляжных отложений многих побережий. Находки ортита в шлихах имеют практическое значение при поисках коренных месторождений редких земель. Диагностика его в шлихах весьма затруднительна и в ряде случаев требует применения специального анализа. Кристаллы ортита таблитчатые или призматические, но сохраняются в шлихах редко (рис. 22). Чаще встречаются обломки угловатой, неправильной формы с неровным изломом и следами окатывания. В гипергенных условиях довольно неустойчив, поэтому зерна его трещиноваты, имеют неровную, изъеденную поверхность, в углублениях которой сохраняются охристые или бурые вторичные продукты. Спайность неясная и наблюдается редко. Твердость 5,5—6, хрупок, раздавливается с хрустом. Плотность 3,5—4,2. Цвет минерала смоляно-черный, буровато-черный, темно-бурый. Чешуя бесцветная. Блеск полуметаллический, сильный смоляной. В тонких осколках в краях просвечивает красно-

бурым цветом. По внешнему виду ортит близок к титанатам, тантало-ниобатам (гадолиниту, фергюсониту, эшиниту) и темноокрашенным роговым обманкам, турмалину, но легко отличается от них по оптическим константам и микрохимии. Ортит — двусный отрицательный минерал с большим углом оптических осей. В результате вторичных изменений и метамиктного распада становится изотропным. Для ортита типичен отчетливый плеохроизм

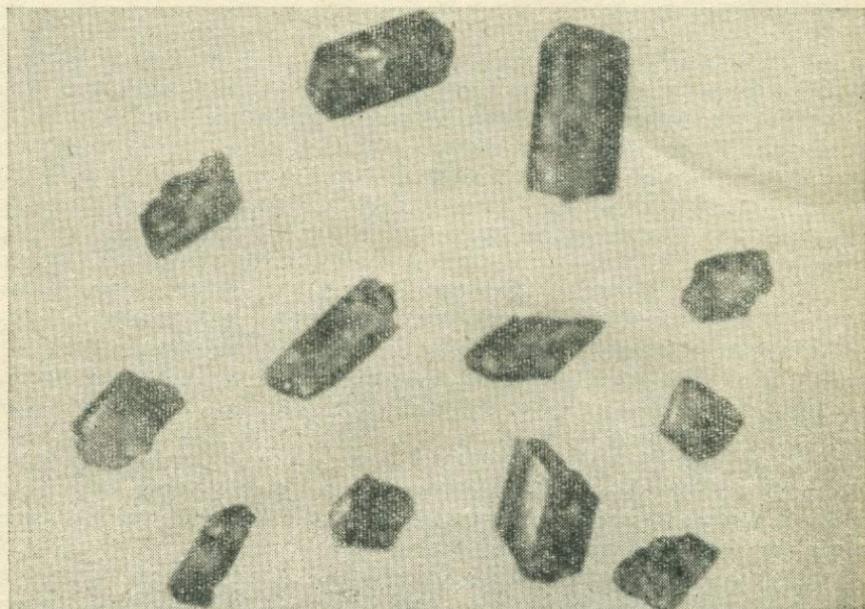


РИС. 22. ОРТИТ

в зелено-красно-бурых тонах. Угол угасания $c:Ng = 32-40^\circ$; $Ng = 1,700-1,810$, $Nm = 1,695-1,790$, $Np = 1,680-1,775$; двупреломление меняется в широких пределах ($Ng - Np = 0,010-0,036$). Ортит разлагается в $HCl_{конц}$ с выделением студенистого кремнезема и с тоном дает отчетливую реакцию на Th. При сплавлении с NaF дает люминесцирующий перл. Минерал сильно радиоактивен.

Сфалерит — ZnS в шлихах чрезвычайно редок и появляется в них только в непосредственной близости от коренных месторождений, так как при транспортировке зерна его сильно измельчаются ввиду совершенной спайности. Однако мелкие зерна сфалерита могут переноситься на десятки километров от коренного источника. Шлихи, содержащие сфалерит, имеют большое значение при поисках коренных месторождений полиметаллов. Сфалериты содержат примеси железа. Наиболее железистые разности сфале-

рита (марматиты) обладают слабо выраженными магнитными свойствами и могут входить в состав слабомагнитной фракции. Обычно магнитные сфалериты имеют темно-коричневую или красно-бурую окраску и коричневую черту. Для них характерны также красновато-коричневые внутренние рефлексы. Маложелезистые сфалериты (клейофаны) окрашены в бурые и медово-желтые тона, дают светло-бурий порошок и характерны для тяжелой фракции, так как не обладают магнитными свойствами. Зерна сфалерита обычно имеют неправильную угловатую, реже несколько окатанную форму, но в них всегда хорошо прослеживается совершенная спайность в шести направлениях по (110). Благодаря сильному блеску на плоскостях спайности сфалерит хорошо выделяется среди массы зерен силикатов. Твердость 3,5—4. Минерал хрупкий и при надавливании стеклом легко рассыпается на угловатые, пластинчатые, пропускающие красно-бурым цветом обломки. Блеск на плоскостях спайности алмазный, на изломе жирный. Плотность 3,9—4,2. По внешнему виду сфалерит диагностируется довольно трудно; он весьма близок к вольфрамиту, колумбиту, а его светлоокрашенные разности подчас трудно отличимы от сфена, монацита и иногда алмаза. От указанных минералов сфалерит отличается низкой твердостью, совершенной спайностью и алмазным блеском. Наиболее надежный способ диагностики сфалерита — исследование его в поляризованном свете. Сфалерит прозрачен, изотропен и имеет чрезвычайно высокий показатель преломления (2,370—2,428). Легко диагностируется сфалерит также по микротехнической реакции на цинк. Светлоокрашенные безжелезистые сфалериты обнаруживают люминесценцию в катодных и ультрафиолетовых лучах.

Эпидот довольно типичен для слабомагнитной фракции шлихов и встречается нередко в заметных количествах. Найдены его практического интереса не представляют. Эпидот имеет яркий фисташково-зеленый, желтовато-зеленый и зеленовато-желтый цвет, чем и отличается от нескольких грязноокрашенного диопсида. Зерна эпидота чаще всего неправильные, удлиненные, угловатые, трещиноватые; нередко это мелкозернистые агрегаты комковатой, неправильной формы. Кристаллы эпидота или их обломки сохраняются в шлихах редко. Твердость 5—6. Плотность 3,3—3,5. Спайность прослеживается только по (001). Блеск на плоскостях стеклянный, на изломе жирный; минерал хрупок. По внешним свойствам эпидот диагностируется трудно и от сходных с ним диопсида и других пироксенов, везувiana, оливина и гроссуляра отличается по оптическим константам. Эпидот обычно бесцветен, иногда наблюдается слабый плеохроизм в желто-зеленых тонах. Имеет высокие показатели преломления ($Ng=1,735—1,785$; $Nm=1,730—1,765$; $Np=1,720—1,740$). Высокое двупреломление ($Ng-Np=0,015—0,045$) позволяет легко отличить эпидот от диопсида и везувiana по ярким, пестрым интерференционным окраскам. Минерал оптически двуосный, отрицательный, $2V=(-) 70—90^\circ$.

Монацит — $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y})[\text{PO}_4]$ довольно обычный для шлихов минерал, но встречается в небольших количествах. В районах развития гранитных интрузий, гнейсов, кристаллических сланцев образует самостоятельные россыпи благодаря высокой его устойчивости при переносе. Найдки больших количеств монацита в шлихах интересны для поисков россыпей. Диагностика его за-

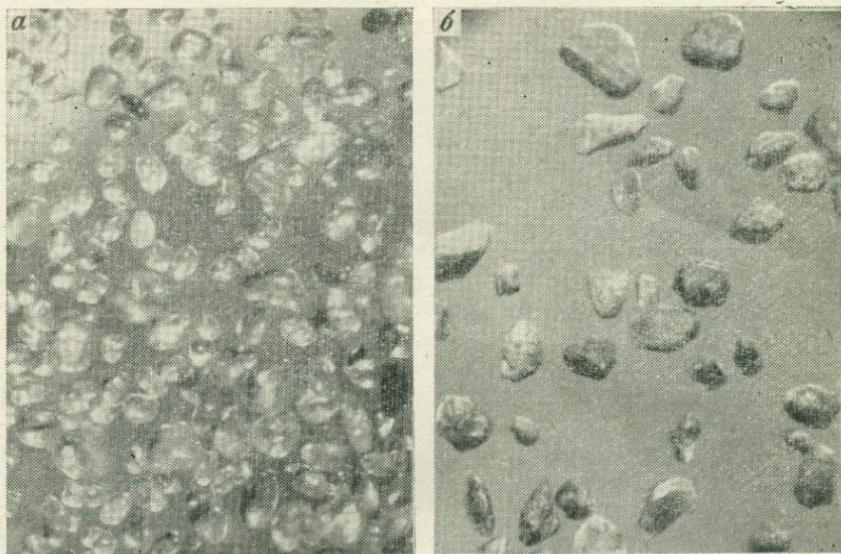


РИС. 23. МОНАЦИТ:
а — окатанные зерна; б — угловые обломки

труднительна, потому что внешне он похож на сфен, ставролит, гранат, пироксены, эпидот, а иногда даже и на разрушенные полевые шпаты. Если в шлихе сохраняются кристаллы монацита, то по форме кристаллов он может диагностироваться почти безошибочно. Для монацита характерны уплощенные, богатые мелкими гранями кристаллы, у которых две крупные грани пинакоида (100) срезаны более мелкими косыми гранями (110), (101), (010) и (011). Если же кристаллы монацита не сохраняются в шлихе, то зерна его имеют овальную, яйцевидную или эллипсоидально-уплощенную форму и хорошо окатаны (рис. 23). Цвет монацита меняется от светлого медово-желтого, золотисто-желтого до кирпично-красного, красновато-бурого или зеленовато-бурого. Для неразложенных монацитов наиболее типичен медово-желтый цвет. Метамиктно распавшиеся монациты теряют свою прозрачность и переполнены красно-бурыми вторичными продуктами — гидроокислами TR и Fe. Минерал хрупкий, имеет неровный раковистый излом. Спайность ясная по (100) и (101), но прослеживается с трудом и лучше наблюдается в иммерсионных препаратах. Блеск

жирный, стеклянный, иногда смолистый. Твердость около 5. Плотность 5,0—5,5. Монацит радиоактивен. Наиболее точно монацит диагностируется по оптическим константам. В поляризованном свете прозрачен, бесцветен, но в толстых осколках наблюдается желтоватая или буроватая окраска и плеохроизм в желто-бурых тонах. Показатели преломления очень высокие ($Ng=1,837-1,849$; $Nm=1,788-1,800$; $Np=1,786-1,800$), двупреломление также очень высокое ($Ng-Np=0,050-0,052$). Угол угасания $c: Ng=2-5^\circ$. Минерал двуосный, положительный, $2V=(+)$ $10-15^\circ$.

Монацит легко диагностируется по микрохимической реакции на фосфор и торий и с помощью спектроскопического окуляра в поляризованном свете по характерному спектру поглощения, где хорошо наблюдается линия церия. После сплавления с NaF дает люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах перл.

Ксенотим — YPO_4 встречается в шлихах сравнительно редко и обычно сопутствует монациту, поэтому повышенные его количества в шлихах представляют значительный интерес при поисках коренных месторождений или россыпей.

По внешнему облику ксенотим довольно близок к циркону. Кристаллы ксенотима сохраняются в шлихах часто, так как благодаря высокой физической устойчивости он трудно окатывается. Кристаллы имеют вид тетрагональных дипирамид со слабым развитием граней призмы. Реже наблюдаются призматические кристаллы ксенотима, весьма похожие на циркон. По форме кристаллов ксенотим легко отличается от моноклинного монацита, а прочие физические свойства этих минералов близки. Цвет ксенотима от медово-желтого, желто-бурового до красновато-бурового и светло-коричневого. Твердость 4—4,5. Плотность 4,4—4,6. Спайность совершенная по (100), но прослеживается на осколках зерен не всегда. Излом неровный, ступенчатый, иногда раковистый. Блеск стеклянный, на изломе жирный. Ксенотим внешне похож на циркон, сфен, монацит, касситерит и иногда на пироксены. В отличие от монацита и циркона ксенотим определяют путем исследования иммерсионных препаратов в поляризованном свете. Показатели преломления высокие ($No=1,720-1,724$; $Ne=1,816-1,830$); двупреломление очень высокое ($No-Ne=0,096-0,106$). Минерал оптически одноосный положительный. Окрашен в слабые желтоватые или зеленоватые тона, иногда наблюдается слабый плеохроизм также в желтоватых тонах. Диагностируется ксенотим по микрохимической реакции на фосфор.

Шпинель — $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$ встречается в шлихах достаточно часто, но далеко не всегда выявляется при минералогическом анализе. В значительных количествах шпинель встречается в современных речных, прибрежно-морских и озерных россыпях. Шпинель весьма устойчива к физико-механическому воздействию и поэтому зерна ее обычно хорошо окатаны, имеют яйцевидную, шаровидную форму, с намечающимися кристаллографическими очертаниями. Реже шпинель сохраняется в виде кристаллов окта-

эдрического облика или осколков неправильной формы. От коренного источника может переноситься на значительные расстояния и сохраняется в обломочном материале в течение нескольких различных эрозионных циклов. Твердость 7,5—8,0 Плотность 3,6—4,0. Спайности нет. Минерал хрупкий, дает раковистый излом. Блеск стеклянный. Цвет меняется от зеленого и голубого через красно-бурый до темно-коричневого. Темноокрашенные разности почти непрозрачны. Шпинель оптически изотропна, имеет высокий показатель преломления (1,72—1,77). В коротковолновом излучении люминесцируют только бледноокрашенные разности шпинели (свечение оранжево-красное или рубиново-красное).

Шпинель сходна по форме кристаллов с алмазом, а в осколках зерен близка внешне к топазу, анатазу, корунду и гроссуляру. От большинства минералов легко отличима оптически. Шпинель с сохранившимися кристаллографическими очертаниями диагностируется легко, в неправильных осколках зерен сходна с гранатом, от которого трудно отличима.

Сфен — $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$ встречается в шлихах часто и нередко в значительных количествах. По внешнему виду сфен достаточно характерен и диагностика его не вызывает затруднений. В поверхностных условиях он устойчив, поэтому в шлихах часто сохраняются хорошие моноклинные кристаллы, по форме напоминающие запечатанный конверт. Цвет желто-бурый разных оттенков, реже зеленовато-бурый. Твердость 5. Плотность 3,5. Спайность хорошая по (110), но наблюдается не всегда. Блеск стеклянный, жирный, на плоскостях спайности алмазный. Иногда наиболее светлоокрашенные разности сфена обнаруживаются в катодных лучах слабую голубоватую люминесценцию. В неправильных угловатых осколках сфен определяется труднее, так как похож на монацит, касситерит, ставролит, а иногда и на пироксен. В таких зернах сфен наиболее точно диагностируется по микрохимической реакции на титан и по оптическим константам. Сфен двусосен, положителен, $2V = (+) 23\text{--}40^\circ$. Показатели преломления очень высокие ($Ng = 1,97\text{--}2,09$; $Nm = 1,88\text{--}1,97$; $Np = 1,84\text{--}1,95$); двупреломление также очень высокое ($Ng - Np = 0,135\text{--}0,180$), благодаря чему наблюдается интерференционная окраска высших порядков — перламутровая, белая, розовая, а также неполное угасание зерен.

Ставролит — $\text{FeAl}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ обычный минерал шлихов. Он характерен главным образом для районов развития кристаллических сланцев и гнейсов, в которых является одним из ведущих породообразующих минералов и сопровождается дистеном и гранатом. В поверхностных условиях устойчив и наблюдается в шлихах в виде укороченных, толсто-призматических кристаллов, нередко образующих крестообразные сростки. Характерны также угловатые неправильные обломки зерен, несущие ясные следы окатывания — поверхность штрихованная, матовая. На зернах или кристаллах ставролита часто наблюдаются следы растворения в

виде ямок, углублений или неровностей. Цвет медово-желтый, желтовато-бурый, красновато-бурый, буро-коричневый, реже темно-бурый. В связи с наличием большого количества включений в окраске ставролита преобладают неопределенные тона; окраска обычно неоднородная, пятнистая. Твердость 7,0. Плотность 3,6—3,8. Блеск стеклянный, на изломе жирный. Излом неровный, занозистый. Спайность по (010) наблюдается не всегда.

По форме кристаллов, крестообразным двойникам и пятнистой окраске в желто-бурых тонах ставролит определяется легко, но нередко его окатанные или угловатые неправильные обломки похожи на монацит, сфен, гранат и пироксены. Поэтому правильность определения ставролита проверяется по оптическим константам, которые легко позволяют диагностировать минерал. Ставролит в проходящем свете имеет желто-коричневую окраску и ясный плеохроизм в красновато-коричневых или бурых тонах. По отношению к удлинению зерен погасание прямое. Высокие показатели преломления ($Ng=1,746$ — $1,755$; $Nm=1,740$ — $1,749$; $Np=1,736$ — $1,743$) и низкое двупреломление ($Ng-Np=0,010$ — $0,012$) нередко вызывают появление аномальных низких интерференционных окрасок в фиолетово-синих тонах. Минерал двухосный, положительный, $2V=(+)$ 80 — 89° .

МИНЕРАЛЫ НЕМАГНИТНОЙ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ

Немагнитная тяжелая фракция составляет обычно небольшую часть шлиха. Однако минералогический анализ ее представляет наибольший практический интерес в связи с тем, что именно в тяжелой фракции шлиха скапливается основная масса рудных минералов, извлекаемых при промышленной промывке песков (табл. 15). Поэтому изучению минерального состава этой фракции уделяется достаточное внимание, а нередко анализ шлиха начинают с анализа минералов именно немагнитной тяжелой фракции. Средняя плотность фракции высокая, больше 3,0. Окраска фракции самая разнообразная, но чаще это светлые тона; количество черных или темноокрашенных минералов в ней невелико. В отдельных случаях тяжелая немагнитная фракция может иметь и темный цвет, если в ее составе преобладают такие минералы, как кассiterит, рутил, пирохлор и др.

Из промышленно важных рудных минералов в тяжелую фракцию входят алмаз, золото, серебро, платина, кассiterит, шеелит, киноварь и др. Кроме того, вблизи коренных рудных месторождений в шлихах, промытых из аллювия рек и небольших ручьев, появляются угловатые зерна разнообразных рудных минералов, неустойчивых в поверхностных условиях и поэтому нетипичных для шлихов. К таким минералам относятся антимонит, арсенопирит, галенит, халькопирит, молибденит, сфалерит, кобальтий и др. Найдены этих минералов в шлихах имеют большое значение при

Минеральный состав тяжелой фракции шлихов

Рудные минералы	Рудные минералы, появляющиеся в шлихах вблизи коренных месторождений	Вторичные минералы по первичным рудным	Парагенетические спутники рудных минералов	Прочие нерудные минералы	Минералы, переходящие из электромагнитных фракций
Алмаз	Антимонит	Азурит	Пирит	Анатаз	Диопсид
Золото	Арсенопирит	Базовисмутит	Флюорит	Брукит	Тремолит
Платина	Висмутин	Малахит	Сподумен	Корунд	Актинолит
Серебро	Галенит	Смитсонит	Топаз	Андалузит	Гранаты
Киноварь	Кобальтин	Церуссит	Циркон	Волластонит	Сфен
Кассiterит	Молибденит	Скородит	Малахон	Кианит	Монацит
Рутил	Сфалерит	Эритрин	Турмалин	Силлиманит	Фаялит
Шеелит (Уранинит)	Халькопирит	Англезит	Барит	Апатит	Эпидот
Перовскит	Халькозин	Вульфенит	Безуван	Шпинель	
Пирохлор (Ортит)		Повеллит		Ставролит	
(Горянит) (Горит)		Лейкоксен			

Примечание. В скобках даны минералы, не типичные для тяжелой фракции.

поисках коренных месторождений различных руд. Нередко в шлихах появляются продукты изменения неустойчивых первичных рудных минералов — смитсонит, сидерит, церуссит, вульфенит, малахит, азурит, повеллит и др. Сами по себе эти минералы не имеют практического значения, но служат поисковым признаком при поисках коренных месторождений первичных руд.

И, наконец, в тяжелой фракции шлихов встречается значительное количество нерудных минералов; некоторые из них являются характерными парагенетическими спутниками ценных рудных минералов. Так, например, флюорит, топаз и турмалин — характерные спутники кассiterита; золото сопровождается пиритом, галенитом, сфалеритом и другими сульфидами, а указателями на алмаз являются зеленый хромдиопсид и кроваво-красный пироп. Поэтому эти минералы в шлихах также служат поисковыми признаками. Следует отметить, что нередко в тяжелой фракции встречаются минералы, типичные для слабомагнитной фракции, но вследствие ничтожного содержания в них железа не обладающие магнитными свойствами. Такими минералами, переходящими в тяжелую фракцию из магнитных, являются пироксены (диопсид), амфиболы (тремолит, актинолит), гранат, турмалин, эпидот, оливин (фаялит), сфен, монацит.

Остановимся на характеристике наиболее важных в промышленном отношении и наиболее часто встречающихся минералов

Таблица 16

Минералы тяжелой фракции

Прозрачность	Цвет	Минералы	Стр.	Прозрачность	Цвет	Минералы	Стр.
Непрозрачные	Серебристо-серый	Арсенопирит	112	Прозрачные	Серый, голубовато-серый, голубой	Алмаз	121
		Кобальтин	112			Анатаз	132
		Платина	112			Кианит	125
		Серебро	113			Шпинель	107
	Золотисто-желтый	Золото	113		Розовый, сиреневый	Алмаз	121
		Марказит	115			Андалузит	130
		Пирит	115			Гранат	100
		Халькопирит	115			Турмалин	99
	Стально-серый до железно-черного	Галенит	116			Флюорит	128
		Молибденит	116			Циркон	123
Прозрачные	Темно-коричневый до черного	Кассiterит	117		Светло-зеленый желто-зеленый	Шпинель	107
		Орбит	103			Актиноолит	94
		Перовскит	119			Гиперстен	95
		Пирохлор	119			Гранат	100
		Рутил	120			Диопсид	95
	Белый, грязно-белый, фарфоровидный	Барит	127			Оlivин	97
		Лейкоксен	129			Турмалин	99
		Шеелит	128			Эпидот	105
	Желтый, медово-желтый, светло-бурый	Андалузит	130	Бесцветные	Твердость > 5	Алмаз	121
		Гюбнерит	92			Гранат	100
		Кассiterит	117			Топаз	122
		Клейофан	105			Циркон	123
		Монацит	106				
Прозрачные	Красный, буровато-красный темно-бурый коричневый до черного	Сфен	108	Изометрические	Твердость < 5	Барит	127
		Циркон	123			Фаялит	97
		Гюбнерит	92			Флюорит	128
		Кассiterит	117			Шеелит	128
		Киноварь	130				
	Красный, буровато-красный темно-бурый коричневый до черного	Ксенотит	107	Призматические	Апатит Кианит Тремолит		
		Орбит	103				
		Пирохлор	119				
		Рутил	120				
		Ставролит	108				

тяжелой фракции. Для удобства изложения объединим в группы минералы, близкие между собой по ряду внешних признаков — окраске, прозрачности, цвету и форме зерен (табл. 16).

Арсенопирит — FeAsS в шлихах редок. В поверхностных условиях он неустойчив и сохраняется в аллювиальных отложениях лишь на незначительных расстояниях от коренного источника. По мере удаления от него зерна арсенопирита растрескиваются, замещаются землистым агрегатом скородита и достаточно быстро исчезают из рыхлых отложений. В связи с этим находки арсенопирита в шлихах представляют большой интерес при поисках коренных месторождений.

В шлихах зерна арсенопирита чаще имеют неправильные угловатые очертания (арсенопирит не переносит длительной транспортировки поверхностными потоками, поэтому окатанные его зерна редки). Реже сохраняются правильные ромбовидные или укороченно-призматические кристаллы его с ромбическим поперечным сечением. На гранях призмы (120) хорошо видна горизонтальная штриховка. Цвет серебристо-серый, но различим не всегда, так как нередко арсенопирит покрывается тончайшими темными или ржаво-бурыми пленками вторичных образований. Блеск сильный металлический, а у окисленных разностей — матовый. Черта черная. Спайность по (101) ясная, излом неровный, хрупок. Твердость 5—6. Плотность 5,9—6,2. Иногда окисленные разности арсенопирита, покрытые пленками окислов или гидроокислов железа, обнаруживают слабые магнитные свойства и могут извлекаться в слабомагнитную фракцию. По внешнему виду арсенопирит похож на сульфиды и арсениды серебристо-серого цвета, но легко отличается от них по высокой твердости, положительной микрометрической реакции на мышьяк и отрицательной реакции на Ni и Co.

Кобальтин — CoAsS в шлихах достаточно редок и наблюдается в неокатанных зернах вблизи коренных его источников, в элювии. Обычно это неправильные угловатые обломки зерен или изометричные кристаллы в виде пентагон-додекаэдров и кубов. Цвет серебристо-серый с розоватым оттенком благодаря образованию на поверхности зерен кобальтина пленок вторичного эритрина. Черта черная. Блеск сильный, металлический. Твердость 5. Хрупок. Плотность 6,0—6,5. Спайность ясная по (100), но различима под бинокуляром плохо. По внешнему виду кобальтин близок к арсенопириту, отличается от него розоватым оттенком, трудно отличим от тетраэдрита, арсенидов никеля и кобальта. Правильность его диагностики проверяется по положительной микрометрической реакции на кобальт и мышьяк и отрицательной реакции на никель. Характерна также синяя окраска перла буры.

Платина — Pt встречается в шлихах редко. Устойчива в поверхностных условиях и может переноситься на значительные расстояния от коренных источников — пород габбро-перidotитовой формации. Платина в шлихах представляет большой практический

интерес при поисках коренных ее источников, а заметно повышенные содержания могут служить указателями на возможные россыпи. Кроме того, платина встречается как спутник россыпного золота. По внешнему виду платина выделяется среди других минералов и обычно легко диагностируется.

Зерна платины в шлихах имеют самую разнообразную форму: неправильные, округлые, каплевидные, крючковатые, пластинчатые и лепешковидные. Скелетные и губчатые выделения появляются в россыпях на незначительном удалении от коренного источника; по мере продвижения в массе обломочного материала зерна платины окатываются и принимают пластинчатый или лепешковидный облик. Поверхность зерен неровная, ямчатая, нередко штрихованная. Цвет серебристо-белый или светло-серый для поликсена и иридистой платины и свинцово-серый для ферроплатины; медиастая платина бронзово-серого цвета, а для палладистой платины типичен латунно-желтый цвет. Черта блестящая, стально-серая. Блеск металлический, иногда несколько тусклый. Твердость от 4,0—4,5 до 5. Плотность 14,0—19,0. Платина ковка, при раздавливании ее зерна легко расплющиваются, принимая пластинчатую форму. Излом крючковатый. Правильность определения проверяется по микрохимической реакции на платину. Следует иметь в виду, что изредка встречается магнитная разность платины — поликсен, которая при обработке шлиха постоянным магнитом выделяется в сильномагнитную фракцию совместно с другими ферромагнитными минералами. От темноокрашенных магнитных минералов она легко отличается серебристо-белым цветом, округлой формой зерен с ямчатой поверхностью и ковкостью.

Серебро — Ag встречается в шлихах очень редко и является спутником золота в россыпях. Зерна его имеют характерную пластинчатую, дендритовидную, проволокообразную, скрученную и неправильную форму. Встречаются также окатанные губчатые образования. Цвет серый; серебряно-белый цвет различим не всегда, так как в поверхностных условиях серебро легко окисляется и покрывается тонкими черными пленками керааригита. Твердость 2—3. Плотность 10—11. Излом крючковатый, неровный. Серебро ковко и тягуче. По внешнему облику серебро напоминает платину и самородный свинец. Диагностируется по низкой твердости, растворимости со вскипанием в концентрированной HNO_3 и микрохимической реакции на серебро.

Золото — Au в единичных знаках встречается в шлихах достаточно часто; повышенные его концентрации в речных отложениях редки. Найдены единичных зерен золота в большинстве случаев не имеют практического значения. Для поисков россыпных и коренных месторождений золота интересны только повышенные количества его в шлихах. По внешнему виду его трудно спутать с каким-либо другим минералом.

Кристаллы золота в шлихах исключительно редки. Вблизи его коренных месторождений среди делювиальных и русловых отло-

жений иногда встречаются агрегаты так называемого «рудного золота», имеющие крючковидную, проволокообразную, почковидную форму («самородки» золота). Форма золотин изменяется по мере удаления от коренного источника (в результате невысокой твердости и ковкости) — это неправильные, искривленные, скрученные, лепешковидные, округлые, как бы оплавленные зерна, несущие

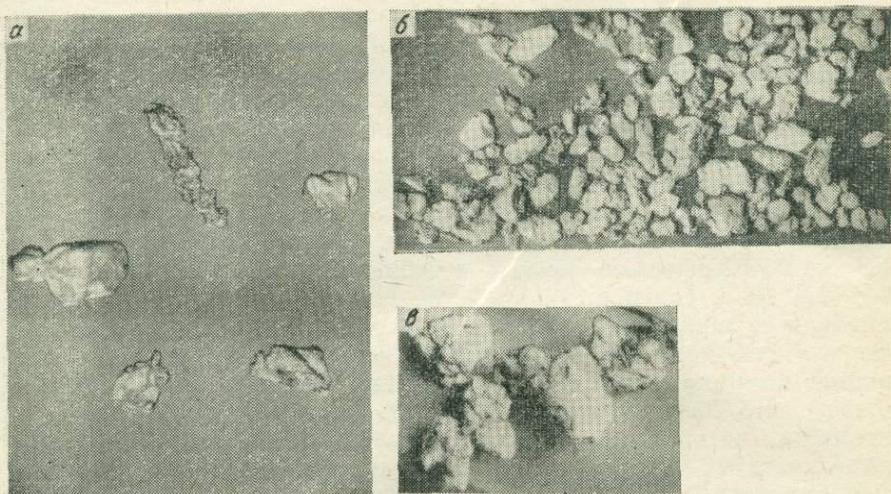


РИС. 24. ЗОЛОТО:

a — губчатое; *b* — далеко транспортированное; *c* — вблизи коренного месторождения

щие следы окатывания, с характерной ямчатой, бугристой и губчатой поверхностью (так называемый «пластовый» металл) (рис. 24). Одновременно с изменением формы золотин меняется и их состав: по мере удаления от коренного источника пробность золота * увеличивается за счет выщелачивания примесей. Наиболее далеко транспортируется золото в виде тонких листочек, чешуек — «косовый» металл, «плавучее» золото; при этом оно почти не окатывается и сохраняет свою первоначальную форму. Цвет золота зависит от его состава — от медно-красного для высоко-пробного золота до светло-желтого для серебристого золота. Примеси меди придают золоту зеленоватый оттенок. Твердость 2,0—2,5. Плотность 15,5—19,3. Спайности нет. Излом крючковатый. При надавливании стеклом золото легко расплощивается вследствие большой ковкости. Иногда золото содержит примеси железа, и тогда зерна его покрываются с поверхности тонкими пленками окислов или гидроокислов железа, принимают ржаво-бурый цвет и приобретают слабые магнитные свойства. В связи с этим подобное золото может выделяться в слабомагнитную фракцию.

* Содержание золота на 1000 весовых частей природного металла.

Определение золота никогда не представляет трудностей и не вызывает сомнений. Правильность определения золота проверяется воздействием на него кислот. Концентрированные кислоты на золото не действуют; при нагревании оно растворимо в царской водке. Травится и растворяется KCN. Дает микрохимическую реакцию на Au — кассиев пурпур.

Марказит — FeS_2 в шлихах весьма редок и встречается поблизости от коренных рудных месторождений совместно с другими сульфидами. Чаще всего это обломки кристаллических сростков или комковатые агрегаты колломорфного сложения, обнаруживающие при раздавливании радиально-лучистое строение. Реже встречаются удлиненно-призматические, шестоватые кристаллы марказита, срастающиеся в характерные гребенчатые двойники. Цвет марказита в свежем состоянии латунно-желтый с зеленовым оттенком, в случае окисленных разностей — желтовато-серый, серый, темный. Блеск металлический, тусклый. Черта зеленовато-черная. Твердость 5,5—6,0, хрупок. Излом неровный, раковистый, занозистый. Спайности нет. Плотность 4,8—4,9. По внешнему виду марказит близок к пириту, отличается от него по оптическим константам при исследовании в отраженном свете цементных полированных шлифов.

Пирит — FeS_2 встречается в россыпях наиболее часто (из сульфидов), но редко представляет практический интерес. Интересны только шлихи, содержащие свежие неизмененные и неокатанные зерна в большом количестве. Пирит определяется в шлихах очень легко — по хорошо сохранившимся кристаллам в виде кубов или пентагон-додекаэдров с характерной штриховкой. Вследствие химической неустойчивости в поверхностных условиях эти кристаллы практически представляют собой псевдоморфозы лимонита и лишь в их центральных частях сохраняются реликты пирита. Часто в шлихах наблюдается пирит в остроугольных осколках, неправильных, слегка окатанных зернах или в тонкозернистых сростках и агрегатах, обнаруживающих на изломе лучистое строение. Цвет пирита латунно-желтый, окисленные разности представляют собой псевдоморфозы гематита или лимонита и имеют рыжевато-коричневый цвет (такой пирит нередко приобретает магнитные свойства и попадает в электромагнитные фракции). Черта пирита черная, зеленовато-черная, серовато-черная, а у окисленных разностей вишнево-красная или охристая. Твердость 6,0—6,5, у окисленных разностей снижается до 4. Хрупок. Спайности нет, излом раковистый. От сходных по внешнему виду минералов (халькопирита) отличается высокой твердостью, формой кристаллов, цветом минерала и черты. Проверяется диагностика пирита по микрохимическим реакциям на серу и железо.

Халькопирит — $CuFeS_2$ в шлихах очень редок, так как физико-химически неустойчив и встречается только в элювиальных и делювиальных отложениях вблизи коренных месторождений. В аллювии быстро исчезает. В связи с этим зерна его, как правило,

угловаты. Халькопирит в шлихах интересен при поисках коренных месторождений цветных металлов.

По внешнему облику халькопирит диагностируется легко, хотя и похож на пирит и другие минералы. Цвет яркий латунно-желтый с зеленоватым оттенком и характерной золотистой или пестрой побежалостью, образующейся при окислении его зерен. Чета зеленовато-черная, сажистая. Блеск металлический. Твердость 3,5—4,0. Плотность 4,1—4,3. От похожих на него минералов — пирита, пентландита и других — халькопирит отличается меньшей твердостью и микрохимической реакцией на медь. При проведении реакции на медь следует помнить, что халькопирит растворяется с большим трудом, поэтому его растворяют в течение 3—5 мин в концентрированной HNO_3 при подогревании. М. Н. Чуева (1950) предлагает простую и типичную пленочную реакцию для диагностики халькопирита: зерно минерала помещают на кусочек гранулированного цинка и смачивают каплей концентрированной HCl , при этом халькопирит, в отличие от других минералов, покрывается шоколадно-коричневой пленкой.

Галенит — PbS встречается в шлихах не очень часто и в основном только в непосредственной близости от его коренных месторождений. Большой практический интерес (с точки зрения поисков коренных полиметаллических месторождений) представляют участки аллювиальных отложений, а также делювия и элювия с повышенным содержанием галенита. Зерна галенита, как правило, изометричные, угловатые с характерным ступенчатым изломом благодаря весьма совершенной спайности по кубу; не имеют окатанных форм, так как при истирании в поверхностных отложениях они просто разламываются по спайности. Цвет галенита темный свинцово-серый, темно-серый, при искусственном свете нередко даже кажется черным. Иногда на плоскостях спайности наблюдается иризация в фиолетово-синих тонах. Чета черная. Блеск яркий металлический, но у окисленных разностей галенита, покрытых тонкими рубашками англезита или церуссита, тусклый, матовый. Твердость 2—2,5. Плотность 7,4—7,6. По внешнему виду галенит настолько типичен, что его трудно спутать с каким-либо другим минералом. Однако в измененных зернах он может быть близок к висмутину, антимониту, шмальтину и другим сульфидам. Проверяется диагностика галенита по микрохимической реакции на свинец. Наиболее трудно диагностируются сильно окисленные зерна галенита, покрытые толстой рубашкой беловато-серого церуссита, реже англезита. Однако церуссит легко устанавливается по серо-голубому свечению в катодных лучах, а при раздавливании его зерен в центральных частях легко удается наблюдать остатки зерен галенита с характерным ярким металлическим блеском и свинцово-серым цветом.

Молибденит — MoS_2 встречается в шлихах в пределах рудных районов обычно в непосредственной близости от его коренных источников, хотя мелкие чешуйки молибденита могут переноситься

потоками и достаточно далеко. Обычно это неправильной формы изогнутые, зазубренные по краям чешуйки. Поверхность чешуек неровная, ямчатая, листовато-ступенчатая. Чаще всего листочки молибденита покрыты по плоскостям спайности тонкими налетами вторичных продуктов — повеллита или различных молибденовых охр. Поэтому темный голубовато-серый цвет и яркий металлический блеск молибденита несколько маскируются (присутствие на молибдените тонких пленок повеллита легко устанавливается по его яркой зеленовато-желтой люминесценции в ультрафиолетовых лучах). Твердость 1, молибденит хорошо пишет на бумаге, оставляя голубовато-серую блестящую черту. Плотность 4,3—4,8. Спайность весьма совершенная по базопинакоиду, вследствие чего на ощупь молибденит кажется жирным. Благодаря совершенной спайности и низкой твердости молибденит легко расщепляется на гибкие листочки. При раздавливании зерна молибденита расплощиваются в тонкие листоватые пластинки. Проверяется молибденит по микрохимической реакции на молибден. Следует помнить, что молибденит на холода плохо растворяется в крепких кислотах, поэтому растворение лучше проводить при нагревании в концентрированных кислотах или царской водке; иногда удобно применять сплавление с Na_2CO_3 или KHSO_4 .

По внешнему виду молибденит похож только на графит, но последний в шлихах крайне редок и обладает значительно меньшей плотностью, а потому входит в состав легкой фракции.

Кассiterит — SnO_2 довольно часто встречается в шлихах. В районах развития лейкократовых и аляскитовых гранитов, являющихся оловоносными, рыхлые отложения различных генетических типов нередко повсеместно «заражены» кассiterитом. Создается как бы кассiterитовый «фон» — почти в каждом шлихе обнаруживается одно-два зерна кассiterита. Наибольший практический интерес представляют районы с резко повышенными концентрациями кассiterита (при поисках россыпных и коренных месторождений олова).

Диагностика кассiterита в ряде случаев затруднительна. Обычно он встречается в виде неправильных, угловатых или довольно хорошо окатанных зерен. Кристаллы кассiterита нередко хорошо сохраняются и имеют вид тетрагональных укороченных призм с хорошо развитыми головками и грубой вертикальной штриховкой на гранях призмы. Реже наблюдаются тонкопризматические или бипирамидальные кристаллы. Бипирамидальные кассiterиты наиболее высокотемпературны (встречаются в пегматитах); толстопризматические характерны для кварц-кассiterитовой формации; длиннопризматические, богатые гранями головки, типичны для средне- и низкотемпературных месторождений кассiterито-сульфидной формации. Нередко встречаются очень характерные для кассiterита коленчатые двойники или даже тройники, в которых главные оси расположены под углом 90° и более (рис. 25). Двойниковое строение подобных строствков подчеркивается взаимо-

пересекающейся штриховкой. Иногда в шлихах встречается касситерит гранёно-девионный, почковидный радиально-лучистого строения с концентрически-полосчатой структурой. Подобная разновидность касситерита называется деревянистым оловом. Окраска касситерита очень разнообразна: от светло-буровой или янтарно-желтой для чистых разностей через бурую и винно-красную до темно-коричневой или чёрной для наиболее железистых касситерит-

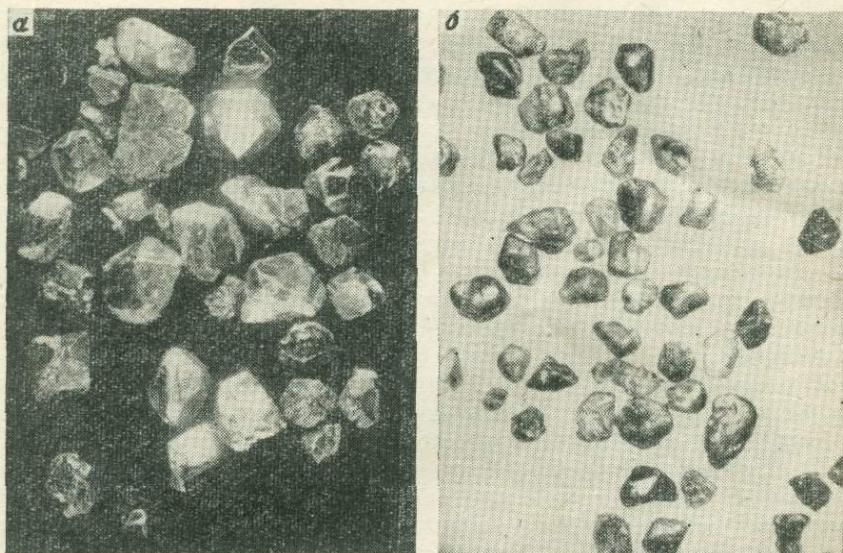


РИС. 25. КАССИТЕРИТ:

а — короткопризматические, бипирамидальные кристаллы; *б* — окатанные зерна.

тов. Последние нередко обнаруживают слабые магнитные свойства и попадают при разделении шлиха в электромагнитную фракцию. Характерно, что в пределах одного зерна окраска распределяется зонально, неравномерно, пятнисто и удается наблюдать участки, окрашенные в разные цвета. Чертеж у темноокрашенных разностей светло-бурая, у светлых — бесцветная. Блеск стеклянный, у темноокрашенных разностей — алмазный, на изломе жирный, на гранях — металловидный. Спайность не наблюдается. Излом неровный. Минерал хрупкий. Твердость 6—7. Плотность 6,8—7,1, у деревянистого олова — 6,2—6,6.

По внешнему облику касситерит исключительно разнообразен, поэтому его трудно диагностировать и легко пропустить в шлихах. Он весьма близок внешне к рутилу и циркону, а иногда похож на монацит, сфен и некоторые тантало-ниобаты. Единственно надежный способ выявления и определения касситерита в шлихах — проведение пленочной реакции на «оловянное зеркало». По этой ре-

акции касситерит легко отличим от всех похожих на него минералов. Однако надо помнить, что сильно железистые, черные разности касситерита плохо растворимы в кислотах, а поэтому реакцию на «оловянное зеркало» дают с трудом. Кроме того, касситерит хорошо диагностируется по оптическим константам. В иммерсионном препарате темные разности касситерита окрашены в розовато-бурые, коричневатые тона и отчетливо плеохроируют; светлые касситериты в препаратах бесцветны. Касситерит имеет высокие показатели преломления ($No=2,093$; $Ne=1,997$), исключительно высокий рельеф и резкую шагреневую поверхность. Двупреломление у касситерита высокое [$No-Ne=0,097$], но более низкое, чем у сходного с ним рутила, поэтому порядок интерференционных окрасок касситерита ниже. Нередко в темных железистых касситеритах интерференционная окраска маскируется окраской самого минерала и более отчетливо видна при подсвечивании линзой Лазо. Минерал одноосный, положительный; в темноокрашенных зернах — аномально двуосный.

Перовскит — CaTiO_3 довольно распространен в шлихах из районов развития ультраосновных и щелочных пород, но из-за сходства с другими минералами выявляется с трудом и часто пропускается. Е. В. Копченова (1951) указывает, что перовскит типичен в шлихах для районов развития алмазоносных россыпей. В шлихах обычно сохраняются слабоокатанные кристаллы в виде кубов и октаэдров со скругленными вершинами. На гранях куба различима тонкая штриховка, видны отпечатки других минералов, бывших в срастании с перовскитом, или фигуры вытравливания. Характерны также зерна неправильной формы, остроугольные, слабоокатанные (хорошо окатанные зерна перовскита очень редки). Цвет железно-черный, коричневато-черный, в тонких осколках красновато-бурый. Иногда бывает покрыт пленками белесовато-желтых землистых вторичных продуктов (чаще всего лейкоксена). Чешуя пепельно-серая. Спайность по кубу (100) заметная. Излом неровный. Твердость 5—6. Плотность 3,4—4,0. Блеск металловидный, алмазный. В иммерсионных препаратах прозрачен и окрашен в бурые и желтые тона. Оптически изотропен, часто аномально анизотропен, имеет высокий показатель преломления (2,35). Внешне близок к торианиту и хромшпинелидам. Диагностируется в основном по форме зерен, черному цвету и оптическим свойствам. Химически определяется по реакции на титан.

Пирохлор — $[(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Ce}, \text{Fe}, \text{U}, \text{To})_2](\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6(\text{F}, \text{OH})$ это сложный титано-ниобат кальция, содержащий редкоземельные элементы группы церия. В шлихах встречается редко, так как генетически связан с малораспространенными редкоземельными пегматитами и карбонатитами. В поверхностных условиях неустойчив, а потому при транспортировке легко рассеивается среди обломочных пород.

В шлихах присутствует чаще в виде октаэдрических кристаллов или их осколков; реже отмечаются неправильные, угловатые зерна,

покрытые корочками вторичных продуктов. Границы кристаллов пирохлора обычно неровные, ямчатые, корродированные (рис. 26). Вследствие метамиктного распада зерна пирохлора теряют свою прозрачность и имеют неоднородный, пятнистый характер. Цвет меняется от буровато-желтого и светло-бурового до буровато-коричневого, красно-коричневого и темного почти черного. Черта бес-



РИС. 26. ПИРОХЛОР. ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ

цветная, у темных разностей светло-бурая. Спайность под бинокуляром не наблюдается. Хрупок. Излом неровный, раковистый. Твердость 5—6. Плотность 4,2—5,4. Блеск металловидный у темноокрашенных разностей и смолистый, жирный у светлых пирохлоров. В иммерсионных препаратах прозрачен, окрашен в слабые желтовато-буроватые цвета. Изотропен, но часто расположенные его разности аномально анизотропны. Показатель преломления высокий (1,96—2,19). От сфена, циркона, монацита и бурого граната отличается по микрохимическим реакциям на ниобий и титан, оптическим свойствам, характеру блеска и спайности.

Рутил — TiO_2 встречается практически почти в каждом шлихе и является обычным минералом тяжелой фракции, но количество его невелико. Однако в районах развития метаморфических сланцев и филлитов количество рутила в шлихах возрастает и он даже преобладает.

Диагностика рутила относительно проста. Очень характерны тонкопризматические или даже игольчатые кристаллы рутила с тонкой вертикальной штриховкой на гранях призмы. Головки кристаллов в шлихах сохраняются редко. Обломки зерен рутила обычно хорошо окатаны и имеют округлую, овальную или палочковидную форму. Реже наблюдаются угловатые, неправильные зерна. Для рутила, так же как и для кассiterита, характерны

коленчатые двойники с типичной штриховкой на разных индивидуумах, сходящейся под тупым углом. Цвет рутила довольно разнообразен — от светло-бурового через буровато-красный и винно-красный до темно-коричневого и даже черного. Наиболее часты красные тона. По окраске рутил близок к кассiterиту, но отличается от него равномерным распределением цветов в пределах одного зерна. Блеск сильный стеклянный, алмазный, а у темноокрашенных разностей — металловидный с синеватой побежалостью, напоминающей вороненую сталь. Черта бесцветная и только у черных рутилов иногда удается получить светло-бурую черту. Твердость 6, хрупок, раздавливается с трудом. Плотность 4,1—5,2. Слайдность по (110) ясная, но под бинокуляром почти не различима. Излом неровный. По внешнему виду и оптическим свойствам рутил очень похож на кассiterит, отличается от него только по положительной микрохимической реакции на титан и отрицательной реакции на оловянное зеркало. Рутил похож также на циркон, брукит, сфен, самарскит, ортит, но легко отличается от последних по оптическим константам.

В иммерсионных препаратах рутил бесцветен и только темноокрашенные разности обнаруживают слабую красновато-буроватую окраску и плеохроизм. Вследствие чрезвычайно высоких показателей преломления мелкие осколки зерен рутила кажутся нередко даже непрозрачными за счет очень резко проявленной шагреневой поверхности. $Ne=2,90$, $No=2,61$, $Ne-No=0,29$, благодаря чему наблюдается белая интерференционная окраска высшего порядка; у темноокрашенных рутилов она маскируется окраской самого минерала и более отчетливо различима при подсвечивании препарата линзой Лазо. Минерал оптически одноосный, положительный.

Алмаз в шлихах очень редок и даже единичные его находки представляют огромный поисковый интерес. Характерные типоморфные спутники алмазов в шлихах — зеленый хромдиопсид и кроваво-красный пироп. Поэтому эти минералы в шлихах представляют большой поисковый интерес. При поисках месторождений алмазов широко используется люминесцентный метод, с помощью которого надежно и вполне обоснованно можно говорить о наличии или отсутствии в шлихах алмазов.

Форма алмазов в шлихах разнообразна: это кристаллы или их обломки, сростки кристаллов сложной формы и агрегаты. Октаэдрические или ромбододекаэдрические кристаллы алмаза имеют характерную округлую форму и выпуклые штрихованные грани. Часто наблюдаются зернистые сростки алмаза: балласы — шаровидные радиально-лучистые; борты — темноокрашенные неправильные агрегаты; карбонадо — плотные черные скрытокристаллические или пористые, шлакоподобные массы. Осколки кристаллов или сростков алмаза в разной степени окатаны в зависимости от длительности транспортировки и интенсивности механического воздействия. При этом на зернах алмазов наряду со скругленны-

ми, сглаженными формами появляются трещинки, выбоинки, большое количество царапин и возникают келифитовые оболочки*. Цвет алмазов весьма различный; чаще они бесцветны или окрашены в светлые желтые, розовые и голубые тона; реже наблюдаются плохо прозрачные темные до черных алмазы — последние диагностируются наиболее трудно. Твердость 10. Плотность 3,2—3,5. Черты не дает. Блеск чрезвычайно сильный, алмазный, не имеющий себе подобного, для зернистых агрегатов — жирный. Отметим, что в воде алмаз сохраняет, в отличие от других прозрачных бесцветных минералов, свой исключительный блеск и игру цветов. Спайность по (111) совершенная, но наблюдается не всегда. Излом неровный. Минерал хрупкий, но раздавливается с большим трудом и с очень резким хрустящим звуком. Наиболее надежно алмаз определяется по яркой голубой, реже белой или желтой люминесценции в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. Темные разности алмазов имеют оранжевую или красную люминесценцию. Алмаз изотропен, но часто обнаруживает аномальную анизотропию, имеет очень высокий показатель преломления (2,41—2,48). По внешнему виду алмаз похож на прозрачные минералы — шпинель, клейофан, анатаз, циркон, корунд и др., но отличается от них исключительно высокой твердостью, свечением в коротковолновом излучении, характерным блеском и оптическими константами.

Топаз встречается в шлихах не очень часто, но наряду с флюоритом и бериллом является характерным парагенетическим спутником таких промышленно важных рудных минералов, как кассiterит, вольфрамит и иногда шеелит. Поэтому шлихи, содержащие топаз, имеют поисковое значение на указанные выше рудные минералы.

Диагностируется топаз с трудом ввиду того, что внешне похож на многие прозрачные бесцветные или слабоокрашенные минералы. Зерна топаза обычно плохо окатаны и имеют неправильную угловатую, остроугольную форму. Иногда сохраняются удлиненные призматические кристаллы с тонкой вертикальной штриховкой на гранях призмы. Топаз чаще всего бесцветен, реже наблюдаются светлые голубоватые, желтоватые и розоватые тона. Спайность в одном направлении по (001), но наблюдается не всегда. Благодаря хорошей спайности осколки его удлиненные, пластинчатые с ровными ограничениями. Твердость высокая — 8. Плотность 3,4—3,6. Минерал хрупкий, излом неровный раковистый, иногда ступенчатый. Блеск сильный стеклянный, у окатанных зерен — матовый. Определяется топаз в основном по оптическим константам (легко отличается от кварца, барита, апатита, шпинели и др.).

В иммерсионных препаратах топаз прозрачен, бесцветен, имеет высокий рельеф и отчетливую шагреневую поверхность. Показа-

* Тонкие поверхностные зоны радиально-лучистой структуры.

тели преломления топаза относительно высокие ($Ng = 1,618 - 1,638$; $Nm = 1,610 - 1,631$; $Np = 1,607 - 1,629$), двупреломление низкое ($Ng - Np = 0,008 - 0,010$), близкое к кварцу. По отношению к трещинам спайности угасание прямое. Удлинение (—). Минерал двуосный, положительный, $2V = (+) 50 - 70^\circ$. Некоторые разности топаза обнаруживают люминесценцию: в катодных лучах — кирпично-крас-

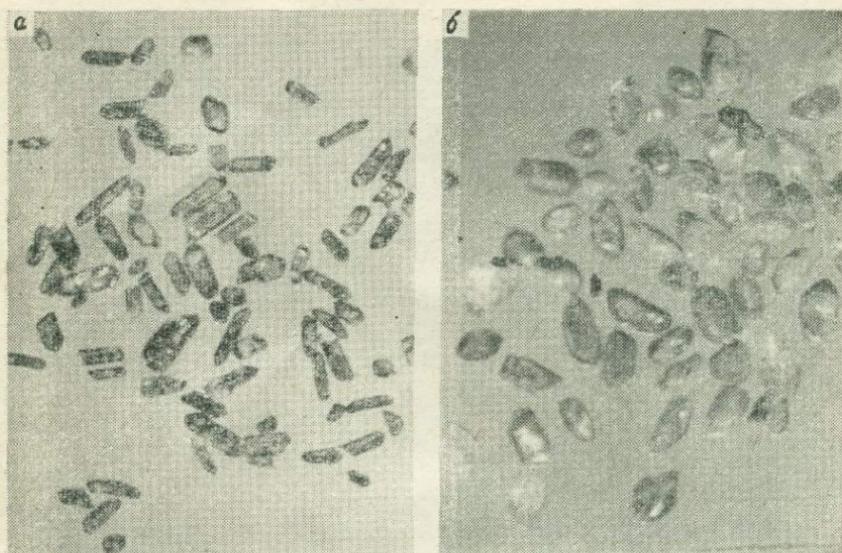


РИС. 27. ЦИРКОН:
а — кристаллы; б — окатанные зерна

ную или оранжевую, в ультрафиолетовых — зеленую, голубую или желтую.

Циркон — $ZrSiO_4$ обычный минерал шлихов, но редко представляет практический интерес. По внешнему виду циркон диагностируется легко. Вследствие большой устойчивости минерала в поверхностных условиях, в шлихах очень часто сохраняются правильно ограненные кристаллы циркона — тетрагональные призмы увенчанные на концах дипирамидой; реже наблюдаются более сложно построенные кристаллы, богатые гранями и имеющие бочонковидный или шаровидный облик и напоминающие по форме в отдельных случаях даже гранат. Окатанные зерна циркона имеют округлый, яйцевидный и палочкообразный облик (рис. 27). По кристаллам и по характеру окраски циркон в шлихах очень разнообразен. Наиболее обычен прозрачный, бесцветный или очень слабо окрашенный в розовые и желтоватые тона циркон. Его зерна обычно мало окатаны и хорошо сохраняют кристаллографическую огранку.

Часто встречается в шлихах разновидность циркона, обогащенная Hf, Ce, Y, выделяемая под названием малакона. Для него характерны окатанные зерна бурого, желто-коричневого и красно-бурового цвета. Окраска распределена неравномерно в пределах зерна, часто отмечаются белесые эмалеподобные участки. Малаконы обычно полупрозрачны за счет обильных продуктов метамиктного распада. В ультрафиолетовых лучах слабо люминесцирует. Значительно реже в шлихах отмечаются циртолиты, содержащие Hf, U, Th, Y. Обычно встречаются в виде обломков неправильной формы, иногда в виде дипирамидальных кристаллов. Цвет циртолита коричнево-бурый, бурый, желто-бурый; пятнистость окраски проявлена слабо. Также типичны продукты метамиктного распада, снижающие прозрачность зерна. В коротковолновом изучении не люминесцирует.

Циркон обладает очень ярким алмазным блеском, по которому хорошо выделяется среди других минералов тяжелой фракции. Малакон и циртолит имеют жирный, воскоподобный блеск. Спайность под бинокуляром не наблюдается. Циркон хрупок, раздавливается с трудом. Излом неровный. Твердость 7—8, у разложенных разностей снижается до 6. Плотность 4,0—4,8.

Наиболее легко и точно циркон определяется в шлихах и качественно и количественно по ярко-желтой или оранжевой люминесценции в ультрафиолетовых и катодных лучах*. Если нет возможности использовать коротковолновое излучение для диагностики циркона, то применяют иммерсионный метод. Циркон имеет высокие показатели преломления ($Ne=1,968-2,015$; $No=1,923-1,960$); двупреломление также очень высокое ($Ne-No=0,045-0,058$). Оптически одноосный, положительный. По оптическим константам циркон легко отличить от сходных минералов — ксенотима, рутила, кассiterита и др.

Апатит — $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ распространен в шлихах очень широко, но практического интереса не представляет. По внешнему виду определяется трудно из-за отсутствия характерных особенностей. Чаще наблюдаются мутноватые хорошо окатанные зерна округлой или неправильной формы; реже сохраняются обломки кристаллов в виде укороченных призм гексагонального сечения (рис. 28). На поверхности зерен апатита много мелких царапин и штрихов, придающих минералу мутный вид, а нередко наблюдаются следы растворения в виде ямок, пористости. Как правило, в шлихах апатит бесцветен или имеет молочно-белый цвет. Спайность не наблюдается, иногда отмечаются отдельности. Излом неровный, раковистый. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 5. Плотность 3,0—3,2. Наиболее часто апатит диагностируется в иммерсионных препаратах по оптическим константам. Апатит имеет довольно высокий

* Бурые полупрозрачные разности циркона не люминесцируют.

рельеф и отчетливую шагреневую поверхность ($No=1,633-1,668$, $Ne=1,630-1,664$), очень низкое двупреломление ($No-Ne=0,003-0,006$). Угасание прямое. Минерал одноосный, отрицательный; иногда аномально двуосен.

Апатит легко диагностируется только при наличии обломков кристаллов; в неправильных осколках зерен апатит похож на многие прозрачные бесцветные минералы (барит, топаз, ше-



РИС. 28. АПАТИТ

лит, флюорит) и определяется по микрохимической реакции на фосфор или по оптическим константам. Некоторые разности апатита обнаруживают люминесценцию под влиянием коротковолнового излучения. Цвет люминесценции апатита весьма различен (см. табл. 10).

Кианит встречается в шлихах достаточно часто, особенно в районах развития метаморфических пород, где иногда преобладает в тяжелой немагнитной фракции, но практического интереса не представляет. По внешнему виду под бинокуляром кианит определяется легко. Кристаллы кианита сохраняются в шлихах редко. Обычно это обломки плоско-призматических, дощатых кристаллов в разной степени окатанных. В зависимости от степени окатанности концы зерен кианита имеют или занозистый дощатый излом или округлены. Форма сильно окатанных зерен полочекобразная (рис. 29). Хорошо окатанные зерна киа-

анита мутноваты, имеют много царапин и трещинок. Окраска меняется от бесцветной через серую и голубую до черной*, причем центральные части зерна окрашены более интенсивно в голубой цвет, а периферические — нередко бесцветны. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Совершенная спайность по (100) и (010), четко наблюдается при раздавлива-

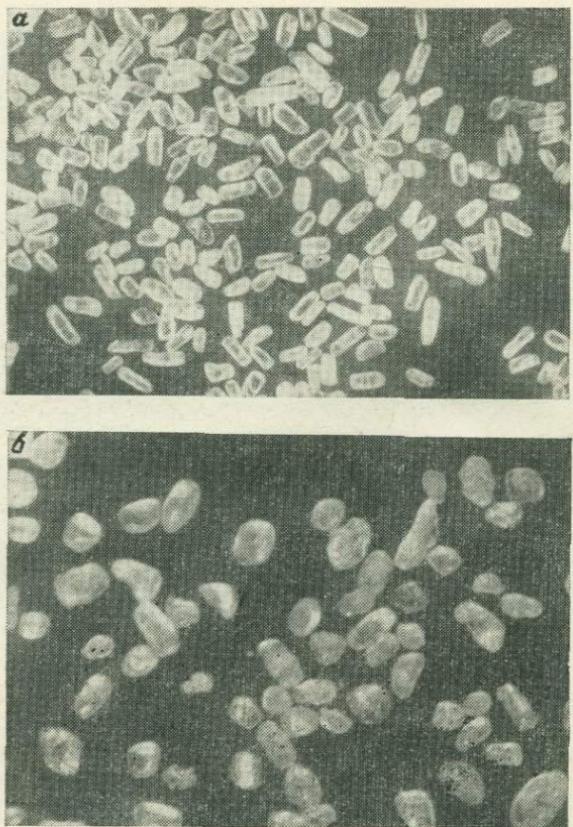


РИС. 29. КИАНИТ:
а — призматические кристаллы; б — окатанные зерна

нии зерен (образуются правильные прямоугольные осколки). Перпендикулярно удлинению наблюдается отдельность, в связи с чем плоскости спайности нередко имеют ступенчатый характер. Излом неровный, иногда занозистый. Твердость от 4 до 7 по разным кристаллографическим направлениям, но обычно 5—6.

* Черный цвет обусловлен наличием большого количества углистых включений в зернах кианита.

Плотность 3,6. По внешнему виду кианит близок к сподумену, силлиманиту, цоизиту, топазу, бариту, апатиту и андалузиту. Проверяется диагностика кианита в иммерсионных препаратах по оптическим константам. Минерал имеет высокий рельеф ($Ng=1,728$; $Nm=1,720$; $Np=1,712$); среднее двупреломление $Ng-Np=0,016$; $c: Ng=8-30^\circ$. Минерал оптически двухосный, отрицательный, $2V=(-)75-82^\circ$. Для окрашенных разностей характерен плеохроизм в фиолетово-синих тонах. В коротковолновом излучении люминесцирует в ярких красных тонах.

Тремолит для шлихов не типичен и практического интереса не представляет. Встречаются удлиненно-призматические кристаллы с обломанными концами с дощатым, занозистым изломом. Тремолит обычно бесцветен, иногда белого, серого и светло-зеленого цвета. Спайность по (110) совершенная, вследствие чего зерна тремолита при раздавливании рассыпаются на тонкие иголочки с зубчатыми концами. Твердость 5,0—5,5. Плотность 2,9—3,2. Блеск стеклянный, иногда перламутровый. По внешнему виду тремолит близок к волластониту, кианиту, силлиманиту и иногда к диопсиду от которых легко отличается по оптическим константам ($Ng=1,625-1,637$; $Nm=1,613-1,625$; $Np=1,599-1,611$; $Ng-Np=0,026-0,029$). Минерал оптически двухосный, отрицательный, $2V=(-)12-18^\circ$. Некоторые светлоокрашенные разности обнаруживают слабый плеохроизм. Иногда тремолит обнаруживает люминесценцию под влиянием коротковолнового излучения, что облегчает его диагностику. Цвет люминесценции желтый, красный, фиолетовый.

Барит — $BaSO_4$ распространен в рыхлых отложениях в различных количествах. Вблизи коренных рудных жил, несущих свинцово-цинковое, медное или золотое оруденение, в делювии и элювии отмечаются угловатые обломки его зерен. Барит присутствует в аллювии рек, прорезающих терригенные образования, где он играет роль породообразующего минерала (например, в красноцветных песчаниках Казахстана барит нередко находится в цементе), а в некоторых районах барит создает широкие ореолы в рыхлых отложениях разного генезиса.

Под бинокуляром барит определяется плохо, так как трудно отличим по внешнему виду от других минералов тяжелой фракции. Кристаллы барита сохраняются в шлихах редко. Это неправильные угловатые обломки зерен с хорошо прослеживающейся спайностью по (001) и (110). Иногда на зернах сохраняются следы окатывания — слаженно-угловатая форма и матированная поверхность. Минерал бесцветен, иногда белый, серый и голубоватый. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 3,0—3,5. Спайность совершенная; излом неровный, иногда ступенчатый. Барит очень хрупок, раздавливается на пластинчатые осколки. Плотность 4,3—4,6. От похожих минералов барит отличается в иммерсионных препаратах по оптическим константам. Минерал имеет относительно высокие показатели прелом-

ления ($Ng=1,648$; $Nm=1,637$; $Np=1,636$), благодаря чему хорошо наблюдается высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. Двупреломление низкое ($Ng-Np=0,012$) — характерны темносерые цвета интерференции более низкие, чем у кварца. По отношению к трещинам спайности угасание прямое. Минерал двусочный, положительный $2V=(+)^{37^\circ}$. По внешнему виду барит близок к карбонатам, апатиту, шеелиту, дистену и целестину, отличается от них по оптическим константам и по микрохимической реакции на барий и серу.

Флюорит — CaF_2 из-за небольшой твердости и совершенной спайности плохо сохраняется при транспортировке поверхностными потоками и поэтому в шлихах относительно редок. Однако вблизи коренных полиметаллических месторождений оловянного камня и вольфрамита появляются угловатые, почти не окатанные зерна флюорита. В связи с этим флюорит в шлихах может иметь поисковое значение при поисках на руды олова, вольфрама и цветных металлов.

По внешнему виду флюорит не очень типичен и поэтому в ряде случаев его диагностика затруднительна. Зерна флюорита имеют неправильную угловатую форму, причем характерны выколки по спайности (у флюорита хорошо наблюдается по (111) совершенная спайность). При транспортировке флюорит практически не окатывается, а дробится и постепенно рассеивается. Окраска флюорита различна: чаще он бесцветен или светло-розового и сиреневого цвета, реже встречаются густоокрашенные зерна темно-фиолетового и зеленого цвета. Характерно, что в пределах одного зерна окраска распределяется неравномерно, пятнисто, в результате чего удается наблюдать взаимные переходы разных тонов от наиболее интенсивных до бесцветных. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 4, при раздавливании рассыпается на правильные обломки, ограниченные плоскостями спайности. Плотность 3,1—3,2. Некоторые разности флюорита обнаруживают люминесценцию в коротковолновом излучении, что облегчает его диагностику. Люминесценция ярко-зеленая или тусклая фиолетовая. Кроме того, для флюорита характерна яркая зеленая термolumинесценция. Внешне флюорит, особенно его бесцветные разности, похож на шпинель, корунд, анатаз — минералы немагнитной тяжелой фракции, но легко отличим от них по твердости, люминесценции и оптическим свойствам. Флюорит изотропен и имеет очень низкий показатель преломления (1,434), в связи с чем хорошо наблюдается отрицательный рельеф.

Шеелит — CaWO_4 в шлихах довольно редок, хотя в районах развития гранитных интрузий наблюдается общее «заражение» шлихов шеелитом. Практический интерес представляют только повышенные концентрации шеелита. Шеелит не выносит длительной транспортировки поверхностными потоками (так как имеет хорошую спайность и среднюю твердость) и наличие его в шлихах свидетельствует о близости коренного месторождения.

По внешнему облику шеелит трудно отличим от других бесцветных или белых минералов тяжелой фракции (барита, апатита и др.), поэтому его можно пропустить в шлихах. Для точной диагностики шеелита применяют или люминесцентный анализ, или микрохимические исследования.

В шлихах шеелит встречается в слабоокатанных изометричных и неправильных зернах: бесцветных, белых, реже светло-желтых и светло-серых. Кристаллы шеелита в виде тетрагональных дипирамид очень редки. Обломки зерен шеелита нередко имеют льдистый облик из-за прозрачности, неровного, раковистого излома и жирного или шелковистого блеска, что отличает шеелит от похожих минералов. Спайность под бинокуляром наблюдается плохо по (111). Твердость 4,5. Плотность 5,8—6,0. В катодных и ультрафиолетовых лучах шеелит обнаруживает яркую люминесценцию, цвет которой зависит от состава примесей в нем: чистые шеелиты имеют яркую голубую люминесценцию, по мере увеличения содержания примесей молибдена люминесценция переходит в зеленую, желтую и белую. При люминесцентном анализе удается не только установить наличие в шлихах шеелита, но и определить его количественно. Если невозможно использовать люминесцентные установки, для диагностики шеелита применяют микрохимическую реакцию на вольфрам, причем нередко обрабатывают сразу весь шлих, чтобы установить общее количество его зерен. Иногда приходится использовать иммерсионные препараты, чтобы отличить шеелит от близких к нему минералов. Шеелит в препарате бесцветен, но благодаря высоким показаниям преломления имеет резкую шагреневую поверхность и кажется сероватым ($No=1,918-1,920$; $Ne=1,934-1,937$). Двупреломление достаточно низкое ($No-Ne=0,016-0,017$) и интерференционные окраски не выше желтых. Минерал одноосный, положительный.

Лейкоксен — $TiO_2 \cdot aq$ по составу является агрегатом тонкодисперсных рутила и анатаза и в шлихах присутствует как продукт поверхностных изменений главным образом ильменита, а также и других титановых минералов — брукита, анатаза, сфена. Лейкоксен в виде плотных, скрытокристаллических нередко землистых масс покрывает зерна титановых минералов тонкими пленками грязновато-белого цвета. Нередко только в центральных частях зерен удается обнаружить остатки первичных неизмененных зерен. Окатанные зерна лейкоксена, полностью заместившего эти минералы, обычно округлы шаровидны, с гладкой поверхностью, фарфоровидны. Реже встречаются неправильные, угловатые зерна собственно лейкоксена. Цвет белый, желтоватый, с белесым или грязноватым оттенком, реже серый, зеленоватый, буроватый. Блеск тусклый, матовый, жирный. Твердость 4—5. Излом раковистый, на изломе минерал эмалеподобный, плотный. Плотность 3,5—4,5. Наиболее легко лейкоксен диагностируется по микрохимической реакции на титан. Внешне похож на малакон, деревянистое олово, бадделеит, коллофан.

Андалузит — $\text{AlOAl}[\text{SiO}_4]$ редко встречается в шлихах; типичен для районов развития кристаллических сланцев и других метаморфических пород. Практического интереса в шлихах не представляет. Зерна андалузита из-за высокой твердости неправильной формы, слабо окатаны, иногда сохраняются кристаллы призматического облика. Окраска зависит от примесей или вторичных продуктов: чистые разности андалузита бесцветны или окрашены в светлые, желтые, зеленоватые и розовые тона. По мере увеличения примесей андалузит теряет прозрачность и приобретает более густую окраску вплоть до темно-серой и темно-буровой у андалузитов, содержащих обильные углистые включения или сильно разрушенных. Блеск стеклянный. Спайность по (110) наблюдается хорошо. Излом неровный. Хрупок, раздавливается с трудом. Твердость около 7, у измененных разностей несколько снижается. Плотность 3,1—3,2. По внешнему виду андалузит диагностируется трудно, поэтому обычно определяется в иммерсионных препаратах. У андалузита относительно высокие показатели преломления и хорошо наблюдается шагреневая поверхность ($Ng = 1,642—1,647$; $Nm = 1,638—1,644$; $Np = 1,631—1,640$). Двупреломление очень небольшое ($Ng - Np = 0,007—0,011$) — наблюдаются низкие, иногда аномальные цвета интерференции. Оптически двуосный, отрицательный, $2V = (-)75—85^\circ$. Для окрашенного андалузита характерен резкий плеохроизм в буровато-розовых или красных тонах, по которому он легко отличим от оптически близких к нему минералов. Угасание по отношению к удлинению прямое, удлинение (-).

Киноварь — HgS , несмотря на небольшую физическую стойкость, довольно часто сохраняется в шлихах. В районах развития известняков и эфузивов среднего и основного состава киноварь в единичных зернах встречается в шлихах более или менее часто, но, как правило, не представляет практического интереса, так как в коренных породах она находится в рассеянном состоянии и не дает промышленных скоплений. Однако в непосредственной близости от крупных коренных месторождений в шлихах появляются в значительных количествах угловатые неокатанные зерна киновари и подобные шлихи имеют большое поисковое значение. В заметных количествах киноварь наблюдается в областях молодой вулканической деятельности. Вблизи коренных месторождений при благоприятной обстановке располагаются даже некрупные россыпи киновари, но в связи с ее механической неустойчивостью, содержание киновари в них быстро падает по мере удаления от коренного источника.

Диагностика киновари в шлихах не вызывает затруднений — этот минерал весьма типичен по внешнему виду. Киноварь выделяется своим ярким алым цветом и сильным алмазным блеском. Зерна киновари в шлихах угловатые, оскольчатые, иногда наблюдаются слабые следы окатывания — форма зерен слегка сглаженная, поверхность их шероховатая ямчатая; совершенная спай-

ность по [1010] наблюдается хорошо. Иногда в шлихах сохраняются звездчатые агрегаты — двойники или правильные игольчатые кристаллы (рис. 30).

В некоторых районах киноварь имеет вид агрегатов тонкозернистого, скрытокристаллического сложения. Цвет киновари красный, алый, коричневато-красный, красно-бурый, темный черно-

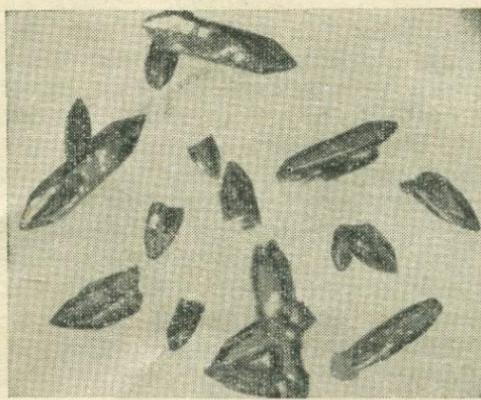


РИС. 30. КИНОВАРЬ. ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ

вато-красный. Чета красная. Блеск на плоскостях спайности сильный алмазный, металловидный, на изломе — жирный. Твердость 2,0—2,5. Вследствие совершенной спайности и низкой твердости легко раздавливается, рассыпаясь на правильные осколки. Глубина 8,1—8,2. Некоторые землистые разности киноварирудно отличимы от гематита и куприта, но такая киноварь легко диагностируется по микрохимической реакции на ртуть. В иммер-

ции прозрачна. Оптически одноосна, положительна. Обладает очень высокими показателями преломления ($Ne=3,272$, $No=2,913$, $Ne-No=0,359$).

Анатаз — TiO_2 сохраняется в шлихах хорошо благодаря большой физической стойкости, но практического интереса не представляет. В шлихах наиболее часто сохраняются правильные остроди-пирамидальные кристаллы анатаза с характерной штриховкой на гранях дипирамиды. По таким характерным кристаллам анатаз может быть определен безошибочно. Реже встречаются таблитчатые кристаллы. Обломки зерен анатаза остроугольны, мало окатаны, поверхность их неровная, ямчатая, шероховатая. Цвет серовато-голубой, голубой до синего, реже желтый, желто-бурый и буро-коричневый. Блеск алмазный, на гранях темноокрашенных кристаллов металловидный. Спайность по (001) и (111) совершенная, но под бинокуляром наблюдается не всегда. Твердость около 6. Излом неровный ступенчатый. Плотность 3,8—3,9. В неправильных осколках зерен анатаз легко отличается от похожих на него шпинели, корунда, рутила по оптическим константам. Показатели преломления у анатаза очень высокие ($No=2,534$ — $2,564$; $Ne=2,489$ — $2,497$); двупреломление также чрезвычайно высокое ($No-Ne=0,038$ — $0,073$), поэтому наблюдаются белые цвета интерференции высших порядков. Минерал оптически одноосный, отрицательный, с прямым угасанием и слабым плеохроизмом в синевато-желтоватых тонах. Иногда диагностика анатаза проверяется также по микрохимической реакции на титан.

ГЛАВА 4

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ШЛИХОВ

Минералогический анализ шлиха выполняется различно в зависимости от целей, стоящих перед исследователями. При среднемасштабных поисково-съемочных работах отбирается значительное число шлиховых проб, которые подвергаются полному анализу, т. е. диагностируются все присутствующие в шлихе минералы, но в пределах отдельных групп (например, определяется принадлежность минерала к группе гранатов или амфиболов без точной диагностики минеральных видов). Это дает возможность выявить характерные для региона минеральные ассоциации шлихов и установить проявления рудной минерализации. В отдельных случаях производят более подробное определение минералов.

Крупномасштабные поиски, поисковая разведка нередко сопровождаются изучением разведочных проб и продуктов обогащения и не требуют подробного минералогического исследования каждого шлиха. В этом случае проводятся неполные анализы шлихов: определяют полезные компоненты и характерные типоморфные спутники (пироп, турмалин, флюорит, хромит и др.).

Выявляют распространенность на площади перспективных ореолов полезных компонентов; вырисовываются детали их внутреннего строения. Небольшая часть опорных проб анализируется полностью.

При тематических исследованиях — корреляции отложений, расчленении петрографических разностей, выделении рудоносных комплексов и т. д. — выполняются детальные минералогические анализы, т. е. определяются все присутствующие минералы вплоть до минеральных видов и дается подробное описание их. В результате устанавливаются определенные минеральные ассоциации, характерные особенности отдельных минералов, указывающие на условия их образования, что и используется для дальнейших поисков и перспективной оценки района.

Для решения перечисленных задач недостаточно только установить минеральный состав шлихов, но важно выявить и количественные закономерности изменения отдельных минералов в шлихах. Для этого выполняют различные количественные анализы. В. А. Новиков (1970) предлагает три типа количественных анализов: полукаличественные визуальные, полукаличественные с повышенной точностью и количественные.

ПОЛУКАЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Полукаличественные анализы применяются при геологосъемочных работах без ориентации на поиски определенных полезных минералов и предусматривают наиболее простую схему фракционирования. Содержания минералов определяют визуально (содержание какого-либо минерала в процентах на фракцию). При достаточном навыке подобные определения не вызывают затруднений у минералога. Однако полезно использовать специально изготовленные количественные эталоны, где задано определенное процентное содержание какого-либо минерала. Сравнивая частоту встречаемости заданного минерала в эталоне с частотой встречаемости анализируемого минерала во фракции шлиха, определяют его процентное содержание. Результаты анализа выражают в процентах на фракцию, содержащую исследуемый минерал. При очень небольшом количестве зерен анализируемого минерала (когда их количество невозможно выразить в процентах) их содержание представляют в числе зерен.

Точность визуальных определений невелика и зависит от опыта и индивидуальных особенностей минералога. Средняя абсолютная ошибка около 5 %. Ошибки при визуальном анализе возникают по ряду причин. А. А. Кухаренко (1957 г.) отмечает, что на точности определений оказывается избирательная чувствительность глаза к определенным цветам: так на фоне черных или бледноокрашенных минералов содержание красных, коричневых или зеленых минералов завышается. В. А. Новиков (1970) подчеркивает, что влияет также ряд других особенностей минералов.

При резком различии размеров зерен минералов во фракции точность определений снижается; ошибка возрастает для более мелких зерен. Пластинчатые и листоватые формы зерен минералов способствуют повышенной оценке их содержания; матовые зерна получают пониженную оценку по сравнению с блестящими зернами.

ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Анализ применяется при поисковых работах на определенные полезные минералы — золото, tantalо-ниобаты, кассiterит и др. С помощью более дробного фракционирования полезные минералы концентрируются либо в чистые фракции, либо существенно обогащаются в какой-либо определенной фракции. Для этого применяют дополнительную электромагнитную или электрическую сепарацию, отмывку в тяжелых жидкостях большей плотности; проводят предварительное прокаливание пробы с последующей ее обработкой ручным магнитом или дробный рассев на мелких ситах.

Количественное определение может быть выполнено визуально или методом подсчета зерен на единице площади. Точность визуального определения в данном случае возрастает, так как дополнительное фракционирование ведет к концентрации полезных минералов или индикаторных их спутников в отдельной фракции.

Более точные результаты можно получить, выполняя подсчеты зерен на единицу площади. Для этого фракцию, содержащую анализируемый минерал, рассыпают на стекле равномерным слоем в одно зерно и, вставив в одну из труб бинокулярного микроскопа специальный окуляр с сеточкой, производят подсчеты. В выделенной для анализа площади подсчитывают общее число зерен всех минералов и отдельно число зерен анализируемого минерала. Такие подсчеты производят в пяти-шести разных участках фракции и выводят среднее арифметическое. Затем рассчитывают в процентах содержание анализируемого минерала по отношению к общему числу зерен, принимаемому за 100 %.

Результаты анализа выражают в процентах на фракцию, а для рудных минералов — в весовых единицах ($\text{г}/\text{м}^3$ или $\text{г}/\text{т}$). Для последнего случая удобно использовать формулу:

$$x = \frac{P \cdot g \cdot C}{V \cdot p \cdot 100},$$

где P — масса шлиха, г;

p — масса навески для анализа, г;

g — масса фракции, содержащей исследуемый минерал, г;

C — вычисленное при анализе содержание исследуемого минерала во фракции, %;

V — исходный объем шлиховой пробы, промытой в лотке, м^3 .

Содержание полезного компонента по этой формуле будет получено в г/м³ (грамм полезного компонента в 1 м³ песков). Если необходимо выразить результаты анализа в г/т (грамм полезного компонента в 1 т песков), то можно использовать формулу:

$$x = \frac{P \cdot g \cdot C}{d \cdot V \cdot p \cdot 100},$$

где d — плотность рыхлых песчано-глинистых пород, поступающих в промывку*.

При этом методе точность анализа возрастает, но допускается ряд ошибок — не учитываются различия в размерности зерен и плотностях минералов. Расчет ведется как бы исходя из предположения, что все зерна во фракции имеют одинаковые размеры и плотности минералов равны. Ошибка анализа, выполняемого методом подсчета зерен на единицу площади, менее 5%.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Количественные анализы рекомендуют выполнять при исследовании разведочных, промышленных, товарных шлихов, концентратов технологических проб, продуктов обогащения, при изучении обогатимости россыпей и разработке схем обогащения. Для этого производится весьма дробное фракционирование шлихов, тщательный рассев шлиха на узкие классы на стандартной колонне **, многократное разделение магнитной части шлиха на электромагнитных (СИМ-1) и электрических сепараторах (ПС-1, ДСК), последовательное разделение немагнитной части шлиха в наборе тяжелых жидкостей. Этим достигается выделение мало-компонентных фракций с узкими физическими характеристиками и создается возможность изучения распределения полезного компонента по различным фракциям и классам. Выполняется количественный анализ различными способами.

Весовой метод. В результате мономинерального фракционирования выделяют исследуемый рудный минерал в отдельную фракцию (или ряд отдельных фракций по классам) и производят его точное взвешивание на аналитических или торзионных весах. Если чистую мономинеральную фракцию рудного минерала не удается получить с помощью приборов, производят ее ручную дочистку под бинокуляром. Получив истинную массу полезного компонента во фракции, пересчитывают ее на процентное содержание на фракцию и далее — в весовые единицы. Результаты полного анализа выражают в виде дроби — в числитеце указывают содержание полезного компонента в процентах на фракцию ***, а в

* При исследовании искусственных шлихов, полученных из протолочных проб, расчет следует вести исходя из средней плотности скальных пород.

** См. раздел «Подготовка шлихов к анализу».

*** При разделении шлиха на классы вычисляют содержание полезного компонента в процентах на содержащую его фракцию всей пробы.

знаменателе дают его содержание в пересчете на весовые единицы.

Подсчет зерен полезных компонентов в стандартном числе зерен фракции. Более точные данные по сравнению с ранее описанным методом подсчета зерен на единицу площади можно получить производя подсчеты в заранее определенном количестве зерен. От числа подсчитываемых зерен зависит точность определения. В. В. Коперина (1952 г.) показала, что для подобного подсчета достаточно 100—300 зерен, при этом точность подсчета составляет 1—2%. А. Б. Вистелиус (1951) рекомендует подсчитывать 400—500 зерен и обосновывает это математически. При этом он подчеркивает, что большое влияние на точность анализа оказывает метод отбора средней пробы. Среднюю пробу можно отбирать квартованием и методами вычерпывания и дорожки. Наиболее точен, по мнению Ю. А. Полканова (1963), метод дорожки. Для отбора средней пробы фракцию распределяют дорожкой на стекле и через равные интервалы кисточкой сметают материал на две стороны от нее (вверх и вниз от дорожки). Из получаемых двух частей фракции одну вновь сокращают аналогичным способом до получения нужной по количеству зерен пробы. Ю. А. Полканов рекомендует использовать для взятия средней пробы специальные гребенки из плотной рентгеновской иленки или тонкого оргстекла.

Наиболее точные результаты анализа можно получить при использовании для отбора средних проб микроделителей для малых навесок. Выделенную среднюю пробу распределяют на стекле в виде дорожки и по ее длине отсчитывают 300—500 зерен, а затем в них считают число зерен каждого минерала. Далее вычисляют процентное содержание минералов во фракции, их вес во фракции и полученные цифры пересчитывают на содержание минерала в весовых единицах в исходной пробе.

Применяя метод подсчета в стандартном числе зерен фракции, условно как бы допускают, что зерна разных минералов имеют равный объем. На самом деле в связи с различиями в средних размерах и форме зерен отдельных минералов этого нет. Как указывает В. А. Новиков (1970), это особенно характерно для пластинчатых, листоватых и длиннопризматических зерен. Он подчеркивает, что получаемые этим методом количественные соотношения между минералами можно успешно использовать для корреляции; содержания полезных компонентов этим методом надо определять очень осторожно.

ЧАСТЬ III

ШЛИХОВЫЕ КАРТЫ

Комплекс современных поисковых работ включает в себя ряд разнообразных исследований. Ведущим методом является геологическая съемка, которая определяет эпохи, благоприятные для рудообразования, выявляет рудолокализующие структуры, фации и части стратиграфического разреза. Проверка высказанных прогнозов производится путем применения различных видов опробования в сочетании их с аэрогеологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями, а также с использованием наземных горных работ и бурения. Заключительным этапом выполнения всех работ является оценка перспектив территории исследования, что отображается на серии поисковых карт. Шлиховые поиски дают очень ценный фактический материал для прогнозирования рудоносности территории и определения эффективного комплекса дальнейших поисковых работ. Поэтому в числе различных поисковых карт составляются шлиховые карты, на которых изображаются результаты шлихового опробования, оконтуриваются отдельные аномалии и намечаются перспективные участки. Основное назначение всех этих карт — дать наглядное представление о пространственном размещении в рыхлых отложениях различных генетических типов рудных минералов и их типоморфных спутников и выявить возможные связи их с коренными породами, т. е. наметить потенциальные коренные источники рудной минерализации. Обычно составляют карты трех основных типов — регистрационные, ореолов рассеяния и прогнозные. Регистрационные шлиховые карты — карты фактического материала, так как отображают фактический минеральный состав шлиховых и протолочных проб, отобранных в процессе поисковых работ. Первый этап обобщения фактического материала — составление карт ореолов рассеяния, где выделяются области с проявлениями рудной минерализации в рыхлых отложениях и коренных породах и в их пределах — наиболее высокоаномальные участки. Анализ карт ореолов рассеяния и сопоставление выявленных аномалий с геологическими особенностями территории лежит в основе составления прогнозных карт, завершающих все поисковые работы.

В зависимости от задач, стоящих перед поисковиками, и масштаба выполнения поисковых работ шлиховые карты состав-

ляются с разной степенью детальности. Мелкомасштабные поиски, как было указано, дают общую перспективную оценку района работ и в связи с этим они составляются менее детально, с известной степенью схематизации. Крупномасштабные поиски направлены на выявление первичной рудной минерализации и соответственно шлиховые карты этого масштаба должны подробно раскрывать особенности внутреннего строения аномалий и показывать связь их с коренными породами.

РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ШЛИХОВЫЕ КАРТЫ

На регистрационных шлиховых картах наносится весь фактический материал, собранный в процессе выполнения шлиховых поисков, на основании которого можно проводить дальнейшую интерпретацию. Мелкомасштабные шлиховые работы носят маршрутный характер и привязаны главным образом к гидрографической сети, поэтому основное внимание на картах уделяется нанесению результатов анализов шлихов. Крупномасштабные карты фактического материала составляются значительно более детально, так как сами поисковые работы ведутся площадным методом по значительно более сгущенной сети с использованием различных поисковых методов и преследуют цель не только выявления аномалий, но и расшифровки их внутреннего строения.

Топографическая основа обязательна для карт фактического материала, но дается в несколько облегченном виде. В случае сложного построенного рельефа горизонтали, отображающие особенности его строения, разрежаются, а в отдельных случаях могут быть даже опущены при обязательном сохранении всей гидрографической сети и основных тригонометрических пунктов.

Геологическая основа полностью заимствуется с геологической карты, но раскрашивается более бледными тонами по сравнению с последней. Специальными условными знаками выделяются возможные потенциально рудоносные магматические комплексы (интрузивные и вулканические), стратиграфические подразделения и литолого-фациальные особенности пород. Кроме того, обязательно наносят все прямые и косвенные поисковые признаки, которые удалось установить в процессе картирования. К последним относятся зоны развития гидротермально измененных пород, поля развития различных жил, области контактов интрузий с вмещающими породами и др. Если в процессе картирования удалось обнаружить непосредственные признаки выхода на дневную поверхность коренных рудных тел, то их обязательно фиксируют на карте. Указанные особенности геологического строения на карте фактического материала придают ей прогнозный характер.

Результаты шлихового опробования и минералогического анализа шлихов изображаются в виде небольших кру-

говых диаграмм с центром в месте взятия шлиховой пробы. Пустые шлихи, т. е. не содержащие рудных минералов, оставляются на картах в виде точек с номерами. Они обязательно наносятся на карты фактического материала, так как в противном случае может создаться впечатление, что отдельные участки гидрографической сети просто не опробовались. Отсутствие же признаков рудной минерализации в отдельных участках речных долин является важным моментом при поисках. Генетический тип отложений, подвергавшихся опробованию, отражается цветом и характером контурных линий круговых диаграмм: шлихи из аллювия — контурная линия сплошная черная; шлихи из делювия — контурная линия пунктирная черная или сплошная синяя; шлихи из элювия — контурная линия сплошная красная.

Рудные минералы группируются по промышленно интересным элементам, содержащимся в них, и изображаются на картах цветной окраской внутреннего поля круговой диаграммы. Цвета окраски более или менее стандартны и приводятся в табл. 17.

Таблица 17

Цветовые условные обозначения к регистрационным картам

Рудный элемент или минерал	Цвет раскраски
Алмаз	Ярко-красный
Вольфрам	Синий
Драгоценные камни	Темно-зеленый
Железо	Розовый
Золото	Желтый
Медь	Ярко-зеленый
Молибден	Сиреневый
Мышьяк	Голубовато-серый
Никель	Розовато-сиреневый
Олово	Коричневато-бурый
Платина	Черный
Редкие земли	Светло-серый
Ртуть	Кирпично-красный
Свинец	Голубой
Сурьма	Коричневый
Тантал, ниобий	Оранжевый
Титан	Лиловый
Хром	Желтовато-зеленый
Цинк	Желтовато-бурый

Если в шлихе встречается одновременно два-три рудных минерала, то каждому из них отводится часть круга в виде сектора, величина которого чисто условно относительно соответствует содержанию данного минерала в шлихе. Суммарное количественное содержание в шлихах рудных минералов отражается размером кружка диаграммы: чем богаче шлихи рудными минералами, тем крупнее рисуется его диаграмма. Выделяют низкие, средние и вы-

сокие содержания рудных минералов, которые соответственно изображают кружками диаметром 2, 4 и 6 мм. Диаграмма шлиха изображена на рис. 31, а. Шлих содержит шеелита 12 зерен, золота 4 знака, кассiterита 16 г/т.

Если масштабы карты не позволяют изобразить минеральный состав каждого шлиха отдельно, производится объединение проб, расположенных близко друг к другу. Объединение в группы производится или для пустых проб или для проб, содержащих рудные минералы. Для группы рудных шлихов дается одна сводная диаграмма, центр которой располагается в месте взятия наиболее богатой пробы; внутри диаграммы изображается суммарное содержание рудных минералов, обнаруженных в данной группе шлихов.

Прочие способы изображения минерального состава шлихов. Минеральный состав шлихов может быть изображен в виде диаграмм, разделенных на четыре квадранта, каждый из которых закрепляется за определенным рудным минералом. Величина закраски квадранта (черная или цветная) отражает количество рудного минерала в шлихе. Если рудного минерала нет, то отведенный ему квадрант оставляется пустым.

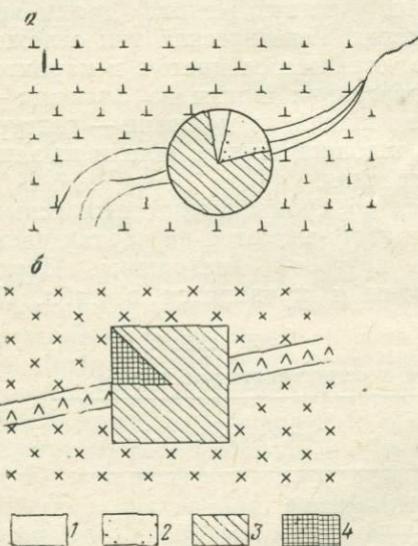


РИС. 31. ПРИМЕРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗОВ ПРОБ НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ КАРТАХ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ШЛИХОВ (а) И ДЛЯ ПРОТОЛОЧНЫХ ПРОБ (б):

1 — единичные знаки золота; 2 — десятки зерен шеелита; 3 — высокие количества кассiterита; 4 — единичные зерна монацита

Содержание рудных минералов в шлихах может быть показано в виде диаграмм, разделенных на четыре квадранта аналогично первому способу, но количественное их содержание отражается иначе. Квадранты, закрепленные за отдельными минералами, полностью закрашиваются черным цветом, но вычерчиваются радиусами разной величины: чем больше в шлихе данного рудного минерала, тем большим радиусом прочерчивается дуга его квадранта.

Минеральный состав шлихов иногда изображают в виде диаграмм, где для каждого рудного минерала в зависимости от его количества в шлихе прочерчивается кружок соответственного диаметра и все они как бы вкладываются друг в друга в виде концентров и закрашиваются цветами, предусмотренными для этих минералов в табл. 17.

Шлиховые поиски сопровождаются другими видами поисковых работ — отбором проб из коренных пород, металлометрическими съемками, гидрохимическим опробованием и другими. Результаты этих исследований также наносятся на карты фактического материала.

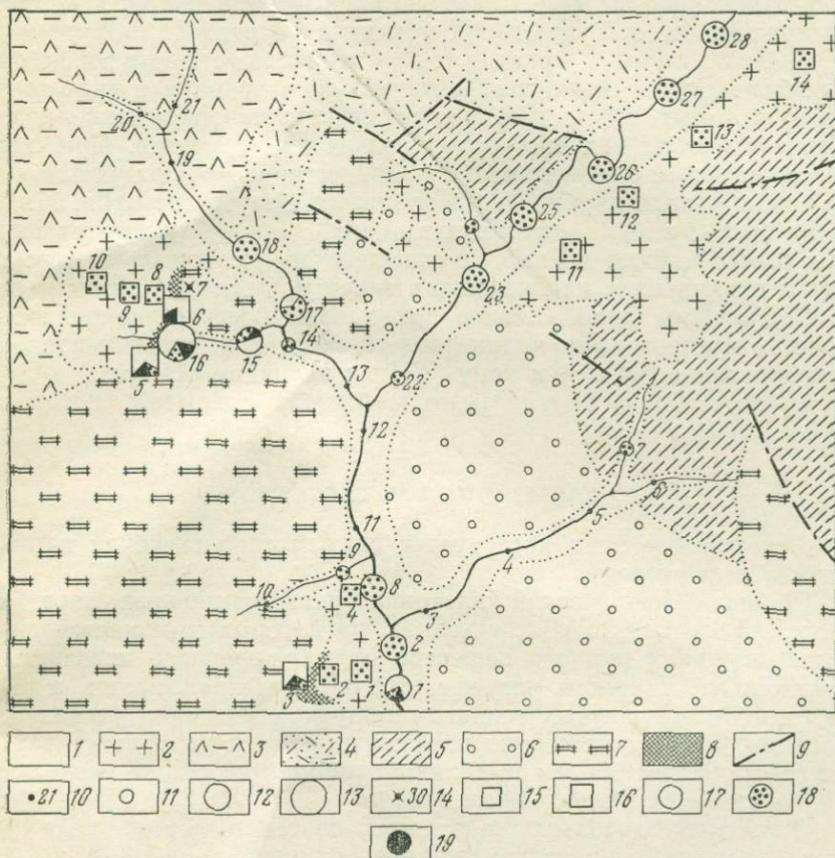


РИС. 32. КРУПНОМАСШТАБНАЯ КАРТА ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА:

1 — четвертичные отложения; 2 — граниты; 3 — песчаники; 4 — липаритовые порфирь и их туфы; 5 — флишевая толща; 6 — аркозовые песчаники; 7 — известняки; 8 — скарны; 9 — разрывные нарушения.

Содержания рудных минералов в шлихах: 10 — пустые шлихи; 11 — редкие зерна; 12 — десятки зерен; 13 — высокие количества. Содержания рудных минералов в протолочных пробах: 14 — пустая проба; 15 — десятки зерен; 16 — высокие количества. Рудные минералы: 17 — шеелит; 18 — молибденит; 19 — рутин.

териала и в сочетании со шлиховыми анализами дают очень ценный материал для оценки перспектив территории.

Результаты анализов протолочных проб изображаются в принципе аналогично таковым для шлихов, но изменяется форма самого значка — круговая диаграмма заменяется,

например, квадратом. Размеры значков отвечают содержанию в пробах рудных минералов: при значке в виде квадрата сторона его берется соответственно 2, 4 и 6 мм для разных количеств рудных минералов. Цвет внутри квадрата показывает минеральный состав пробы (цвет берется по табл. 17). Диаграмма протолочной пробы показана на рис. 31, б. Проба взята из кварцевой жилы. Содержание кассiterита 10 г/т, монацита 8 зерен.

Результаты анализов металлометрических проб наносятся на карты фактического материала в виде точек, около которых цветной тушью проставляется процентное содержание в пробах ведущих рудообразующих элементов. При наличии двух или более элементов их содержание подписывается около пробы в виде дроби. Цвета элементов берутся по табл. 17.

Результаты исследования гидрохимических проб отображают на картах фактического материала в виде химических индексов или условных значков, располагающихся около мест отбора проб. Обычно показывают содержание рудообразующих элементов, их индикаторных спутников, сульфат-иона, отношение иона $[SO_4]^{2-}$ к иону $[Cl]^-$ и величину pH вод.

Пример карты фактического материала с полной нагрузкой приведен на рис. 32.

КАРТЫ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Основой для этих карт также служит геологическая карта с элементами рельефа.

Обобщая фактический материал регистрационных карт, составляют карты ореолов рассеяния, на которых отражается динамика движения рудного вещества от его коренного источника к пониженным участкам рельефа, где создаются аномалии, а иногда, при благоприятных геолого-геоморфологических условиях, и россыпи. Ореолы рассеяния классифицируются на этих картах по их генетическим типам: выделяют экзогенные ореолы нескольких разновидностей и эндогенные ореолы.

Экзогенные ореолы подразделяют по генетическому типу рыхлых отложений, в которых встречены признаки рудного вещества. Различают потоки рассеяния в аллювии современной гидро-графической сети со всеми ее мелкими притоками, оврагами и балками и площадные ореолы в областях делювиальных шлейфов и элювия.

Потоки рассеяния рудного вещества в современном аллювии изображают на основании анализа шлихов, отобранных в современных русловых отложениях в виде цветных полос (лент), вытягивающихся вдоль русел рек и их притоков. Ленты, символизирующие аномалии, выклиниваются в тех участках речных долин, где рудные минералы исчезают из руслового аллювия. Если поток рассеяния не прослежен опробованием полностью (до его исчезновения), то лента вдоль русла реки прерывается.

Состав рудных минералов в потоке рассеяния изображается цветной закраской ленты. Если в потоке идет рассеяние одновременно двух-трех рудных минералов, вдоль русла реки вытягивается соответственно две-три цветные ленты: они как бы вложены друг в друга при количественном преобладании одного минерала над другим, или в виде равных полос протягиваются вдоль рек при более или менее равном содержании рудных минералов в ореоле. Цвет лент выбирается в соответствии с составом рудных минералов (см. табл. 17).

Количественное содержание рудных минералов в русловых отложениях отражается шириной ленты данного минерала: чем больше рудного минерала, тем шире его лента. Для ширины лент рудных минералов трудно дать стандарты, так как она определяется не только содержанием рудных минералов, но также масштабами карты и особенностями строения рельефа исследуемого района. В каждом конкретном случае подбираются наиболее удобные стандарты для ширины лент по трехступенчатой шкале: для низких, средних и высоких количеств рудных минералов. Ширина лент не должна превышать ширину речных долин.

Площадные ореолы в области делювиальных и элювийальных отложений представляют собой связующее звено между коренными рудоносными образованиями и аномалиями в современном русловом аллювии. Эти ореолы оконтуриваются по данным шлихового опробования делювиальных и элювийальных образований с использованием результатов их металлометрического опробования. Для ореолов прежде всего дается общий наружный контур, т. е. ограничивается область делювия и элювия, зараженная рудным веществом, от стерильной. Внутри контура аномалии выделяются зоны с низкими, средними и высокими содержаниями рудных минералов. Для этого удобно проводить изоконцентраты, отделяющие шлихи с низким, средним и высоким содержанием рудных компонентов. Внутреннее строение аномалии подчеркивается наложением различного цветного края для отдельных зон; максимумы аномалии обычно заливают сплошной краской. Цвет края или сплошной закраски отражает минеральный состав шлихов (см. табл. 17). Если одновременно в делювиально-элювийальном ореоле присутствует два-три рудных минерала, то целесообразно цвет края выбрать по ведущему рудному компоненту.

В результате анализа данных металлометрического опробования делювия и элювия, сопровождающего шлиховые поиски, изображается ореол рассеяния рудообразующих элементов в изоконцентратах: обрисовывается наружный контур ореола по минимальному содержанию элементов и изображается внутреннее строение аномалии с выделением ее максимумов. Для большей наглядности зоны рыхлых образований с низкими, средними и высокими содержаниями металлов также покрывают различным

крапом. Цвет изоконцентрат и крапа выбирается соответственно элементу по табл. 17.

С поисковой точки зрения наиболее интересны максимумы площадных ореолов, так как они в делювии незначительно уда-

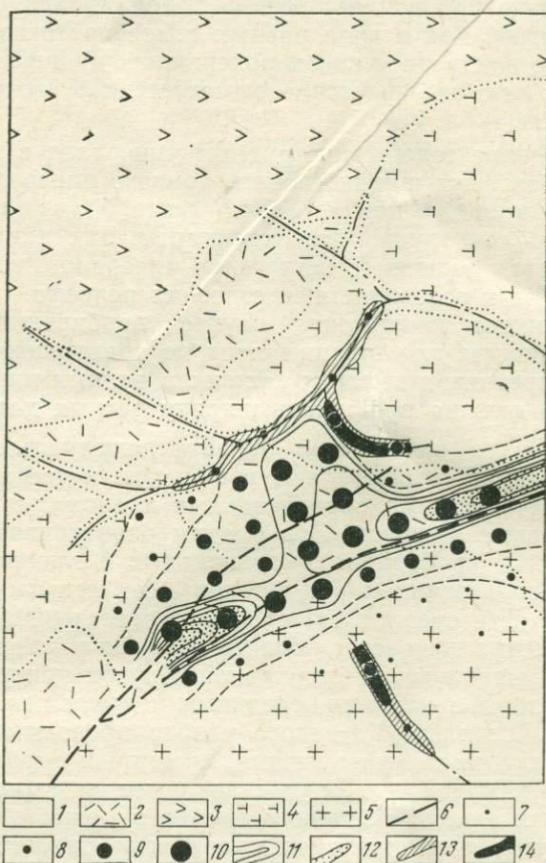


РИС. 33. КАРТА ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ:

1 — аллювий; 2 — туфы липаритовых порфиров; 3 — андезитовые порфиры; 4 — туфобрекции альбинофиров; 5 — граниты; 6 — разрывные нарушения; 7 — пустые шлихи; 8 — шлихи с редкими зернами рудных минералов; 9 — шлихи с десятками зерен рудных минералов; 10 — шлихи с высокими количествами рудных минералов; 11 — изоконцентраты площадных аномалий в делювии; 12 — максимумы этих аномалий; 13 — зоны с низкими содержаниями рудных минералов в русловом аллювии; 14 — зоны с высокими содержаниями рудных минералов в русловом аллювии.

лены от коренного источника рудной минерализации, а в элювии пространственно тесно связаны с первичными рудными телами. Анализ строения рельефа и геологических особенностей участка позволяет определить возможное направление сноса рудного ма-

териала (иногда оно даже указывается стрелками) и прогнозировать пространственное положение коренной минерализации.

Эндогенные ореолы выделяются на картах в областях развития коренных пород. Основой для определения их положения является анализ результатов исследования протолочных проб и металлометрических съемок по коренным породам. На основании сопоставления карт фактического материала и карт ореолов рассеяния, а также анализа геологического строения района удается выявить признаки связи рудной минерализации с определенными типами коренных пород. Предполагаемые участки первичных рудоносных пород и выделяются как эндогенные ореолы. Это могут быть какие-либо разновидности магматических пород, зоны контактово-измененных пород, поля развития постмагматических образований или какие-либо благоприятные для локализации оруденения литологические разности пород или стратиграфические горизонты, т. е. те геологические единицы, с которым прямо или косвенно возможно связывать оруденение. Потенциально рудоносные коренные породы оконтуриваются на карте в соответствии с их геологическими границами сплошными цветными линиями. Цвет контуров первичных ореолов выбирается по ведущему металлу (см. табл. 17). Пример карты ореолов рассеяния с показом различных их типов дан на рис. 33.

ПРОГНОЗНЫЕ ШЛИХОВЫЕ КАРТЫ

Основой шлиховой прогнозной карты является геологическая карта с элементами строения рельефа. На карте специально наносятся поисковые признаки, которые удалось выявить при выполнении наземных поисковых работ. На прогнозные карты переносят с карты ореолов рассеяния максимумы выявленных разнобразных аномалий. Если для территории поисков выполнялся комплекс геофизических поисковых работ, то установленные геофизические аномалии также показываются на прогнозной карте. Сопоставление и анализ всего материала позволяют прогнозировать возможное положение в пространстве коренных рудных тел или участки речных долин с возможными россыпями. Эти участки показываются на карте в виде площадей, оконтуренных сплошными толстыми цветными линиями и покрытых крапом или штриховкой. На участках рекомендуется проводить в дальнейшем детальные поисково-разведочные работы.

Если по комплексу полученных результатов нельзя однозначно прогнозировать возможное положение рудных тел, то на прогнозной карте выделяются площади для постановки дальнейших исследований. Различными типами линий показываются площади для выполнения более детального шлихового или металлометрического опробования, участки, где необходимо провести детальное геологическое картирование и другие работы. В каждом случае

указывается вид и масштаб отдельных исследований. Пример возможного варианта прогнозной карты показан на рис. 34.

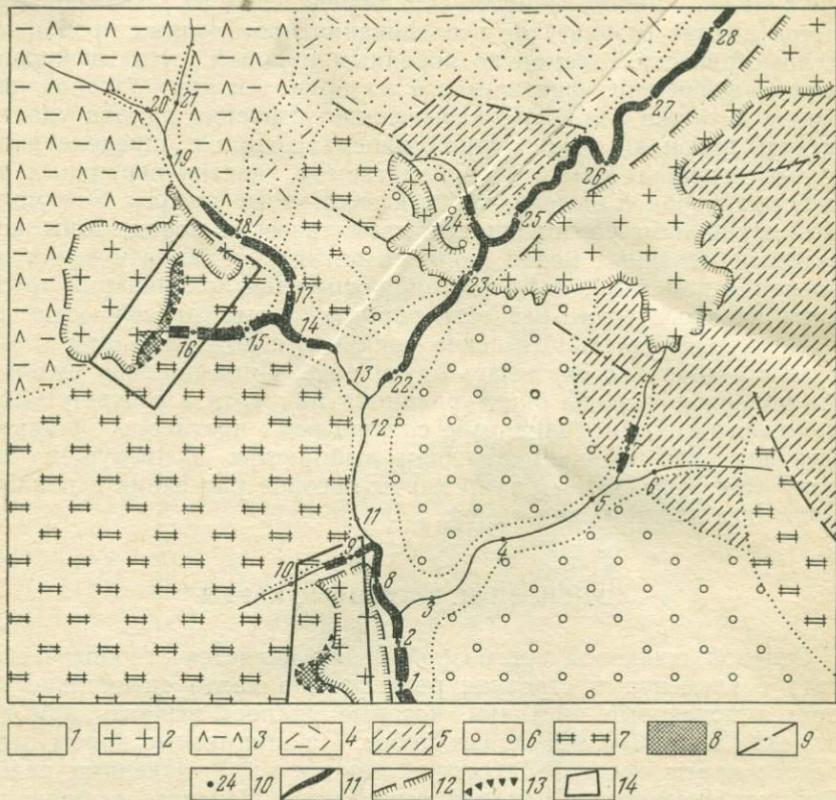


РИС. 34. ПРОГНОЗНАЯ КАРТА

1 — четвертичные отложения; 2 — граниты; 3 — песчаники; 4 — липаритовые порфиры и их туфы; 5 — флишевая толща; 6 — аркозовые песчаники; 7 — известняки; 8 — скарны; 9 — разрывные нарушения; 10 — места отбора шлиховых проб; 11 — потоки расцветания в аллювии; 12 — области первичной рутиновой минерализации; 13 — скарны с первичным вольфрамовым и молибденовым оруднением; 14 — перспективные площадки для детальных поисково-разведочных работ на вольфрам-молибденовое оруднение

ОБЪЯСНИТЕЛЬНЫЕ ЗАПИСКИ К ШЛИХОВЫМ КАРТАМ

Шлиховые поиски обычно сопровождают геологопоисковые работы в комплексе с другими видами опробования и результаты их излагаются в едином геологическом отчете, где систематизируется и обобщается весь фактический материал. На основе его анализа дается оценка перспектив рудоносности района и рекомендации по направлению дальнейших поисковых или поисково-разведочных

работ. В отдельных случаях шлиховые поиски проводятся самостоятельно и их результаты излагаются в специальной объяснительной записке к серии шлиховых карт.

В вводных разделах текста при перечислении предыдущих исследований указывается объем и качество ранее проводившегося в исследуемом районе шлихового опробования. При характеристике гидрографической сети и геоморфологических особенностей района упор делается на анализ условий сноса и концентрации рудных минералов.

В геологической части отчетов особое внимание уделяется характеристике прямых или косвенных поисковых признаков, выявленных при поисковых работах, а также описанию коренных рудопроявлений, если таковые были обнаружены.

Результаты поисковых работ описываются с исчерпывающей полнотой. Эта глава является основной в объяснительной записке и состоит из ряда разделов.

Раздел 1 — изложение результатов шлихового опробования. Здесь освещаются закономерности пространственного размещения выявленных рудных минералов, их количество, типоморфные особенности, выявляются характерные ассоциации минералов для разных участков и различных генетических типов рыхлых отложений.

Раздел 2 — характеристика результатов протолочного опробования коренных пород. Подчеркивается связь тех или иных минералов с определенными комплексами коренных пород.

Раздел 3 — результаты металлометрических съемок. Указывается перечень выявленных анализами в пробах элементов, их количество, связь с определенными типами рыхлых отложений или с разностями коренных пород.

Раздел 4 — описание ореолов рассеяния. Освещается пространственное положение, взаимная связь ореолов разного типа и анализируется связь максимумов аномалий с особенностями геологического строения территории поисков.

В заключительной части объяснительной записи дается общая перспективная оценка района в отношении коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых и обосновывается необходимость проведения дальнейших исследований. Указывается общее направление необходимых поисковых или поисково-разведочных работ и намечаются их конкретные виды, масштабы и объемы.

К тексту объяснительных записок к шлиховым картам прикладывается шлиховой журнал с приведением поисковых данных и результатов лабораторного исследования шлихов. Этот ценный фактический материал в дальнейшем позволяет пересмотреть сделанные выводы в свете новых геологических данных.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТАЦИОНАРНОЙ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Микроскоп бинокулярный стереоскопический МБС-1, МБС-2	Ступка из нержавеющей стали большая
Микроскоп поляризационный стереоскопический МПС-2	Ступка Абиха малая
Микроскопы поляризационные МИН-8, МИН-6	Ступки фарфоровые разные
Кристалл рефрактометр ИРФ-22	Ступка агатовая
Минералоскоп люминесцентный ЛЮМ-2М	Чашки фарфоровые № 1—4
Ультрафиолетовый облучатель «Ультрахимикоп»	Чашки Петри средние и малые
Катодная установка Комовского или катодо-люминесцентная установка УКЛ-1	Стаканы стеклянные на 100 и 200 мл
Универсальный электромагнит УЭМ-1Т	Стаканы фарфоровые на 100 и 200 мл
Сепаратор изодинамический магнитный СИМ-1	Тигли серебряные малые (102-1) с крышками (103-1)
Поисковый электрический сепаратор ПС-1	Тигли фарфоровые № 1—3
Дизэлектрический сепаратор ДСК-1	Колбы конические на 50 и 100 мл
Сушильный шкаф СНОЛ-1	Воронки делительные на 50, 100 и 200 мл
Центрифуга пребирная ЦЛН-200	Воронки химические диаметром 4, 5, 6 см
Ручной магнит многополюсный самосбрасывающий	Треугольники фарфоровые малые
Ручной магнит универсальный Сочнева С-5	Сетки асbestовые
Ручной магнит в чехле РМЧ-1	Штативы лабораторные с набором зажимных лапок и колец
Электрометр СГ-2М	Зажимы Мора
Стандартный набор сит	Спиртовки
Лабораторный струйчатый делитель Джонса	Щипцы тигельные
Весы технические на 2 кг	Пинцеты разные
Весы технические на 200 г Т-200	Стекла 9×12
Весы аналитические АДВ-200	Стекла предметные
Весы микроаналитические ВМ-20М	Стекла покровные
Арифмометр	Стекла медицинские с лунками
Пушинтегратор	Иглы препарировальные
Набор для паяльной трубы	Стеклянные пестики
Проволока платиновая диаметром 0,4 мм	Стеклянные палочки
	Стеклянные микропипетки
	Капельницы на 25—30 мл
	Бюксы малые высокие
	Бисквиты фарфоровые
	Резиновые шланги малого диаметра
	Кисти беличьи
	Кисти щетинковые
	Фильтры беззольные
	Карандаши восковые по стеклу

ПОЛЕВОЕ СНАРЯЖЕНИЕ ШЛИХОВОГО ОТРЯДА

Лотки для промывки (2—3)	Лопата штыковая
Ковши для доводки шлихов (1—2)	Лопата подборочная
Совок для просушки шлихов	Мешки брезентовые для проб
Гребок	Бумага оберточная для пакетов
Ендовка	Лупа 7x
Ступа чугунная большая с пестом	Магнит ручной универсальный Сочи-5
Набор сит	Походная полевая химическая лаборатория (ХАЛ)
Кувалда	
Молоток геологический	

РЕАКТИВЫ ДЛЯ ШЛИХОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аммоний азотнокислый NH_4NO_3	Кислота рубеановая
Аммоний хлористый NH_4Cl	Кислота ортофосфорная
Аммоний молибденовокислый [(NH_4) ₂ MoO ₄]	Кобальт азотнокислый $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$
Аммоний роданистый NH_4CNS	Медь сернокислая (медный купорос) CuSO_4
Аммиак NH_4OH	Медь хлористая CuCl_2
Ацетон	Сегнетова соль $\text{KNaC}_4\text{H}_6\text{O}$
Барий хлористый BaCl_2	Натрий родизоновокислый
Бензидин основной и солянокислый	Натрий гипосульфит
Бромоформ CHBr_3	Натрий нитропруссид
Диметилглиоксим	Натрий-аммоний фосфорнокислый $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$
Дифенилкарбазид	Натрий углекислый Na_2CO_3
Двойная ртутно-родановая соль [(NH_4) ₂ Hg(CNS) ₄]	Натрий фтористый NaF
Жидкость Туле $2\text{KI} \cdot \text{HgI}_2$	Натрий тетраборнокислый (бура) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
Железо треххлористое FeCl_3	Натрий едкий NaOH
Иодистый метилен CH_2I_2	Натрий перекись Na_2O_2
Калий едкий KOH	Натрий ксантогеновокислый
Калий кислый сернокислый KHSO_4	Перекись водорода H_2O_2
Калий пиросернокислый $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$	Олово хлористое SnCl_2
Калий хлористый KCl	Олово металлическое Sn
Калий иодистый KI	Спирт этиловый или метиловый
Калий хромовокислый K_2CrO_4	Судан III
Калий роданистый KCNS	Серебро азотнокислое AgNO_3
Калий железосинеродистый $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Сурьма треххлористая SbCl_3
Калий железистосинеродистый $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Танин
Кислота соляная HCl	Тиомочевина
Кислота серная H_2SO_4	Хинализарин
Кислота азотная HNO_3	Хинин
Кислота уксусная CH_3COOH	Цинк металлический гранулированный Zn
Кислота винная	

ШЛИХООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ ПО ФРАКЦИЯМ ШЛИХОВ ДЛЯ ЭТАЛОННОЙ КОЛЛЕКЦИИ

Магнитные фракции

Сильной магнитности

магнетит
пирротин
титаномагнетит

оливины

пироксены

пиролюзит

гранаты

Средней магнитности

амфиболы
вольфрамит
гематит

ильменит

колумбит

лимонит

псиломелан

танталит

турмалины
хромшпинелиды
Слабой магнитности
акснит
амфиболы
гранаты
ксенотим
монацит
настурян
оливины
ортит
пироксены

приорит
самарскит
ставролит
сфалерит (марматит)
сфен
уранинит
фергюсонит
хлориты
шпинель
эвксенит
эпидот, цонзит
эшинит

Немагнитные фракции

Тяжелая

анатаз
андалузит
апатит
барит
галенит
деревянистое олово
золото
кассiterит
киноварь
кианит
клейофан
кобальтин
корунд
лейкоксен
перовскит
пирит
пирохлор
платина
рутит

силлиманин
сфен
топаз
торианит
торит
тремолит
флюорит
церуссит
циркон
шеелит
шмальтин
шпигель
Легкая
берилл
графит
карбонаты
кварц
полевые шпаты
слюды
хлориты
янтарь

Образец лабораторного шлихового журнала

№ п/п	Лабораторный номер	Полевой номер шлихха	Адрес	Объем промытой породы, м ³	Масса шлихха, г	Масса навески для анализа, г	Фракции																			
							Немагнитная тяжелая						Средней магнитности													
							Минералы, %			Минералы, %			Минералы, %			Минералы, %										
							Масса, г	Содержание в шлихе, %	Золото	Шеелит	Циркон	Рутил	Апатит	Масса, г	Содержание в шлихе, %	Ильменит	Гранат	Амфиболы	Пироксены	Сиден	Масса, г	Содержание в шлихе, %	Монцанит	Эпидот	Диопсид	
12	1021	326	р. Студеная, в 500 м выше устья	0,0231,2	4,1	0,6	15	2	зн	—	60	10	30	2,1	51	20	40	30	10	—	1,4	34	21	зн	30	—

Образец полевого шлихового журнала

№ п/п	№ шлихха	Адрес	Генетический тип опробуемых отложений	Литологический состав пробы	Глубина отбора пробы, м	Исходный объем пробы, м ³	Масса полученного шлихха, г	Примечания
4	201	р. Быстрая, в 300 м выше устья	Русловой аллювий	Крупнозернистый песок с галькой и щебнем	0,4	0,02	35,1	—

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Алмаз	121	Оливины	97
Амфиболы	94	Ортит	103
Андалузит	130	Перовскит	119
Анатаз	132	Пирохлор	119
Апатит	124	Пироксены	95
Арсенопирит	112	Пирротин	90
Барит	127	Пирит	115
Вольфрамит	92	Пироп	101
Галенит	116	Платина	112
Гельвин	102	Рутил	120
Гематит	93	Серебро	113
Гранаты	100	Ставролит	108
Деревянистое олово	118	Сфалерит	104
Дистен (см. кианит)		Сфен	108
Золото	113	Танталит	93
Ильменит	90	Титаномагнетит	90
Кассiterит	117	Топаз	122
Кианит	125	Тремолит	127
Киноварь	130	Турмалин	99
Кобальтин	112	Уранинит	103
Колумбит	93	Флюорит	128
Ксенотим	107	Халькопирит	115
Лейкоксен	129	Хромшпинелиды	91
Лимонит	94	Циркон	123
Магнетит	87	Циртолит	124
Малакон	124	Шеелит	128
Марказит	115	Шпинель	107
Молибденит	116	Эпидот	105
Монацит	106		

УКАЗАТЕЛЬ МИКРОХИМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ

Барий	71	Ванадий	72
Бериллий	71	Висмут	72
Бор	72	Вольфрам	73

Железо	73	Ртуть	78
Золото	74	Свинец	78
Кобальт	74	Сурьма	79
Марганец	75	Сера	79
Медь	75	Тантал и ниобий	80
Молибден	76	Титан	80
Мышьяк	77	Уран	80
Никель	77	Фосфор	81
Олово	77	Хром	82
Платина	78	Цинк	82

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бергер Г. С., Ефимов И. А. Методы выделения мономинеральных фракций. Алма-Ата, 1961, 164 с. («Труды КазИМС». Вып. 4).

Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., Изд-во АН СССР. 1955, 471 с.

Василькова Н. Н., Горобец Б. С. Люминесценция и ее применение в минералогии.— В кн.: Современные методы минерал. исслед. Ч. I. М., 1969, с. 221—232.

Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Пер. с англ. Под ред. Д. С. Белянкина. М., Изд-во иностр. лит., 1953, 561 с.

Вистелиус Л. Б. О необходимом числе зерен, подсчитываемых при иммерсии.— «Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. Сер. 2. Ч. 80. Вып. 3», с. 187—190.

Геология россыпей. Под ред. В. И. Смирнова. М., «Наука», 1965, 400 с.

Гребенникова О. Г. К вопросу о диагностике некоторых титановых минералов в шлихах.— «Зап. Вост.-Сиб. отд. Всесоюз. минерал. об-ва». 1962, вып. 4, с. 50—60.

Ермаков Н. П. Геохимические системы включений в минералах. М., «Недра», 1972, 175 с.

Захарова Е. М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. Изд. МГУ, 1960, 167 с.

Захарова Е. М. Опыт использования методов электрической сепарации при шлиховом анализе.— «Вестн. МГУ. Геология», 1969, № 4, с. 45—53.

Иванов Н. В. К вопросу о количественном определении минералов.— «Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. Ч. 83», 1954, № 2, с. 95—105.

Исаков П. М. Качественный химический анализ руд и минералов методом растирания порошков. М., Госгеолтехиздат, 1955, 184 с.

Карнаухов Н. М. Технология доводки коллективных концентратов с помощью электрической сепарации. М., «Недра», 1966, 167 с.

Кашкаров И. Ф., Полканов Ю. Л. Об учете относительного веса зерен при количественных анализах титано-циркониевых песков.— В кн.: Геология россыпей. М., 1965, с. 332—334.

Комовский Г. Ф., Ложникова О. Н. Люминесцентный анализ при изучении руд и минералов. М., Госгеолтехиздат, 1954, 91 с.

Коперина В. В. К вопросу о точности минералогического анализа.— «Докл. АН СССР». 1962, Т. 85, № 5, с. 1151—1154.

Копченова Е. В. Минералогический анализ шлихов. М., Госгеолтехиздат, 1951, 208 с.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965, 399 с.

Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. I. М., Госгеолтехиздат, 1960, 330 с.

Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1961, 317 с.

Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. Изд. 2. М., «Недра», 1965, 464 с.

Методические указания по производству геологоразведочных работ. Вып. XXII. Разведка россыпных месторождений золота, платины, олова, вольфрама, титана, tantalа и ниобия. М., Госгеолтехиздат, 1957, 109 с.

Методические указания по геологической съемке и поискам. Под ред. С. А. Музылева. М., Госгеолтехиздат, 1964, 504 с.

Назаренко В. А., Полуэктов Н. С. Полумикрохимический анализ минералов и руд. М.—Л., Госхимиздат, 1950, 200 с.

Никитин К. К. Опыт выделения мономинеральных и обогащенных фракций.—В кн.: Методы и аппаратура для выделения мономинеральных и обогащенных фракций. М., 1967, с. 48—70.

Новиков В. А. Типизация и унификация методов минералогических анализов шлихов и рыхлых пород.—«Тр. ЦНИГРИ», 1970, вып. 94, 85 с.

Озеров И. М. Шлиховая съемка и анализ шлихов. М., Госгеолтехиздат, 1959, 377 с.

Основы поисков россыпей. Изд. ЛГУ, 1961, 123 с.

Проблемы геологии россыпей. Под ред. В. И. Смирнова. Магадан, 1970, 412 с.

Рожкова Е. В., Проскуровский Л. В. Определение диэлектрической проницаемости минералов и их диэлектрическая сепарация.—В кн.: Современные методы минералогических исследований горных пород, руд и минералов. М., 1957, с. 115—138.

Сахарова М. С., Черкасов Ю. А. Иммерсионный метод минералогических исследований. Изд. МГУ, 1970, 89 с.

Смелянская Г. А. Магнитные свойства минералов. Методы и аппаратура для выделения мономинеральных и обогащенных фракций. Изд. МГ СССР, 1967, с. 71—82.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений. Изд. МГУ, 1957, 587 с.

Справочник укрупненных норм для проектирования геологоразведочных

работ. Вып. 1. Геологосъемочные и поисковые работы. М., Госгеолтехиздат, 1960, 44 с.

Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М., «Недра», 1965, 300 с.

Тихомирова Н. Я. Опыт детального минералогического анализа фракций 0,01—0,25 осадочных пород.— В кн.: «Труды Всесоюз. совещ. работников минерало-петрографической лаборатории. М., 1955, с. 138—144.

Хабаков А. В. Об индексах окатанности галечников.— «Советская геология», 1946, № 10, с. 98—99.

Четвериков С. Д. Методика кристаллооптических исследований шлифов. М., Госгеолиздат, 1949, 155 с.

Чуева М. Н. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., Госгеолиздат, 1950, 179 с.

Юшко С. А., Боришанская С. С. Таблицы диагностических признаков минералов в шлихах. М., Госгеолтехиздат, 1955, 60 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение	3
Часть I	
Шлиховые поиски	
Глава 1. Образование ореолов рассеяния рудного вещества	5
Эндогенные ореолы	8
Экзогенные ореолы	10
Глава 2. Методика шлиховых поисков	19
Опробование речной сети	23
Опробование делювиальных и элювиальных отложений	30
Опробование коренных пород	32
Документация	34
Промывка шлихов	35
Часть II	
Лабораторный анализ шлихов	
Глава 1. Фракционирование шлихов	41
Подготовка шлихов к анализу	44
Магнитная сепарация шлихов	47
Электрическая сепарация шлихов	53
Фракционирование шлихов с помощью тяжелых жидкостей	57
Глава 2. Методика диагностики минералов шлихов	61
Диагностика минералов по внешним признакам	61
Диагностика минералов по оптическим константам	65
Микрохимическая диагностика минералов	69
Диагностика минералов по люминесценции	83
Глава 3. Характеристика шлихообразующих минералов	87
Минералы магнитных фракций	87
Минералы немагнитной тяжелой фракции	109

Г л а в а 4. К о л и ч е с т в е н н ы й м и н е р а л о г и ч е с к и й а н а л и з ш ли х о в	132
Полуколичественный анализ	133
Полуколичественный анализ с повышенной точностью определения полезных компонентов	134
Количественный анализ	135
Ч а с т ь III	
Шлиховые карты	
Регистрационные шлиховые карты	138
Карты ореолов рассеяния	142
Прогнозные шлиховые карты	145
Объяснительные записки к шлиховым картам	146
Приложения	148
Список литературы	154

Елена Михайловна Захарова
ШЛИХОВЫЕ ПОИСКИ И АНАЛИЗ ШЛИХОВ

Редактор издательства **Л. Н. Федорова**
Технический редактор **Л. В. Дунаева**
Корректор **К. И. Савенкова**

Сдано в набор 22/VIII 1973 г.
Подписано в печать 16/V 1974 г.
Т-10041 Формат 60×90¹/₈ Бумага № 2
Печ. л. 10,0 Уч.-изд. л. 10,51 Тираж 4700 экз.
Заказ № 502/3661-2 Цена 36 коп.

Издательство «Недра», 103633. Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета
Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

**Уважаемый товарищ!
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ
НОВЫЕ КНИГИ**

ВЯЛЬСОВ Л. Н. Оптические методы диагностики рудных минералов. 15 л. 1 р. 64 к.

В книге изложены основные сведения по общей теории оптических свойств рудных минералов. Дана интерпретация оптических свойств в рамках зонной теории твердого тела. Описаны методы количественных исследований главнейших оптических свойств рудных минералов и применяемые при этом приборы. Особое внимание уделено ошибкам измерений и вопросам улучшения сходимости результатов. Рассмотрены различные принципы составления определительных таблиц. Приведена новая систематика рудных минералов с учетом как абсолютных значений коэффициента отражения, так и формы спектров отражения.

Книга рассчитана на геологов, минералогов и геохимиков, исследующих вещественный состав руд. Она также представляет интерес для преподавателей и студентов геологических вузов в качестве пособия по рудной микроскопии.

КУЗИН М. Ф., ЕГОРОВ Н. И. Полевой определитель минералов. 20 л. 1 р. 20 к.

Определитель предназначен для диагностики минералов по простейшим физическим признакам без применения сложного лабораторного оборудования. Он охватывает 190 наиболее распространенных и важных в промышленном отношении минералов. Разделяющими признаками приняты блеск и цвет минерала, цвет черты, твердость и спайность. Дополнительное разделение производится по форме выделений, удельному весу, возможности парагенезиса с кварцем и распространенности. Определителю предпослано описание главнейших физических признаков и методов определения состава минералов. Даны таблицы породообразующих и рудных минералов, вошедших в определитель, а также таблицы минерального состава наиболее распространенных горных пород и сведения о структурно-текстурных и парагенетических характеристиках минеральных агрегатов.

Определитель предназначен в качестве пособия при полевых работах и предварительной оценке состава минерального сырья для геологов, геохимиков, геофизиков, географов, гидрологов и других специалистов, занимающихся изучением вещества земной коры.

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

*№ 17 — 199178. Ленинград, В. О., Средний проспект, 61
№ 59 — 127 412. Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

36 коп.

18814

НЕДРА · 1974