

А. В. Костерин

ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ  
И ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ  
МЕТОДЫ ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. В. КОСТЕРИН.

ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ  
И ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ  
МЕТОДЫ ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ответственный редактор И. Н. ГОВОРОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» · СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
НОВОСИБИРСК · 1972

В работе показано, что шлиховое опробование основано на изучении минерального состава отмытых шлихов, т. е. по своей сути это шлихо-минералогический метод. Обосновывается и подробно описывается шлихо-геохимический вариант, который опирается на определение элементного состава шлиховых проб. Это существенно меняет методику шлиховых поисков и делает их более информативными и отвечающими современным требованиям геологической науки.

Редактор И. П. Зайцева  
Художественный редактор В. И. Желинин  
Технический редактор О. А. Локшина  
Корректоры Е. Ф. Бурова, Р. С. Митяева

Сдано в набор 25 ноября 1971 г. Подписано к печати 21 ноября 1972 г. №Н 01073.  
Бумага тих. № 1, ф-т 60×90<sup>1/16</sup>, 7,75 печ. л., 7,4 уч.-изд. л. Тираж 1400. Заказ № 18. Цена 75 коп.

Издательство «Наука». Сибирское отделение. Новосибирск, 99, Советская, 18.  
4-я типография изд-ва «Наука». Новосибирск-77, Станиславского, 25.

2-9-4  
616-1972

---

## В В Е Д Е Н И Е

Шлиховые изыскания применяются с давних времен. В частности, правила промывки проб на лотке имеются в личных записках Петра I. В этот период и позднее шлиховое опробование широко применялось при поисках месторождений рудного и особенно россыпного золота. Благодаря своей дешевизне, простоте и надежности шлиховое опробование в дальнейшем стало одним из основных методов поисков многих полезных ископаемых. В Советском Союзе наибольшее применение оно получило с 1926 г. Шлиховой съемкой была охвачена практически вся территория нашей страны, в результате чего открыто много новых рудных районов и месторождений.

Шлиховой метод и в настоящее время играет важную роль в расширении сырьевой базы горнорудной промышленности, однако за последние 30 лет он почти не развивался и сейчас явно отстает от современных требований производства. Разрабатывались главным образом такие геохимические методы поисков, как литохимия, гидрогоеохимия, биогеохимия, на шлихование стали смотреть как на второстепенный, «дедовский» метод. Сейчас трудно найти опытного промывальщика, а хорошо, правильно изготовленный лоток стал редкостью. Молодые геологи не владеют тонким искусством мыть шлихи. Между тем бурное развитие геохимии, особенно геохимии отдельных минералов, позволяет усовершенствовать и модернизировать шлихование, значительно повысить его информативность. Использовать эту возможность тем более необходимо, если учсть, что «классические» методы опоискования в значительной степени исчерпали себя и не могут решать многие из тех задач, которые возникли в связи с уменьшением фонда легко-открываемых месторождений.

Шлиховые поиски в том виде, как они практикуются в настоящее время, основаны на минералогическом изучении отобранных проб, т. е. по сути это шлихо-минералогический метод.

В 1965 г. нами был предложен его шлихо-геохимический вариант, основанный на определении элементного (химического) состава шлихов (Костерин, 1965). Этот метод ставит своей задачей использование достижений геохимии при шлиховых поисках.

Шлихо-минералогический и шлихо-геохимический методы поисков взаимно дополняют, уточняют и несколько перекрывают друг друга. Однако здесь они рассматриваются раздельно, так как таким путем можно показать, что уже сделано для становления и развития шлихования как метода и что еще предстоит сделать для того, чтобы поднять его на уровень, отвечающий современному развитию геохимической науки.

Автор надеется, что данная работа восполнит тот пробел, который имеется в теории шлиховых поисков, а главное, возбудит интерес геологов-поисковиков к этому важному и нужному методу.

Автор приносит свою благодарность П. Н. Антонову, И. Н. Говорову, В. Г. Моисеенко и профессору А. И. Нерельману, просмотревшим рукопись и сделавшим ценные замечания.

---

## ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ

### ФОРМА И СТРОЕНИЕ ОРЕОЛОВ И ПОТОКОВ МЕХАНИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ. ШЛИФОВОЙ РУДНЫЙ «ФОН»

Контур, содержание и распределение полезных минералов элювиального ореола и коренного месторождения в целом с известным приближением совпадают, но отмечается значительное обогащение нижних горизонтов элювия тяжелыми рудными минералами. Это обусловлено как проседанием минералов вниз, так и уменьшением общей массы жильных минералов в результате химического выветривания. На поверхности в некоторых случаях ценные минералы почти полностью отсутствуют.

В делювии контуры ореола рассеяния в 3—10 раз и более превышают размеры рудных залежей. Они имеют сложную конфигурацию и зависят от формы рудного тела и простирания его относительно рельефа местности. Обычно это раструб или трапеция, расширение которых тем больше, чем положе склон. На пологих ( $2-15^\circ$ ) сильно задернованных и заросших и очень плохо обнаженных склонах ореолы могут не выходить на дневную поверхность даже при мощности делювия, не превышающей полутора—трех метров. На крутом склоне механический ореол всегда принадлежит к открытому типу, даже для таких тяжелых минералов, как шеелит, вольфрамит и кассiterит. Ореол рассеяния выходит на поверхность несколько ниже месторождения, и тем дальше от него, чем круче склон. Ниже рудные минералы присутствуют в делювии непосредственно у поверхности, а чем ближе к месторождению, тем на все большей глубине.

В плане обычно рудоносная зона и выход ореола на дневную поверхность пространственно разобщены. Величина смещения определяется крутизной склона, мощностью рыхлого покрова и местными факторами. Например, для горных районов аридной зоны установлено, что при крутизне склона до  $30^\circ$  и мощности элювиально-делювиальных отложений 1,5—2,0 м величина смещения не превышает нескольких метров, лишь иногда достигая 10—30 м (Каблуков и др., 1964).

Распределение ценных минералов в делювиальных ореолах неравномерно. Наиболее богатые участки находятся вблизи выхода коренного месторождения. Ниже по склону, в заметном удалении от коренного выхода, содержание ценных минералов в делювии значительно уменьшается; распределение полезного компонента становится более неравномерным. Обогащенные участки разбиваются на струи, приуроченные к продольным ложбинам склона. На значительном (сотни метров, иногда несколько километров) удалении от коренного источника рудный материал наиболее разубожен и рассеян на большой площади.

Минералы рудных тел и ореолов рассеяния, мигрируя в постоянных или временных водотоках, образуют локальные концентрации в аллювиальных отложениях. Эти участки принято называть потоками рассеяния. Обычно они представляют собой конечный этап единого процесса рассеяния минерального вещества в направлении рудное тело → ореол рассеяния → поток рассеяния.

Укрупнение руслового аллювия и увеличение содержания наиболее тяжелых минералов шлиха связано с увеличением скорости потока. Благодаря этому в стрежневой зоне потока аккумулируются наиболее крупнозернистый аллювий и основная часть тяжелой фракции шлиха. В пристрежневой зоне накапливаются преимущественно легкие минералы, содержание тяжелых минералов незначительно. Золоту свойственна узко-струйчатая форма потока, кассiterиту — более широкая. Ильменит занимает всю ширину долины. Алмаз, обладающий относительно незначительным удельным весом, захватывает и прибрежные участки. При этом крупные кристаллы имеют несколько меньший диапазон рассеяния относительно центральной части, чем мелкие.

В поперечном сечении поток рассеяния характеризуется кривой, имеющей симметричную форму: наибольшие содержания минерального вещества приурочены к оси долины. К бортам вследствие малого разноса тяжелых минералов по руслу реки, а также значительного разубоживания потоков рассеяния безрудным местным материалом, сносимым по склонам, содержание рудного материала падает (Поликарпочкин, 1962).

В нижних горизонтах аллювиальных отложений концентрируются преимущественно минералы с большим удельным весом (золото, платина, кассiterит, вольфрамит). Часто тяжелая фракция оказывается сконцентрированной в приплотиковой части, в трещинах плотика и его аллювии. Удельное содержание тяжелых минералов здесь весьма высоко, а в трещинах

плотика часто достигает рекордных величин. Выше по разрезу располагаются наносы более легких минералов и мелкие зерна ценных минералов. Обычно это поток рассеяния открытого типа, легко обнаруживаемый при шлиховании.

Тяжелые минералы концентрируются в небольшом удалении от коренных источников (3—5, реже более километров). Минералы с меньшим удельным весом разносятся водотоками на весьма большие расстояния от месторождения. Например, поток рассеяния алмазов достигает 500—700 км. Протяженность потоков рассеяния возрастает и концентрация минералов в обогащенных участках снижается в следующей последовательности, в общем соответствующей уменьшению удельного веса минералов: золото и платина; шеелит, вольфрамит, колумбит и кассiterит; циркон, монацит и магнетит; алмаз, рутил, циркон.

Наибольшая концентрация рудных минералов в потоках рассеяния зачастую отмечается не вблизи коренных источников, а на некотором удалении от них. Например, по данным Горбунова (1965), максимальное количество свободного золота фракции 0,5 мм и крупнее концентрируется в аллювии на расстоянии в среднем 0,7—1,5 км от коренного источника. Для более мелкого золота характерно не уменьшение общего его количества вниз по долине, а, наоборот, постоянное небольшое увеличение (Ли, 1965).

В верховьях рек, подвергшихся энергичной глубинной и боковой эрозии, потоки рассеяния связаны с коренными источниками непосредственно. Поэтому содержание ценных минералов находится в тесном соответствии с концентрацией их в размываемом месторождении.

На участках рек, соответствующих зрелой стадии развития эрозионного цикла, механические потоки рассеяния образуются или за счет размыва промежуточного коллектора, или за счет дальнеприносимого материала. В том и другом случае связь с коренными месторождениями теряется или же прослеживается с трудом. Концентрация тяжелых минералов в аллювии зависит от геоморфологии, тектоники, гидродинамического режима потока и климата. Характер размываемого месторождения является уже фактором второстепенным. Так, по данным Жукова и др. (1968), содержание алмазов в пределах поднятий в 3—3,5, иногда 10 раз больше, чем во впадинах. На поднятиях же максимальные концентрации алмазов приурочены к склонам, падение которых обращено навстречу течению рек. Содержание алмазов здесь увеличивается пропорционально возрастанию величины поднятия, но ни в коей мере не связано с богатством коренного источника.

В долинах старческого облика, где процессы механической эрозии не протекают, ценные минералы поступают с бортов рудного делювия или же из металлоносной коры выветривания на дне долины, и тогда легко выявить коренной источник, богатство которого и определяет характер шлиховых ореолов.

При выветривании гранитов, сиенитов, периотитов и других пород возникают ореолы и потоки рассеяния акцессорных рудных минералов. Обыкновенно они захватывают большие площади, повторяя в общих чертах очертания массивов, имеют неясные контуры, однородны по составу и бедны цennыми минералами (обычно в пределах десятка знаков). При определенных особенностях геоморфологии и рельефа массива возможен богатый шлих, а в особо благоприятных условиях образуются промыпленные россыпи.

Широкое развитие пород, содержащих рудные акцессории, а в некоторых случаях наличие многочисленных мелких и мельчайших рудопроявлений или разнос ледниками — все это обуславливает постоянное присутствие в шлихе полезных минералов в виде единичных редких знаков или же первых десятков зерен, создающих шлиховой рудный фон. Иногда это киноварный фон, обусловленный широким распространением эфузивов или пород основного состава, а также карбонатных, содержащих киноварь в виде акцессориев. Иногда рыхлые и грубобломочные образования заражены парагенетическими спутниками алмаза: пиропом и пикроильменитом, составляющими нередко до 50% тяжелой фракции шлиха (Дерганов и др., 1968). В довольно обширных районах, где широко представлены кислые интрузивные породы, рыхлые отложения заражены шеелитом. В других случаях рудный шеелит разнесен ледниками и находится в морене почти повсеместно (Zeschke, 1961). Во многих оловорудных районах Дальнего Востока прослеживается кассiterитовый фон.

В некоторых случаях фон может быть очень высоким, например для хромита, часто встречающегося в качестве акцессорного минерала в ультраосновных породах.

На первых стадиях поисков наличие устойчивого шлихового фона полезных минералов весьма способствует выявлению рудного района. Однако это создает дополнительные трудности при интерпретации ореолов и затрудняет поиски конкретных месторождений: повышенные концентрации ценных минералов в этих районах в аллювии и реже делювии очень часто обусловлены тектонической обстановкой и геоморфологическими условиями накопления терригенного материала, но ничего общего не имеют с рудными месторождениями.

Из практики геологических исследований известно, что главным источником шлихов являются русловые отложения и косы рек и их притоков. В ограниченной степени шлихуются долинные отложения террас и конусов выноса, элювий и делювий.

Густота сети шлихового опробования зависит от геологической обстановки, детальности поисков и степени развития гидросети и колеблется в следующих пределах (Погребецкий и др., 1968):

Масштаб поисков	Колич. проб на 100 км
1 : 200 000	от 6 до 24
1 : 100 000	25—100
1 : 50 000	100—500

Конкретное же опробование необходимо приурочивать к местам с максимально возможным накоплением тяжелой фракции. Скопления последней образуются в двух случаях: а) в результате выноса легких частиц при постоянном общем количестве тяжелых минералов; б) за счет привноса и осаждения новых порций тяжелых минералов. В чистом виде эти процессы довольно редки. Обычно они сочетаются с преобладанием того или другого.

Наиболее часто концентрация тяжелых минералов связана с площадями размыва, из которых выносятся легкие минералы. Это ведет к «остаточному» обогащению аллювия тяжелой фракцией. Накопление шлиха в результате привноса ценных минералов наблюдается реже. Это участки замедления скорости течения потока до величин, благоприятствующих отложению тяжелых частиц, но еще вполне достаточных для выноса легких минералов в более удаленные участки русел.

Весьма благоприятные условия для накопления шлиха создаются в участках рек, где по той или иной причине (при резком расширении речной долины, быстрой смене крутого профиля долины более пологим и т. д.) резко замедляется скорость течения.

Выноса легких частиц и относительного обогащения шлиха тяжелой фракцией следует ожидать ниже впадающего в реку притока, где увеличивается общая масса воды и возрастает скорость потока. Но притоки могут резко сокращать концентрацию полезных минералов в основной долине в случае очень убогого содержания последних в выносимом аллювии. Во мн-

гих случаях можно взять хороший шлих и выше впадения притока, а часто и в русле самого притока, там, где в результате подпруживания возникают зоны пониженных скоростей, благоприятствующих выпадению тяжелых минералов.

Повышенная концентрация тяжелых минералов отмечается на перекатах, особенно в головной части, что обусловлено большими скоростями потока в этих участках. Вторая часть перекатов, благоприятная для шлихования,— подвалье. Благодаря создающимся здесь завихрениям легкие частицы мелких классов выносятся, а крупнозернистый материал, обогащенный тяжелыми минералами, остается на месте в пределах стрежневой зоны (рис. 1).

На косах распределение тяжелой фракции в плане весьма неравномерно. Чаще наиболее обогащена верхняя по течению часть косы и выпуклый край ее. Концентрация тяжелых минералов в этих участках в 10—20 раз больше, чем в средней части косы, и в 50—100 раз больше, чем в хвостовой или прибрежной. Значительная местная концентрация полезных минералов приурочена к вторичным эрозионным бороздам на поверхности кос, эти места также благоприятны для взятия шлиха. Кстати отметим, что при промывке косовых проб следует соблюдать особую осторожность, так как зерна тяжелых минералов обычно здесь очень мелки и легко могут быть потеряны.

Из подмываемого берега реки весьма интенсивно вымывается легкая фракция. Поэтому здесь вместе с галечным материалом концентрируются и тяжелые минералы. Благоприятны для шлихования русловые отложения рек около крутых новоротов, где скорость потока возрастает. Загроможденные валунами и порожистые русла способствуют вымыванию легкой фракции, поскольку в этих местах увеличивается скорость и возникают различные завихрения. Перспективными для шлихового опробования следует считать также места, расположенные выше или ниже загромождающих течение крупных валунов, глыб, принесенных водой деревьев, кочек, пней и т. д. Роль естественного трафарета играет галечник, в котором застравают не только

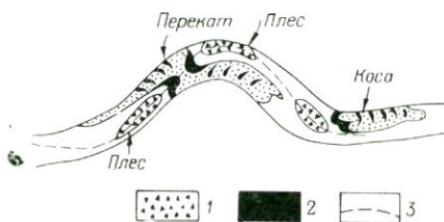


Рис. 1. Схема распределения тяжелой фракции в русловом аллювии.  
1 — тяжелые минералы крупных классов (пластовый металл); 2 — тяжелые минералы мелких классов (косовый металл); 3 — линия стрежня (по Ильинскому и др., 1961).

тяжелые минералы крупных классов (пластовый металл); 2 — тяжелые минералы мелких классов (косовый металл); 3 — линия стрежня (по Ильинскому и др., 1961).

такие тяжелые полезные минералы, как золото и платина, но и относительно легкие алмазы.

Для водотоков, характеризующихся углублением своих долин (горные речки, ручьи, мелкие притоки), отмечается отсутствие или малая мощность современного аллювия. В этих условиях большое, часто решающее значение для выбора мест взятия шлиха имеет характер коренных пород ложа реки. Опытный поисковик знает, что тяжелая фракция концентрируется на карбонатных породах: они легко выщелачиваются и растворяются поверхностными водами. Это приводит к возникновению многочисленных неровностей, мелких и крупных карстовых углублений, полостей, желобов и воронок, играющих роль ловушек тяжелых минералов. Накопление частиц повышенного удельного веса на сланцевых породах зависит от соотношения между направлением течения потока и элементов залегания сланцев. Например, излюбленный золотоискателями «ребровик» или «щетка» образуется в местах, где сланцы пересекаются потоком под углом (Ициксон, 1953). При опробовании руслового аллювия необходимо отбирать поэтому наиболее глубокие части рыхлых отложений, тяготеющие к плотнику. В некоторых случаях опробуют и самые верхние участки плотника, обогащенные шлихом.

Особенно важно учитывать особенности строения плотника при выявлении потоков рассеяния более легких минералов тяжелой фракции (алмаз, гранат). Эти минералы в отличие от золота и платины переносятся водотоками на весьма большие расстояния от коренного источника и широко рассеиваются в отложениях речных долин. Встречая на своем пути сланцы, карбонатные или трещиноватые породы, они легко задерживаются на их неровной поверхности, образуя местные скопления, легко выявляемые при шлиховании.

Общая тенденция распределения тяжелых минералов в тех или иных участках русел локально усиливается или ослабляется различными микропроцессами. Знание их помогает взять хороший шлих даже в том случае, если в целом осадки характеризуются малым содержанием тяжелой фракции. Так, на прирусловых отмелях рек с достаточно широкой водной поверхностью и глинисто-песчаными берегами возникают локальные участки обогащения тяжелыми минералами в виде своеобразных пятен, полос и микрослоев мощностью до нескольких миллиметров. Они создаются в меженью прибоем микроволн на гранях уреза воды. При преобладании в шлихе железорудных минералов «пленка» имеет черно-серые оттенки, зеленовато-серый цвет характерен для эпидота. Гранат обуславливает

красноватые и коричневатые тона (Zeschke, 1961). Естественное микрообогащение тяжелыми минералами происходит в руслах временных водотоков, стекающих в реку по пологим склонам развивающихся террас и отложениям прирусловой отмели поймы. Особенно хорош шлих в микропромоинах, откуда легкая фракция выносится наиболее интенсивно.

Удобнее проводить шлихование в меженный период, поскольку именно в это время обнажаются косы, перекаты, участки коренного ложа рек, а также нижняя часть бортов и террас, обогащенная тяжелыми минералами. В паводок же большинство кос залито водой, русловые отложения совершенно недоступны для поисковика, а результаты опробования не могут считаться надежными.

Хорошим критерием, помогающим в выборе мест шлихового опробования, является литологический, главным образом гранулометрический, состав речных отложений. Наиболее вероятна повышенная концентрация тяжелых минералов в грубообломочном относительно мало сортированном материале: галечнике, неравномернозернистом гравии, мелкозернистом песке с галькой.

Глинистые примазки, связывающие гравийный и галечный материал, в некоторых случаях могут концентрировать и тяжелую фракцию, особенно такие минералы, как золото и платина. Резко обеднены тяжелыми минералами глины, илы, мелкозернистые хорошо сортированные пески.

При поисках золота, кассiterита и других редких минералов правильность выбора мест опробования удобно и достаточно надежно контролируется общим количеством тяжелой фракции в пробе, что хорошо видно уже в процессе промывки и доводки шлиха на лотке. Как известно, различные тяжелые минералы ведут себя в водном потоке сходным образом, подчиняясь одним и тем же закономерностям. Участки, где концентрируется один минерал повышенного удельного веса, одновременно благоприятны для концентрации других шлиховых минералов (Лунев, 1967).

Ценные, но редкие минералы — золото, платину, кассiterит — необходимо искать поэтому в местах повышенных содержаний магнетита, циркона и ильменита. Отсутствие полезного минерала в этих местах определенно говорит о бесперспективности дальнейших поисков. При малом же содержании обычных минералов желательно повторное шлихование на тех участках водотоков, где имеются более благоприятные условия для отложения тяжелой фракции.

Поиски ореолов рассеяния в делювии и элювии обычно начинают после выявления участков долин, обогащенных полезными минералами. На первом этапе проводится опробование бортов долины реки. Чаще всего для этого проходят вертикальные борозды. Иногда достаточно опробовать подножие коренного доколя террасы, где скапливается естественно обогащенный осыпающийся с бортов материал. В дальнейшем ореолы прослеживаются по одному из бортов долины. Обычно здесь проходят конуши или шурфы по определенным линиям, расстояние между которыми зависит от масштаба работ и характера рельефа.

### ОТМЫВКА ШЛИХА И ЕГО ОБРАБОТКА

Отмывка пробы — весьма важный момент шлиховой съемки, поскольку от ее правильного проведения зависят конечные результаты минералогического анализа, правильная оценка исследуемой территории.

Для промывки в условиях поисково-съемочных и разведочных работ чаще всего используется обычный деревянный лоток. Простота его, малый вес, удобство в работе, хороший процент извлечения шлиховых минералов делают лоток незаменимым даже в наше время бурного развития техники.

Лотки имеют самую разнообразную форму (от изометричной до весьма удлиненной), могут быть плоскими и с большой глубиной, с поперечной бороздкой или без нее. В маловодных районах целесообразнее использовать азиатский ковш. Он очень непроизводителен, но дает возможность вести промывку при ничтожно малом объеме воды.

В условиях стационарных партий для получения шлиха применяют винтовой сепаратор, бутару и ваншерт. Производительность их значительная, но они довольно тяжелы, громоздки, на их установку и регулировку часто требуется много времени.

Вес исходной промываемой пробы должен быть одним у всех поисковиков. Только тогда можно сопоставлять полученные результаты. По вопросу о величине исходной навески нет единого мнения. Одни исследователи предлагают промывать 0,01 м<sup>3</sup> рыхлой массы (один лоток), другие 0,02 м<sup>3</sup> (два лотка). Нам кажется, лучше брать два лотка, поскольку затраты труда увеличиваются незначительно, зато в два раза возрастает вес получаемого шлиха, а соответственно и количество полезных минералов. Это не только повышает чувствительность шлих-

вого опробования, но и в случае необходимости позволяет отобрать достаточное для различных исследований количество минерала. Если учесть к тому же, что повторно взять шлих в данном месте в следующий полевой сезон представляет определенные трудности и связано с дополнительной, часто огромной затратой труда, то преимущества большой навески становятся очевидными.

Процесс отмывки рыхлой породы на лотке или ином приборе состоит в селективном смыве легких минералов, в первую очередь кварца и полевого шпата. В результате полученный шлих резко обогащается тяжелыми минералами.

Мы не останавливаемся на описании самого процесса промывки рыхлой массы, поскольку это искусство, которым можно овладеть лишь на практике под руководством опытного промывальщика. Отметим лишь некоторые важные детали. Еще в первую стадию промывки необходимо полностью освободиться от глинистых веществ путем тщательного их отмучивания. В противном случае потери тяжелых минералов будут очень велики, ибо зерна шлиховых минералов, образуя вместе с содержащими их глинистыми минералами общий агрегат невысокого удельного веса, легко смываются с лотка. Кроме того, мелкие зерна тяжелых минералов, свободные от обволакивающей их глинистой корки, флотируются в образующейся глинистой суспензии и также уходят с лотка.

Многие исследователи отмечают, что при промывке на лотке значительная часть самых мелких частиц теряется. Это имеет особенно большое значение при поисках аллювиальных и прибрежно-морских россыпей, как современных, так и погребенных, на 70—80% образованных именно этими фракциями. Как показывает опыт, в этих случаях хорошие результаты получаются при многократной промывке одной пробы. Например, исследовавшиеся нами прибрежно-морские россыпи, особенно на некотором удалении от берега, представлены очень мелким материалом, который «плывет» с лотка. Поэтому для улавливания возможно большего количества тяжелых минералов одна пробы промывалась 4—6 раз. В результате удавалось извлекать тяжелые минералы почти полностью (потери не превышали 5—10%).

При поисках золота и платины иногда получают концентрат, нацело состоящий из более тяжелых минералов (магнетит, ильменит, пирит), так называемый черный шлих, дающий очень искаженную картину соотношений минералов в исходной рыхлой массе. Для более полного улавливания минералов с умеренно высоким удельным весом шлих должен домываться

диль до серого шлиха, в котором паряду с большим количеством легких минералов присутствуют апатит, турмалин, флюорит и др. Промывку заканчивают в тот момент, когда при сбросе воды на дне лотка появляется цветная (черная, зеленая или красная, в зависимости от состава шлиха) каемка зерен тяжелых минералов. Во избежание значительных потерь минералов дальнейшее сокращение шлиха (доводку) желательно проводить в ковше или глубоких алюминиевых чашках, тарелках и т. д.

Геолог должен систематически контролировать качество работы промывальщика. Ициксон (1953) рекомендует для этого сравнивать выход шлиха у разных промывальщиков и другие приемы.

Сушите шлих в жестяном или алюминиевом совочке на слабом огне. Никоим образом нельзя допускать сильного его прогревания, поскольку это ведет к исчезновению или интенсивному изменению ряда минералов: киноварь полностью улетучивается, кассiterит иногда окрашивается в красный цвет, сульфиды подвергаются обжигу, ильменит может приобрести сильномагнитные свойства.

После промывки и сушки желательно провести первичный качественный анализ полученного шлиха. Он заключается в диагностике и примерном определении количества полезных минералов или их спутников путем простого просмотра при помощи лупы. Полученные данные позволяют более целенаправленно осуществлять дальнейшие поисково-разведочные работы.

Дальнейшая обработка шлиха (подготовка его к минералогическому анализу) проводится в лабораторных условиях (рис. 2).

Взвешивание и рассев материала на две фракции — первый этап обработки шлиха. Ситовый анализ необходим, ибо очень трудно чисто разделить и в дальнейшем просмотреть и описать минералы, значительно различающиеся между собой по величине зерен. Крупная фракция (+1,0 мм) взвешивается и упаковывается в отдельный пакет. На этом ее подготовка к минералогическому анализу заканчивается. Фракция -1,0 мм подвергается дальнейшей обработке.

Сокращение пробы в том случае, когда вес тяжелой фракции превышает 2 г, рекомендуется почти всеми руководствами (Новиков, 1970; Захарова, 1960; Озеров, 1959 и др.). В процессе сокращения вес пробы уменьшается до 1/2—1/16 ее первоначальной величины. Такое резкое уменьшение мотивируется необходимостью экономии времени и труда, а также тяжелых жидкостей, идущих на обработку шлиховых проб.

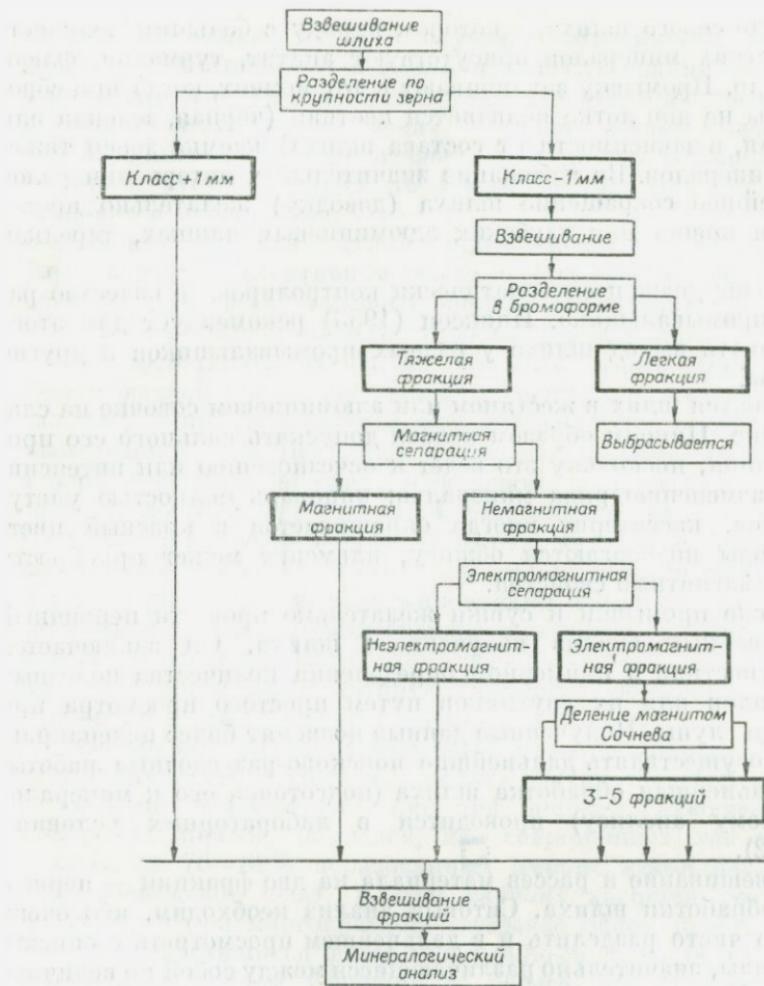


Рис. 2. Схема обработки шлиха.

Целесообразность уменьшения навески не вызывает возражения в случае поисков таких минералов, как магнетит, ильменит, циркон и др., характеризующихся большими содержаниями в коренных источниках и связанных с ними шлиховых ореолах. Сокращение пробы приводит лишь к пропорциональному уменьшению количества этих минералов в отквартованной части, что не мешает выявить и весьма точно подсчитать их

количество во всем шлихе. Месторождения же золота, касситерита, вольфрамита, киновари и других редких минералов весьма часто проявляются в шлихах, особенно взятых на некотором удалении, всего лишь одним-двумя зернами. При уменьшении навески в два, а тем более в четыре и более раз можно легко отквартовать эти столь важные одно-два зерна и, следовательно, не обнаружить шлиховой ореол слабой интенсивности. Поэтому при поисках месторождений редких минералов от сокращения проб необходимо отказаться.

Следующий этап — разделение проб в тяжелых жидкостях. Для массового анализа чаще всего используется бромоформ как относительно дешевая, маловязкая и недифицитная жидкость, хорошо смываемая спиртом или ацетоном. Другие жидкости, с другими удельными весами, обычно применяются для более дробного разделения минералов с близкими значениями удельного веса или для выделения мономинеральных фракций.

Удельный вес бромоформа около 2,9, вследствие чего общепринятое разделение минералов по величине удельного веса на легкие и тяжелые основано на их поведении в бромоформе: тяжелые минералы погружаются, легкие вс凭ывают. Дальнейшей обработке и изучению подвергается лишь тяжелая фракция, легкая, на 95% представляемая кварцем и полевым шпатом, выбрасывается.

Магнитная сепарация проводится обычным магнитом. В магнитную фракцию чаще всего попадают магнетит, титаномагнетит и железная стружка, встречающаяся в концентратах из разведемых или отработанных россыпей. Немагнитная фракция подвергается электромагнитной сепарации, отделяющей диамагнитные минералы от парамагнитных с разделением последних на более узкие группы. Это осуществляется при помощи электромагнита, питаемого от осветительной сети, аккумуляторов или батарей. Может быть также использован постоянный магнит высокой интенсивности, наиболее удачная конструкция которого предложена Сочневым (тип С-5). Обычно делают на две фракции: электромагнитную и неэлектромагнитную. Первая включает такие минералы, как гематит, ильменит, эпидот, биотит, лимонит, турмалин, ортит, сфен, монацит, хлорит, везувиан, фергусонит и др. В неэлектромагнитную фракцию концентрируются циркон, апатит, рутил, касситерит, молибденит, киноварь, сфалерит, шеелит, золото, флюорит, барит, корунд, галенит, топаз, алмаз.

Практика показывает, что выделение только одной электромагнитной фракции ведет к пропуску полезных минералов,

содержащихся в шлихе в малых количествах. Это снижает качество минералогического анализа. Кроме того, затрудняется количественное определение состава шлиха. Поэтому электромагнитную фракцию желательно делить на более узкие группы, что лучше всего делать магнитом Сочнева. Такое деление не представляет особой сложности, но должно проводиться непосредственно тем минералогом, который просматривает шлихи, поскольку для каждой пробы требуется свой индивидуальный подход.

Минералогом М. Ф. Остащенко (личное сообщение) часть шлихов была обработана по двум методикам—без разделения электромагнитной фракции и с разделением ее на 5 частей: 1) ильменитовую (ильменит, гранат), 2) амфиболовую (амфибол, ксенотим, вольфрамит), 3) ортитовую (ортит, эпидот), 4) лимонитовую (лимонит), 5) монацитовую (монацит, фергусонит). В этих шлихах были обнаружены и правильно подсчитаны содержания ксенотима, монацита и ортита, пропущенные при анализе неразделенной электромагнитной фракции.

Следовательно, электромагнитную фракцию необходимо делить на более дробные части. В крайнем случае можно ограничиться лишь двумя электромагнитными фракциями — сильно- и слабоэлектромагнитной. Изучение лишь одной электромагнитной фракции допустимо только как частный случай, при бедном минеральном составе шлиха и малом его количестве.

Электромагнитной сепарацией и взвешиванием заканчивается подготовка шлиха к минералогическому анализу. К этому остается лишь добавить, что к разработке схемы обработки пробы необходимо подходить творчески. Например, с точки зрения затрат труда выгоднее начинать с разделения шлиха в бромоформе, а затем делить тяжелую фракцию ручным магнитом и магнитом Сочнева. Однако в случае черного шлиха, содержащего лишь самую малую примесь легких минералов, вначале необходимо отделить магнитную фракцию, а оставшуюся часть делить в тяжелой жидкости.

## ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ШЛИХА

Изучение шлиха начинается с диагностики минералов. Это очень важный момент, поскольку от качества его выполнения зависят результаты шлиховой съемки.

Основным методом диагностики минералов является просмотр шлихов под бинокуляром. Опытный минералог без труда

определяет 5—6 десятков минералов, наиболее часто встречающихся в шлихах (по форме зерен, их окраске, блеску, прозрачности, внутренним рефлексам, окатанности частиц, наличию или отсутствию пленок вторичных изменений и др., иногда с трудом поддающимся описанию, но весьма характерным признакам, хорошо знакомым опытному минералогу).

Для диагностики более редких минералов просмотра под бинокуляром недостаточно. Приходится прибегать к иным методам, чаще всего это или микрохимические реакции, или оптическое изучение (просмотр минеральных зерен под микроскопом в иммерсионных жидкостях и коноскопии). Оптический метод позволяет выяснить основные оптические характеристики минерала, приближенно оценить величину светопреломления и установить его принадлежность к той или иной группе.

Микрохимический метод основан на качественном открытии наиболее типичного химического элемента, входящего в состав данного минерала. Все микрохимические реакции выполняются на предметном или часовом стекле, в пробирке или фарфоровой чашечке. Конечные результаты качественного анализа должны быть наглядны и соответствовать характеристике исследуемого минерала. Например, помещая шлих на цинковую пластинку, капая на него соляной кислотой и нагревая, очень легко с помощью лупы или даже невооруженным глазом увидеть зерна кассiterита, которые покрываются так называемым оловянным зеркалом.

Помогает в диагностике минералов знание магнитных, электромагнитных, люминесцентных и иных свойств, а также цвета черты, удельного веса и т. д. В тех редких случаях, когда простые методы неэффективны, приходится прибегать к более сложным анализам. Можно рекомендовать минералогам чаще пользоваться рентгеноструктурным методом, для которого требуется очень малая навеска (10 мг) и который безошибочно определяет принадлежность минерала к тому или иному виду. Имеются и другие методы.

Классификация анализов шлиха по полноте охвата минералов имеет очень большое значение. Дело в том, что в процессе поисково-съемочных и разведочных работ отбираются и отмываются тысячи проб. Изучить их все одинаково детально невозможно: очень подробное описание потребует больших затрат труда, схематическое же может упустить много ценной информации, необходимой для правильной оценки выявленных аномалий и района в целом. Поэтому выделяем следующие виды минералогического анализа (Новиков, 1970).

1. Неполные анализы, охватывающие полезные минералы и

некоторые спутники — пироп, турмалин, флюорит, хромит и др., применяются при поисковой разведке, поисковых и съемочно-поисковых работах крупного масштаба. Небольшая часть проб дополнительно подвергается полному или детальному минералогическому анализу.

2. Полные анализы, включающие все минералы шлиха, но в пределах группы гранатов, турмалина, пироксенов и амфиболов. Точного определения минералов не производится. Это наиболее распространенный вид анализа при поисково-съемочных работах.

3. Детальные анализы, когда определяются все присутствующие минералы, а в группах гранатов, пироксенов, амфиболов и турмалина выделяются те разновидности, которые указывают на определенные рудоносные комплексы. Этот вид анализа следует применять при поисково-съемочных работах в тех районах, где возможны сложные петрографические и рудоносные комплексы и где результаты минералогического анализа шлихов могут способствовать обнаружению и оконтуриванию определенных фаций.

При всех минералогических анализах количество ценных минералов шлиха (золото, кассiterит, вольфрамит) должно быть определено как можно точнее методами количественного подсчета. Содержание же прочих минералов определяется полуколичественно, т. е. визуально. Точность такого определения зависит от опыта минералога и обеспеченности его эталонными искусственными смесями с известными соотношениями минералов. Кроме того, сказывается избирательная чувствительность глаза к определенным цветам: на фоне черных или, наоборот, бледных минералов содержание красных, коричневых и зеленых получается завышенным. Качество визуального определения минералов зависит также от их содержания в шлихе: если смесь содержит минерала от 1 до 10%, средняя относительная ошибка достигает 60% в сторону увеличения, при содержании минерала от 30 до 70% относительная ошибка уменьшается до 1—3% и имеет различные знаки. При более высоком содержании ошибка поднимается до 7—8% в сторону занижения.

Количественный минералогический анализ шлиха может быть выполнен несколькими способами. Наиболее удобен и точен метод мономинерального фракционирования и взвешивания. Хотя довольно редко удается выделить весь минерал в мономинеральном виде, однако даже при содержании его во фракции не менее 70% визуальная поправка может обеспечить достаточную точность. Важным условием этого является при-

существие минерала в других фракциях в количестве не более 10—15% от общего его содержания в пробе.

В некоторых случаях удобнее подсчитывать содержание полезного минерала в определенном числе зерен (метод Кухаренко, 1961) или в определенной павеске (метод Иванова, 1963). Тогда шлихи необходимо предварительно разделять при помощи сит на отдельные узкие классы и подсчет производить для каждого из них. Чем дробнее ситовой анализ, тем с большей точностью подсчитывается содержание минерала. При работе по методу Иванова, кроме того, предварительно определяется средний вес одного зерна. Для обеспечения необходимой точности подсчет проводится не менее чем в 1000 зерен.

Если полезного минерала во фракции менее 1%, для количественного определения можно использовать размернозерновой метод Тимофеева (1962). Форма зерен приводится к каким-либо простым геометрическим фигурам (куб, шар, цилиндр, прямоугольник), измеряются их параметры и вычисляется объем. Вес каждого зерна получают, умножив объем на удельный вес, общий вес — путем простого суммирования. Метод Тимофеева не применяют лишь при поисках золота и платины, которые необходимо полностью выделять из шлиха и взвешивать.

Правильное выражение результатов анализа — весьма важный момент, поскольку от него в значительной степени зависит сопоставимость полученных результатов и их правильная оценка. До сих пор нет общепринятой системы изображения результатов анализа. Многие лаборатории количество полезных минералов в шлихе обозначают как единичный знак, знаки, десятки знаков, весовые количества. Присутствие же других минералов отмечается крестиками. Другие лаборатории используют иные методы изображения.

Новиков (1970) предлагает содержание полезных минералов при полных анализах выражать дробью (в числителе — в процентах на тяжелую фракцию, а в знаменателе — в  $\text{г}/\text{м}^3$ ), при неполных — только в граммах на кубический метр. При поисках рудных месторождений, как нам кажется, вместо обозначения  $\text{г}/\text{м}^3$  лучше указывать просто абсолютный вес полезного минерала в пробе, поскольку первоначально промываемая исходная пробы определена и постоянна — это 2 лотка или  $0,02 \text{ м}^3$  рыхлой массы. Все остальные минералы шлиха необходимо выражать в виде процентов на тяжелую фракцию, поскольку это обеспечивает меньшую зависимость результатов анализа от местных условий отложения осадка и даже от качества промывки. Но в отдельных случаях и здесь оказывается маркирую-

еще влияние. Так, необычайно высокое содержание пирита маскирует количественное соотношение других минералов шлиха. В таких случаях желательно пересчитывать результаты анализа на «бесспиритную» тяжелую фракцию.

## ИЗУЧЕНИЕ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МИНЕРАЛОВ

Внешние типоморфные особенности шлиховых минералов дают большую информацию о характере и типе коренного источника. Возьмем историю открытия коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Лазаренко и Бартошинский, 1966). До 1954 г., когда впервые были обнаружены кимберлитовые тела, находки алмазов в россыпях объясняли размывом наиболее основных разновидностей пород трапповой формации или же привносом их древними водотоками из окружающих Сибирскую платформу горных сооружений. В 1952 г. Н. А. Бобков и М. А. Гневушев, просмотрев тысячи кристаллов, пришли к выводу, что по своим кристалломорфным особенностям якутские алмазы сходны с африканскими. Это дало основание высказать предположение, что материнскими породами россыпных алмазов являются кимберлиты. Преимущественная же приуроченность тех или иных форм и морфологических типов кристаллов к определенным районам россыпей говорит о возможности существования множества местных первоисточников. Это предположение в дальнейшем блестяще подтвердилось.

Типоморфными могут быть некоторые редкие минералы, характерные для формирования определенных минеральных месторождений. Так, находка в тяжелой фракции шлиха бадделеита, несомненно, указывает на карбонатиты или щелочные ультраосновные породы как коренной источник. Обнаружение сподумена всегда связано с разрушением редкометальных пегматитов.

Однако чаще типоморфными бывают не сами минералы, которые почти всегда характеризуются широким диапазоном геологических условий образования, а отдельные их признаки, обусловленные вполне определенным процессом минералообразования или же какой-то его стадией (Лазаренко, 1963). Типоморфными признаками могут служить облик кристаллов, кристаллографические формы, особенности строения граней, характер агрегатов, цвет, некоторые физические свойства. Они могут меняться в зависимости от изменения тех или иных факторов среды минералообразования: состава и концентрации

растворов, температуры и давления, скорости кристаллизации и т. д.

Такие чисто внешние признаки минералов, как габитус кристаллов и относительная степень развития внешних форм, особенно чувствительны к изменению физико-химических условий. Зная связь тех или иных форм минералов с их генезисом, можно только лишь по внешним признакам минералов дать довольно полную характеристику условий их образования. Например, при малом пересыщении растворов кристаллы более крупные и весьма правильные, грани их характеризуются сложными символами. Из более концентрированных растворов образуются более мелкие и часто неправильные кристаллы, у них преобладают грани с простыми символами, отчетливее проявляются таблитчатые габитусы, в некоторых случаях штриховка на гранях становится крупнее. Минералы, связанные с процессами метаморфизма, имеют простую кристаллографическую форму, у них развиты только наиболее важные в структурном отношении грани, пластиинчатая, шестоватая и игольчатая форма кристаллов и зерен.

Можно перечислить множество минералов, кристалломорфные особенности которых изучены весьма детально. Но особенно обширные исследования посвящены цирконам. Это обусловлено их чрезвычайно широким развитием в изверженных и метаморфических породах, пегматитах и гидротермальных образованиях, а также исключительной устойчивостью в поверхностных условиях.

Кристаллы циркона образуют множество простых форм и их сочетаний. Только в гранитных породах циркон может образовывать кристаллы не менее чем трех десятков габитусных форм. Некоторые из них приведены на рис. 3. Как показали наши исследования, в пегматитах Дальнего Востока наиболее обычны цирконы, имеющие формы, изображенные на рис. 4. В отличие от гранитов это более уплощенные кристаллы с отношением удлинения к ширине, равным 3—4 и менее, часто метамиктные, изотропизированные.

Кристалломорфные особенности циркона позволяют использовать его для решения широкого круга задач: для суждения о вероятном генезисе минерала, различного рода корреляций изверженных и осадочных пород, определения глубины образования гранитных массивов, примерной возрастной оценки и т. д.

Для возможно более точного определения типа коренного источника из всего наблюдающегося многообразия морфологических форм циркона в каждом конкретном случае желатель-

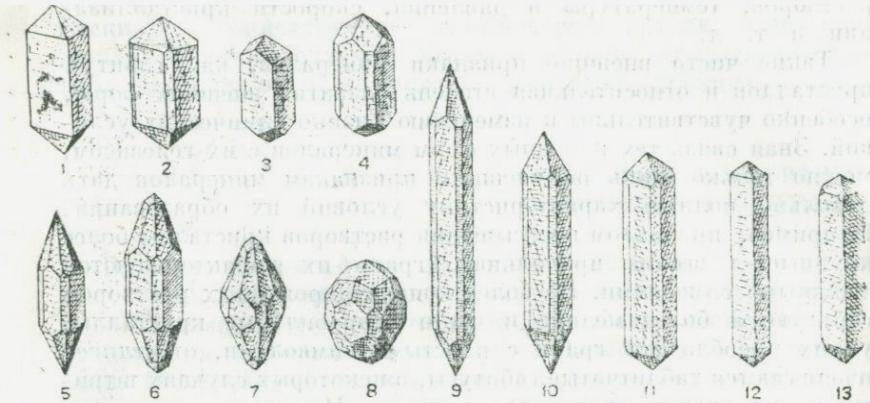


Рис. 3. Форма кристаллов циркона из гранитов (по Ляховичу, 1968).

1, 2 — типичные для калиевых гранитов; 3, 4 — характерные для натриевых гранитов; 5—8 часто встречающиеся в основных разностях гранитоидов; 9—13 — характерные для приконтактовых частей интрузии и жильных пород.

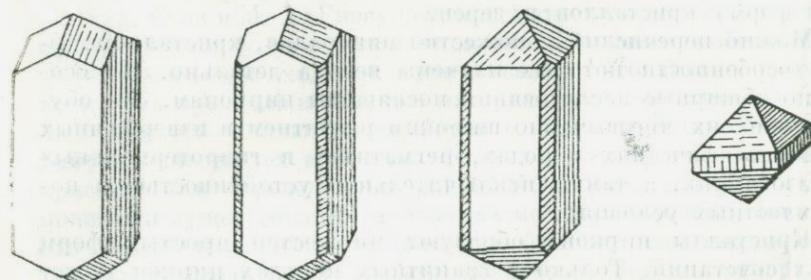


Рис. 4. Форма кристаллов циркона из пегматитов юга Дальнего Востока.

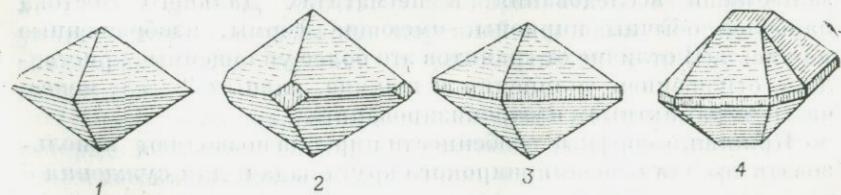


Рис. 5. Форма кристаллов ксенотима из гранитов (1—3) и пегматитов Дальнего Востока (3, 4).

но выделять такие, которые встречаются особенно часто и могут быть характерны для данного типа пород, для данной среды для вполне определенной генетической обстановки.

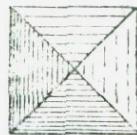
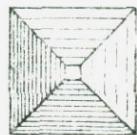
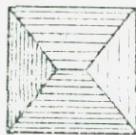
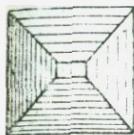


Рис. 6. Кристаллы циркона искаженного облика из кварц-полевошпатовых образований (1, 2). Справа — идеальные формы тех же кристаллов. Вид по оси С.

Как еще один пример минерала, кристалломорфные особенности которого проявлены довольно отчетливо, можно отметить ксенотит, являющийся более редким минералом шлиха. На рис. 5 показаны типичные кристаллы этого минерала из гранитов и пегматитовых жил Дальнего Востока. По внешнему виду ксенотита, обнаруженного при шлиховании, можно безошибочно судить о том, связан он с разрушением пегматитов или же его источником служили обычные выветрелые граниты.

При кристалломорфологических исследованиях следует обращать внимание на искаженные облики и ложные кристаллографические формы, кривогранные и скелетные кристаллы, разнообразные нарости и сростки. Тщательное изучение именно таких несовершенных, уродливых форм может дать представление о деталях кристаллизационного процесса, физико-химических особенностях кристаллообразующей среды и пр. (Шаффрановский, 1968). Например, в изучавшихся нами метасоматических и кварц-полевошпатовых образованиях Средней Азии цирконы имеют весьма искаженный облик (рис. 6). Эти искажения столь устойчивы, что такие кристаллы в шлихах всегда несомненно указывают на наличие поблизости кварц-полевошпатовых тел.

Отклонения от идеальных геометрических плоскостей: пирамиды роста, вицинальные бугорки, штриховка на гранях, фигуры травления, индукционные поверхности — все эти мелочи могут иметь весьма важное значение для расшифровки генезиса кристаллов во всех его деталях и тонкостях. Например, экспериментально доказано, что крутизна вицинальных образований увеличивается с ростом пересыщенности растворов (Мельников и др., 1966). Известная для кварца гидротермального генезиса горизонтальная штриховка на гранях призмы (1010) не встречена на кварце из осадочных пород. Не появляется она и на кристаллах искусственного кварца. Кристаллы

алмаза с углублениями на месте граней куба и ромбододекаэдра характеризуют магмы, резко пересыщенные углеродом. Алмаз с однородными гладкими гранями рос в расплаве, весьма слабо насыщенном углеродом (Вадило, 1961.)

Наряду с внешними формами окраска минералов — это, пожалуй, первое, что бросается в глаза даже при самом беглом просмотре шлихов под бинокуляром. Поэтому, естественно, цвет, а также связь его с тем или иным геологическим процессом привлекали внимание минералогов и геохимиков. Было замечено, что минералы глубинного происхождения, возникающие при высоких температурах и давлениях, в большинстве случаев имеют темный, серый, однообразный цвет. С падением температуры интенсивность окраски минерала значительно ослабевает, и последние генерации оказываются или белыми, или бесцветными. В гипергенной обстановке повышенная валентность обуславливает появление ярких ионов, и образующиеся минералы пестрят зелеными, синими, красными и особенно желтыми и желто-бурыми красками.

Очень много примеров зависимости окраски минерала от его генезиса или положения в общей схеме процесса рудообразования приводит А. Е. Ферсман, который посвятил этому вопросу весьма интересные исследования (1939, 1960). Так, апатит, выделяющийся в магматическую стадию, обычно бесцветен, кристаллизующийся в этап собственно пегматитовый — умеренно голубой и зеленый. Более поздний апатит приобретает темно-зеленую окраску, а передко и фиолетовые оттенки. Гидротермальный апатит окрашен в розоватые и синеватые тона. Для берилла, который довольно часто встречается в пегматитах, описано изменение окраски от высоких температур к низким: синий → желтый, золотистый, иногда бурый → зеленовато-синий (аквамарин) → белый → розовый (воробьевит).

По данным Ляховича (1968), в апикальных частях гранитных массивов чаще встречаются густоокрашенные монацит, циркон, флюорит, а в наиболее низкотемпературных кварцевых жилах преобладают их светлоокрашенные разности. Наблюдается определенная приуроченность красных рутилов к обычным гранитоидам, а черных — к метасоматически измененным участкам. Подобных примеров тесной зависимости окраски минералов от генетической обстановки можно привести очень много. Важнее отметить тот факт, что окраска очень хорошо отражает изменения химизма среди минералообразования, скорость и условия роста минералов, смену окислительных условий восстановительными и т. д. Зеленая окраска брукита

указывает на наличие ионов двухвалентного железа. При увеличении окислительно-восстановительного потенциала железо приобретает заряд +3. Образующийся брукит в этом случае окрашен в желтый цвет (Ляхович, 1968).

Ясно, что при просмотре шлихов опытный минералог по окраске, по различным оттенкам цвета и густоте тона может сделать очень важные выводы об условиях образования и особенностях генезиса шлиховых минералов.

В природе образование и рост кристаллов происходят при непрерывно изменяющихся физико-химических параметрах. Поэтому в процессе роста изменяется соотношение различных граней и кристаллографическая форма кристалла. При шлиховых поисках минералоги ограничиваются изучением главным образом поверхности минерала, что дает представление лишь о самом последнем этапе его образования. Для того чтобы изучать развитие форм кристалла в процессе его роста, т. е. динамически, а не статически, необходимо исследование деталей его внутреннего сложения (Шафрановский, 1961). Нетрудно определить внутреннее строение прозрачных минералов (кварц, турмалин, кассiterит), поскольку неравномерное распределение окрашивающих примесей, замутнение некоторых слоев или зональное расположение мелких твердых и жидких включений легко обнаруживается даже при просмотре минерала под бинокуляром.

При наличии зон с неодинаковыми оптическими свойствами (зональные плагиоклазы, гранаты, оливины) зональность внутри прозрачных минералов может быть выявлена путем просмотра под микроскопом. Для обнаружения зональности внутри однородных на вид кристаллов их протравливают химическими реагентами, используют термолюминесценцию, флюoresценцию. Нередко скрытая кристаллическая зональность выявляется при процессах разложения кристаллов или замещения другими минералами. Зная, чем обусловлено изменение формы роста минерала, можно проследить весь ход эволюции среди минералообразования от момента зарождения кристалла до самых конечных этапов.

После своего образования минералы могут претерпевать растворение (разъедание), регенерацию, перекристаллизацию, скручивание кристаллов, а также различного рода деформации. Такие изменения часто приводят к искашению облика кристаллов и образованию трещинок, микроплоскостей и иных нарушенний структуры, знание особенностей которых может дать важную генетическую информацию. Например, степень естественного растворения циркона, анатита, монацита и других акцесс-

сорных минералов может служить индикатором постмагматических изменений гранитоидов или их генезиса в результате палингнеза осадков.

Наличие среди регенерированных граней маловажных форм, а также степень их развития и частота встреч могут служить критерием длительности процесса регенерации (Лазаренко, 1963). В некоторых случаях химизм растворов, воздействовавших на минерал, можно установить по фигурам растворения. Например, было установлено, что естественные фигуры растворения на кристаллах кварца аналогичны искусственным, полученным с помощью горячих углекислых растворов щелочей, и резко отличаются от искусственных фигур травления, возникающих при воздействии плавиковой кислотой.

Помимо чисто внешних особенностей минералов, при шлихоминералогических поисках широко исследуются такие их свойства, как показатель преломления, удельный вес, люминесценция, микротвердость и др. Это может оказаться весьма полезным для точной диагностики и определения генезиса шлиховых минералов. Хорошим примером служит пироп, розовые и совсем светлые разности которого легко спутать с альмандином. Весьма точно диагностировать пироп и установить его генезис можно, определив показатели преломления и удельный вес.

При перемещении элювиально-делювиальных отложений и переносе водотоками истираются грани минералов, уменьшается размер зерен, меняются соотношения между удлинением кристалла и его толщиной, часто изменяются цвет и блеск граней. Следовательно, очень ценная информация о коренном источнике может быть потеряна. Однако по характеру изменения минерала поверхностными процессами можно судить об удаленности разрушающегося месторождения. Например, наиболее ярким признаком близости кимберлитового тела является находка пиропов с хорошо выраженной скульптурной поверхностью, при переносе на расстояние 8—10 км отмечается некоторое их сглаживание, на расстоянии около 40 км от источника они полностью исчезают. Пироп с легкой истирающейся келифитовой оболочкой встречается в русле реки не далее 11 км от трубок взрыва (Прокопчук и др., 1964).

Наличие в шлихах физически неустойчивых минералов, таких как барит, лимонит, пирит в грубообломочном виде, часто в недезинтегрированных сростках, дает косвенное доказательство наличия поблизости тектонических нарушений.

Некоторые особенности внутреннего строения (линия скольжения, полосчатые структуры первичных зерен и т. д.) россып-

ного золота могут быть обусловлены влиянием трения и ударов при транспортировке, а также электрохимической коррозией. В ряде случаев в деформированных участках зерен имеет место рекристаллизация — образование на месте деформированных зерен новых, с искаженной кристаллической структурой. По мнению Николаевой (1958), присутствие в русловых россыпях золотин с часто встречающимися участками рекристаллизации указывает на обогащение их за счет перемыва древних россыпей.

Описание типоморфных особенностей минералов отнимает очень много времени. Минералог шлиховой партии за год должен просмотреть полторы — две тысячи проб. Поэтому весьма своевременна работа Сочневой и Новикова (1970), предлагающих кодировать результаты описания шлихов и отдельных минералов. Помимо своего основного назначения — подготовки минералогических анализов к математической обработке, кодирование значительно снижает затраты труда на перечисление свойств минералов. Например, кодируя такое свойство минералов, как наличие в них включений, можно ограничиться лишь несколькими цифрами:

Шифр	Включения
1	Не содержит
2	Газово-жидкие
3	Дисперсные
4	Минералов непрозрачных
5	» прозрачных окрашенных
6	» прозрачных бесцветных
7	Ориентированные
8	Неориентированные

Таким же методом кодируются крупность зерен, габитус, кристаллографические формы, цвета, спайность, излом, характер поверхности зерен, окатаанность и прочие свойства минералов. Кодирование позволяет унифицировать описание типоморфных особенностей минералов и сделать сопоставимыми данные разных авторов.

#### МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

Ассоциацию минералов в коренном залегании с материнскими породами можно определить как генетическую. Возникновение ее обусловлено физико-химическими особенностями ге-

незиса месторождения, металлогенической специализацией региона, составом вмещающих пород и т. д. По совокупности минералов генетической ассоциации определяют тип коренного источника и геологические условия образования полезного ископаемого. Желательно поэтому при просмотре шлихов минералы, входящие в генетическую ассоциацию, описывать особенно подробно. Однако зачастую сделать это довольно трудно, поскольку не всегда возможно исключить из списка обнаруженных минералов те, которые попали в водотоки из вмещающих пород и не связаны непосредственно с разрушающимися месторождениями. Кроме того, физически и химически неустойчивые минералы в процессе переноса истираются, другие теряются при промывке. Поэтому во многих случаях приходится ограничиваться минералами-спутниками или же сростками, которые охватывают лишь часть минералов генетической ассоциации.

Очень часто шлих представляет собой смесь минералов, большинство из которых не связано друг с другом парагенетически. В этих случаях желательно выделять аллювиальные ассоциации, играющие большую роль при поисках россыпей различных типов.

### Генетические ассоциации

В верхней части земной коры наибольшим развитием пользуются ассоциации ультраосновных — основных, средних и кислых изверженных, а также метаморфических пород. Повсеместно развитые терригенные осадочные породы отражают минеральный состав перечисленных генетических групп, но значительно обеднены физически и химически неустойчивыми минералами. Разрушаясь, изверженные, метаморфические и осадочные породы создают своеобразные макропровинции, характеризующиеся определенным набором и соотношением шлиховых минералов. На этом фоне выделяются менее распространенные, но имеющие важное поисковое значение минеральные ассоциации пегматитов (гранитных и щелочных), пневматолитов и гидротермальных, а также некоторых типов руд, непосредственно связанных с изверженными породами (например, формация минералов платиновой группы).

Важность изучения ассоциаций шлиховых минералов покажем на следующем примере. Известно, что такие широко распространенные минералы, как магнетит, циркон, апатит, ильменит, гранат и некоторые другие, встречаются практически повсеместно и, следовательно, постоянно присутствуют

в шлихах. Поэтому они, как правило, непригодны для выявления рудных тел. Однако ассоциации этих минералов в ряде случаев могут служить ценным поисковым признаком. Так, в центральной части Сибирской платформы по соотношению в шлихах ильменита, циркона, граната, рутила, пирита и магнетита было выделено семь минералогических ассоциаций: циркон-гранат-ильменитовая, ильменит-гранатовая, ильменитовая и др. Сопоставление участков их распространения с алмазоносностью геологических образований позволило наметить районы возможного нахождения кимберлитовых тел и промышенных россыпей алмазов. Было выяснено, что к участкам распространения ильменитовой ассоциации (ильменит 75—80%, гранат, пирит, магнетит, титаномагнетит) приурочены выходы трубок взрыва; наличие в шлихах циркон-гранат-ильменитовой ассоциации говорит о возможности обнаружения в этих местах алмазных россыпей.

Наибольшее поисковое значение имеют генетические ассоциации, включающие ценные рудные минералы, которые служат несомненным показателем наличия вблизи разрушающихся коренных рудных источников. Другие минералы ассоциации указывают на генетический тип месторождения. Например, наличие в шлихе наряду с пирохлором титаномагнетита, магнетита, циркона и апатита свидетельствует о близости карбонатитов. При обнаружении же в шлихе совместно с пирохлором значительных количеств ильменита и циркона следует ориентироваться на поиски альбитизированных гранитов.

Для пегматитов юга Дальнего Востока нами составлена таблица, по которой можно определить, на поиски какого типа руд следует направить усилия при обнаружении в шлихах той или иной ассоциации минералов (табл. 1).

Минеральные ассоциации и количественные соотношения минералов шлиха закономерно изменяются по мере удаления от коренного источника. Более устойчивые минералы прослеживаются на большие расстояния, и доля их в минеральной ассоциации постоянно возрастает. Менее устойчивые по мере удаления от месторождения количественно убывают вплоть до полного исчезновения. Наряду с этим в шлихи добавляются новые минералы, высвободившиеся при разрушении пород, характеризующихся уже иным набором минералов. Чем ближе к коренному источнику взят шлих, тем более в его составе преобладают генетические спутники. Если в шлихах появляются ассоциации все менее устойчивых, а также обнаруживаются и количественно постепенно увеличиваются все более редкие минералы, это достоверно говорит о приближении

Таблица 1

**Генетические ассоциации пегматитов различного типа  
(южная часть Дальнего Востока)**

[ Тип пегматитов	Минералы шлиха		
	обычные	второстепенные	редкие
Керамические и стройматериалы	Гранат, турмалин, магнетит, циркон, пирит, апатит, ильменит	Сфен, анатаз	Кассiterит, флюорит, рутил, эпидот
Слюдоносные	Гранат, турмалин, ильменит циркон, касситерит, пирит, апатит, колумбит, сфен	Галенит, шпинель, анатаз	Магнетит, рутил, хризоберилл, ильменорутил, флюорит, эпидот
Редкометаллизированные	Турмалин, гранат, колумбит, касситерит, пирит	Ильменорутил, топаз, циркон, сфен, флюорит, сподумейн	Апатаз, пирохлор, эпидот, ильменит

рудным телам. Так, появление в шлихах наряду с гранатом турмалином и ксенотитом последовательно сфена, галенита, топаза, далее пирохлора и, наконец, флюорита свидетельствует о близости пегматитовых тел. При поисках оловорудных месторождений наличие в отдельных участках ореола сульфидного шлиха указывает на близость коренного выхода. Эти минералы дают возможность не только выявить месторождение, но и оконтурить выходы отдельных рудных тел.

Набор минералов в шлихах значительно варьирует, часто количество их достигает 20—25. Поэтому трудно выделить среди них те, которые связаны между собой парагенетически. Задача несколько упрощается, если два минерала или более образуют сходные по форме ореолы рассеяния с близко совпадающими контурами. Тогда можно уверенно говорить о том, что эти минералы связаны парагенетически и их появление в шлихах объясняется выветриванием близрасположенного коренного источника. Если содержание ценных минералов достигает весовых или близких к ним величин, такое заключение тем более убедительно.

Генетические ассоциации рудных месторождений выделяются в шлихах довольно уверенно, если предварительно изучен акцессорный состав наиболее распространенных пород района. Подобная работа проведена нами на Безымянном пегматитовом поле (табл. 2). С помощью полученных данных для этой

Таблица 2

**Типичные ассоциации шлиховых минералов Безымянного  
пегматитового поля  
(Становой хребет)**

Порода	Минералы шлиха	
	главные	второстепенные
Гнейсогранит	Пирит, магнетит, сфен, эпидот	Апатит, циркон, ортит
Пегматит	Пирит, ильменит, циркон, эпидот	Поликраз, апатит, турмалин, роговая обманка

территории не представляет особого труда выделить те минералы шлиха, которые связаны с разрушением пегматитовых тел и служат поисковым признаком.

Зная типичные ассоциации акцессорных минералов, в районах широкого развития коры выветривания или же закрытия коренных пород болотами, озерами и т. д. можно проводить картирование с минимальным количеством скважин мелкого ручного бурения. Последние в этом случае должны дополняться густой сетью шлихового опробования. Таким способом Голубков (1967) уверенно расчленил породы, подстилающие Зеньковские болота (Средний Урал), и даже выявил структурные особенности маркирующих горизонтов. Кроме того, по соотношению в шлихах ильменита и сфена удалось выделить площади распространения гнейсов, которые в этом районе очень перспективны для поисков рудных месторождений.

Изучая комплекс тяжелых минералов шлиха, можно выделить терригенно-минералогические макропровинции, которые различаются по содержанию господствующих тяжелых минералов на порядок и более. Например, Уральская макропровинция, по данным Лунева (1967), содержит около 40% эпидота, 30% пироксена, оливина и амфибала, 10% магнетита и хромита. Рядом расположенная Иртышско-Ишимско-Тобольская макропровинция представлена эпидотом (35%), амфиболом (20%), ильменитом (15%) и гематитом (10%). Знание типичных ассоциаций минералов макропровинций помогает проводить палеогеографическое районирование, определять своеобразие древней петрографии и другие палеоособенности областей развития осадочных пород. Минеральные ассоциации могут служить одним из признаков при корреляции геологических разрезов (Батуриш, 1947).

Очень часто при поисках рудных месторождений изучают не все минералы генетической ассоциации, а лишь минералы-спутники. Тем самым дополняют или уточняют шлиховые поиски по главным рудным минералам, а при отсутствии последних в известной мере заменяют их.

Спутником может служить не каждый минерал шлиха, а лишь тот, который удовлетворяет следующим требованиям: 1) должен достаточно легко диагностироваться; 2) встречаться в ограниченном количестве объектов; 3) обладать хорошей устойчивостью в зоне гипергенеза; 4) количество этого минерала в искомых объектах должно быть значительным. Отсутствие даже одного из этих признаков ограничивает возможность использования минерала или же делает его непригодным для шлиховых поисков.

Например, никроильменит находится в кимберлитах в значительном, нередко даже большем, чем пироп, количестве. Однако отличить никроильменит от обычного в шлихах ильменита часто невозможно без специальных исследований. Поэтому для поисков алмаза этот минерал используется чрезвычайно редко, лишь в случае отсутствия или незначительного содержания пиропа, а также при непосредственной близости к коренным породам для их более четкого оконтуривания. Магнохромит, который благодаря большой твердости и химической стойкости может переноситься на значительные расстояния от коренного источника, имеет еще меньшее значение при поисках алмаза. Это объясняется тем, что в кимберлитах он находится в качестве акцессорного минерала и поэтому весьма редко встречается в шлихах, взятых даже в непосредственной близости от месторождений.

Если в шлихах присутствуют главные рудные минералы, т. е. налицо прямые поисковые признаки, минералы-спутники используются для определения генетического типа и геологической позиции оруденения. Так, наличие в шлихах наряду с кассiterитом tantalо-ниобатов указывает на пегматитовый тип оруденения, присутствие вольфрамита — на кварц-касситеритовый, грязеновый или топазо-кварцевый. Здесь минералы-спутники, которые могут быть как рудными, так инерудными, играют вспомогательную роль.

Наибольшее значение минералы-спутники приобретают тогда, когда рудные минералы, неустойчивые в зоне гипергенеза или очень тонко измельченные, в шлихах отсутствуют или недоступны для обнаружения. В этих условиях минералы-

спутники не только дают дополнительную информацию о коренном источнике, но и обеспечивают саму возможность его обнаружения. Так, при выветривании скарново-сульфидных руд легко окисляющиеся халькопирит, сфалерит, а часто и галенит могут не обнаруживаться в шлихах, взятых даже в непосредственной близости от коренного источника, поэтому для шлиховых поисков используют более устойчивые минералы скарнов — гранат, везувиан, эпидот.

Велика роль минералов-спутников и тогда, когда искомые минералы настолько редки, что утрачивают свое поисковое значение. Алмаз, например, так редок, что даже в промышленных россыпях может быть не обнаружен при промывке двух стандартных лотков. Кроме того, алмаз очень трудно диагностируется в условиях полевых şartий. Но обычно в кимберлитовых трубках и продуктах их разрушения он сопровождается пиропом. Последний легко узнать по его ярко-красному цвету или же увидеть в процессе доводки шлиха на лотке, когда он образует красную полоску или отдельные яркие вкрапленики. Кроме того, количество пиропа в шлихах значительно, и не обнаружить его невозможно даже при промывке 1—2 лотков. Существует даже пиронная съемка, основываясь на результатах которой определяют направление дальнейших поисков месторождений алмаза.

На очень интересную и ценную особенность минералов-спутников обратил внимание Билибин (1956). Как правило, эти минералы обладают значительно меньшим удельным весом по сравнению с главнымирудными минералами, особенно платиной и золотом. Благодаря этому они больше рассеиваются как по вертикали, так и по длине долины, часто распространяясь на десятки километров вниз по течению от своего первоисточника и от мест максимальной концентрации тяжелых ценных минералов в аллювиальных отложениях. Следовательно, при появлении в шлихе минералов-спутников можно предполагать возможность существования выше по течению коренного источника.

### Сростки

Некоторые минералы попали в шлихи при разрушении рудных месторождений, большая же часть их связана с выветриванием пород, слагающих исследуемую территорию, и их очень трудно, а часто невозможно отделить от первых, играющих роль главного поискового признака. Этот недостаток отсутствует у минералов, находящихся в сростках: они не только

связаны генетическим родством, но и принадлежат одному рудному телу.

Можно выделить несколько различных по генезису типов сростков. Так, ориентированные нарастания и первично ориентированные срастания обусловлены простым совпадением размеров элементарных ячеек (рис. 7). Структуры взаимного проникновения и мирмекитовые срастания связаны с особенностями генезиса руд.

Хотя сростки представляют собой лишь часть генетической ассоциации, наблюдения над ними помогают определить тип

коренного источника, а в некоторых случаях могут служить основным ключом к открытию рудных месторождений (Жилинский, 1954). Особенно важно изучение сростков промышленно важных с жильными или рудными минералами, поскольку они непосредственно указывают на характер оруденения. Сростки кассiterита с колумбитом характерны для пегматитовых грани-

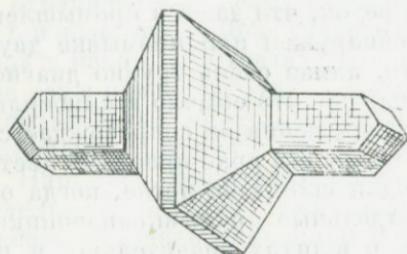


Рис. 7. Сросток длиннопризматического циркона с ксенотитом. Редкометальнозамещенные пегматиты Дальнего Востока.

тов, а со сподуменом — для оловоносных пегматитов. Срастание кассiterита с кристаллами турмалина характерно для многих типов месторождений (грейзеновый, кварцевый, скарновый, турмалиновый и т. д.). Но существует особый тип кассiterит-турмалиновых сростков (часто и с кварцем), который характерен только для кварц-турмалинового жильного или турмалин-сульфидного типа месторождений. Такие сростки представляют собой мелкозернистый, часто плотный агрегат, который прекрасно сохраняется в зоне гипергенеза и в виде хорошо окатанных агрегатов может встречаться в шлихах на большом удалении от месторождений.

Сростки с такими минералами, как флюорит, топаз, вольфрамит, однозначного суждения о коренном источнике не дают, так как эти минералы ассоциируют с кассiterитом в самой различной генетической обстановке. Но такие сростки все же менее характерны для скарнового или сульфидно-касситеритового типа месторождений. В случае срастания касситерита не с одним, а с несколькими минералами решение вопроса о коренном источнике значительно упрощается.

Сростки сохраняют для нас те минералы генетических

ассоциаций, которые в свободном виде чрезвычайно легко истираются. Достаточно упомянуть пурпурно-красные пятна киновари, выделяющиеся на темном фоне основных минералов даже при образовании очень мелких включений.

Изучение сростков может быть полезным при решении многих тонких вопросов генезиса. Так, при наличии в шлихах большого количества ориентированных прорастаний можно говорить о более высоких температурах коренных источников, способствующих возникновению таких образований. Характер структур взаимного прорастания или мирамекитовые срастания опытному геологу многое скажут о типе искомых руд. К примеру, находки еврейского камня безошибочно указывают на пегматиты как коренной источник.

Таким образом, при поисках рудных месторождений на изучение сростков необходимо обращать самое пристальное внимание, включая описание их в общий список обнаруженных в шлихах минералов.

### ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

Результаты шлихо-минералогических поисков наносятся на шлихо-минералогические карты, которые строятся на геологической основе, иногда упрощенной. Карта служит исходным материалом для решения вопроса о дальнейшем направлении поисковых и поисково-разведочных работ в районе. Поэтому она должна давать наглядное представление о пространственном размещении шлиховых ореолов и потоков рассеяния. На шлиховую карту желательно наносить также местоположение уже обнаруженных рудных выходов и рудопроявлений и результаты их минералогического изучения. Это поможет расшифровке выявленных шлиховых ореолов и подскажет местоположение новых перспективных участков.

В настоящее время шлихо-минералогические карты строятся для рудных минералов или их спутников и различных ассоциаций минералов.

Для рудных минералов (кассiterит, золото, киноварь) или их спутников (пироп) основными являются кружковые карты, или карты фактического материала. На их основе строятся все остальные шлихо-минералогические карты. На кружковых картах кружком отмечают место отбора пробы. Количественное содержание минералов показывается соответствующей окраской или штриховкой кружка (рис. 8). На карту обязательно наносятся и «пустые» шлихи, поскольку в противном

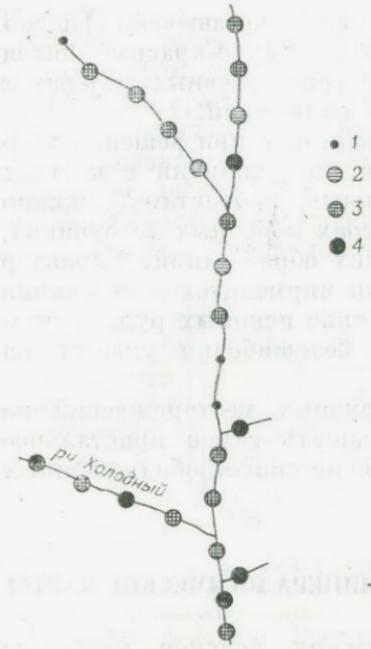


Рис. 8. Кружковая шлиховая карта по кассите-риту (схема).

1 — касситерит отсутствует;  
2 — знаки; 3 — десятки зерен;  
4 — весовое количество. Уча-  
сток рч. Холодного, Сихотэ-  
Алинь.

логические карты, которые являются картами вторичных ореолов и потоков рассеяния. Они отображают распределение рудных минералов или их спутников не только в отложениях долин рек и их притоков, но и в делювиальных образованиях. Полосы вытягиваются вдоль гидрографической сети узкой лентой, ширина которой пропорциональна содержанию минерала в шлихе. Ленты прерываются в тех участках рыхлых отложений, где отображаемый минерал не содержится (рис. 9). Подобные карты наглядно показывают возможное местоположение искомого коренного источника, а также россыпей полезного ископаемого.

Шлихо-минералогические карты для минеральных ассоциаций содержат значительно больше информации, чем подобные же карты одноминеральные. Чаще всего это карты генетических ассоциаций минералов, реже аллювиальных или россып-

случае может создаться впечатление, что отдельные участки гидрографической сети не опробованы.

Особенно велика роль шлиховых карт, например, при поисках рудных тел, закрытых ледниково-ыми отложениями. Ледники, разрушая подстилающие породы, выносили из них золото, касситерит и другие ценные минералы и их спутники. Ореол такого рассеяния имеет вид длинного, десятки и сотни километров, пучка (ледникового веера). Фокус его, находящийся в рудном теле, можно определить, если нанести на карты точки опробования, где были обнаружены указанные минералы, и тем самым оконтурить этот ледниковый веер (так называемый гляциофокусный метод).

Для оконтуривания таких ореолов необходимы материалы шлихового опробования крупного геологического района (Кириченко, 1967; Lee, 1964).

На основе кружковых строятся ленточные шлихо-минера-

логические карты, которые являются картами вторичных ореолов и потоков рассеяния. Они отображают распределение рудных минералов или их спутников не только в отложениях

ных ассоциаций, обычно включающих в свой состав искомые рудные минералы или их спутники. Однако большую роль могут играть карты ассоциаций, в которых промышленно важные минералы отсутствуют.

На картах минералогических ассоциаций кружок, изображающий место взятия шлиха, разделяется на ряд секторов по количеству отображаемых минералов. Величина сектора пропорциональна содержанию минерала в шлихе. Если минерал составляет 50% тяжелой фракции, ему отводится половина круга при содержании 25% — линь четверть и т. д. (рис. 10). Существуют иные способы отображения минеральных ассоциаций (Захарова, 1960; Смирнов, 1957).

На основе кружковых карт можно построить ленточные карты минеральных ассоциаций, аналогичные описанным выше. Каждый минерал имеет свой цвет или штриховку и изобража-

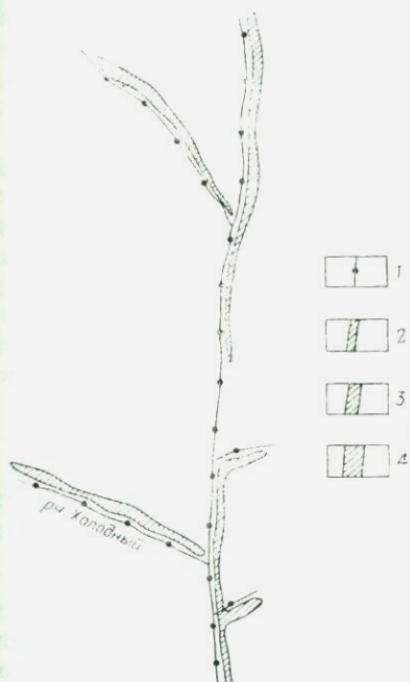


Рис. 9. Ленточная шлиховая карта по касситериту (схема).

1 — место взятия шлиха; 2 — количество касситерита; 3 — знаки, 4 — весовое количество. Участок рч. Холодного. Сихотэ-Алинь.

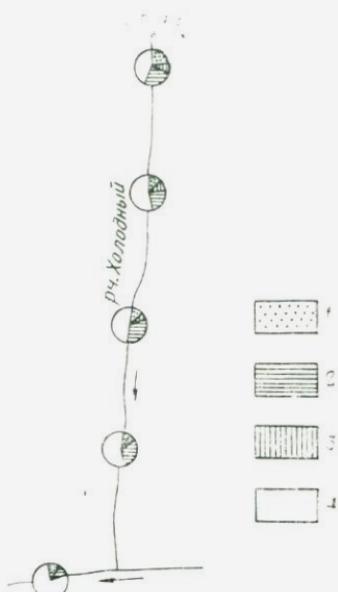


Рис. 10. Шлиховая карта ассоциаций минералов (схема).

1 — касситерит; 2 — вольфрамит; 3 — шеелит; 4 — прочие минералы. Участок рч. Холодного. Сихотэ-Алинь.

ется в виде ленты. Ленты располагаются параллельно друг другу.

Большую информацию могут дать карты «пустых» ассоциаций, представленных лишь обычными минералами шлиха (магнетит, ильменит, гранат, циркон, пирит, рутил и др.). Для этих минералов строятся площадные карты с выделением макропровинций. Последние характеризуются определенным набором и соотношением шлиховых минералов, зависящим от состава коренных пород шатающей провинции и особенностей переноса и сортировки обломочного материала. Хотя эти карты не содержат непосредственных данных о распределении промышленно важных минералов, они могут помочь при поисках коренных месторождений и россыпей.

Карты минеральных ассоциаций, отображающие соотношение минералов, во многих отношениях объективнее, чем карты, показывающие абсолютное содержание отдельных минералов. Это обусловлено тем, что содержание минерала в тяжелой фракции может изменяться в 5—20 и более раз в зависимости от места взятия шлиха. Процентное же соотношение тяжелых минералов остается примерно стабильным даже при значительных колебаниях выхода тяжелой фракции в целом.

В заключение можно отметить, что шлихово-минералогические карты в их нынешнем виде не содержат всей информации, которую дает минералогическое изучение шлихов. Так, типоморфные особенности минералов, окатанность, наличие сростков или же появление каких-то редких, по характерным минералов в шлиховой ассоциации на картах, как правило, не отражено. Но часто именно эти признаки указывают на наличие месторождений, его тип и генетическую обстановку, а также на удаленность взятого шлиха от рудного выхода.

#### КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ШЛИХОВЫХ АНОМАЛИЙ

До настоящего времени определяющим при оценке шлиховых аномалий является количество минерала в шлихе: при повышенных концентрациях в шлихе кассiterита, золота, вольфрамита обычно считают возможным отнести участок к разряду перспективных. Редкие же знаки обычно оставляют без внимания, особенно в тех районах, где в шлихах постоянно присутствуют единичные зерна полезных минералов (шеелит, киноварь, кассiterит).

Однако оценка шлиховых аномалий только по содержанию в пробе ценного минерала явно недостаточна. На большом количестве изученных лихимических аномалий было убедительно показано, что при прочих условиях высокое содержание металла в ореоле и потоке рассеяния может служить благоприятным признаком для оценки промышленных перспектив коренного оруденения. Однако же «бедность ореола рассеяния еще не есть доказательство бедности коренного оруденения» (Соловьев, 1959).

Лихимические поиски дали огромный фактический материал, позволивший разработать весьма точную методику оценки перспективности выявленных аномалий и связанных с ними коренных источников. Наиболее интересные выводы получены для рудных тел и минералов, образующих устойчивые механические или преобладающие механические ореолы и потоки рассеяния. Были разработаны простые, но довольно надежные формулы для количественной оценки лихимических ореолов и потоков рассеяния (Красников, 1965; Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1965). Попытаемся показать, что эти формулы, в несколько видоизмененном виде, могут быть использованы при оценке шлиховых ореолов и потоков рассеяния.

Для более полной сравнительной оценки шлиховых ореолов рассеяния необходимо ввести понятие продуктивности, выражение в метропроцентах минерала по профилю, в квадратных метропроцентах или же в тонах для слоя мощностью 1 м.

Продуктивность шлихового потока рассеяния может быть определена формулой  $P' = S_x (C'_x - C_\phi)$ , где  $C'_x$  — найденное в данной точке количество минерала, выраженное в граммах;  $C_\phi$  — шлиховой рудный фон, вычисленный для исследуемого района;  $S_x$  — площадь бассейна денудации (видимого водосбора) для данной точки русла в метрах. Ее можно определить обмером на карте или по аэрофотоснимкам.

В случае отсутствия шлихового рудного фона или если он незначителен продуктивность шлиховых ореолов определяется еще более простой формулой:

$$P' = S_x \cdot C'_x$$

Величина  $C'_x$  в данном месте определяется как среднее из трех смежных точек

$$C'_x = \frac{C_{n-1}^1 + C_n + C_{n+1}}{3}$$

Это в значительной степени устраняет влияние случайных факторов, проявляющихся при отборе шлихов в конкретной геологической обстановке.

Обычно продуктивность шлихового потока рассеяния вдоль русла меняется: вначале постепенно возрастает, а ниже по течению убывает, иногда резко. За показатель продуктивности потока рассеяния принимают вполне определенное значение  $P'$ , близкое к максимальному. Это помогает избежать ошибки, которая иначе возникнет при сравнении двух или более шлиховых потоков рассеяния.

Содержание минералов в шлихах, взятых из малых водотоков, находится в прямой зависимости от продуктивности делювиальных ореолов рассеяния ( $P$ ), за счет которых они образуются. В этом случае продуктивность шлиховых потоков может быть определена по формуле

$$P' = k_1 \cdot P,$$

где  $k_1$  — коэффициент пропорциональности, отражающий особенности накопления минералов в русловых потоках;  $k_1$  может быть несколько больше или меньше единицы.

Для крупных водотоков связь между содержанием минералов в потоке рассеяния и продуктивностью ореолов сложнее, так как здесь большую роль начинает играть динамика водного потока, а также особенности миграции и отложения рыхлого материала. Количественный учет влияния этих факторов пока невозможен.

Продуктивность элювиально-делювиальных ореолов рассеяния, выявленных шлихованием, может быть выражена формулой

$$P = \Delta x l \sum C_x,$$

где  $\Delta x$  — расстояние между точками отбора проб по профилю;  $l$  — расстояние между профилями в метрах;  $\sum C_x$  — арифметическая сумма содержаний минералов в шлихах для всех точек опробуемого контура.

Определив продуктивность по площади, можно вычислить продуктивность ореола в тонах искомого минерала для слоя в 1 м ( $q$ ) по формуле

$$q = \frac{P}{40} m/m.$$

При детальных шлиховых работах важно хотя бы примерно оценить масштабы рудопроявлений и месторождений. Если при разрушении рудных тел возникают аналогичные им по мас-

штабам шлиховые ореолы, прогнозные запасы на глубину  $H$  могут быть определены по формуле

$$Q_H = k_2 qH.$$

Коэффициент  $k_2$  определяет величину разубоживания ореола поверхностью процессами выветривания и денудации, степень концентрации полезного ископаемого в геологических телах, а также потери минерала при отмывке пробы. Числовое значение коэффициента, применительно к данному типу оруднения и ландшафтно-геохимической обстановке, определяется из опыта работы в конкретном районе. Например, в Южном Казахстане на основе изучения 18 рудопроявлений свинца, цинка и меди Малахов и Штифанов (1965) для литохимических ореолов определили, что  $k_{\text{Pb}} = 1,45$ ;  $k_{\text{Zn}} = 1,19$ ;  $k_{\text{Cu}} = 0,94$ .

Из элювиально-делювиальных отложений при промывке на лотке извлекается до 40—45% ценных минералов удельного веса 4—5 и до 20—25% удельного веса 3—3,5 (Кухаренко, 1961). Поэтому при подсчете запасов рудных тел по шлиховому ореолу приведенные коэффициенты должны быть увеличены по крайней мере в два-три раза.

Для слепых или слабо вскрытых на поверхности месторождений по шлиховым ореолам не представляется возможным даже примерно оценить прогнозные запасы на глубину. Шлиховой метод неприменим и для месторождений, минералы которых не выявляются или слабо улавливаются при промывке лотком. Например, кассiterит в некоторых кассiterит-сульфидных месторождениях представлен весьма мелкими кристаллами, которые легко теряются даже самым опытным шлиховальщиком.

Таким образом, при оценке шлиховых аномалий, расположенных в одинаковых или близких ландшафтных и геологических условиях, лучше всего опираться не на содержание полезного минерала в шлихе, а рассчитывать продуктивность его ореолов и потоков рассеяния. Это поможет выбрать для детальных поисково-разведочных работ наиболее перспективные шлиховые аномалии, а в некоторых случаях и подсчитать прогнозные запасы в коренном источнике.

## ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ

Практикуемое в настоящее время шлиховое опробование ограничивается просмотром и минералогическим изучением выявленных минералов, выделением и описанием ассоциаций. При шлихо-геохимических исследованиях изучается элементный (химический) состав шлихов: определяется состав минералов, особенно содержание элементов-примесей в них, соотношение изотопов и абсолютный возраст, исследуются газово-жидкие включения и т. д. Благодаря такой обширной и очень точной информации можно уверенно говорить о возможном генетическом, а следовательно, и промышленном типе искомых месторождений, о глубине эрозионного среза и т. д. Появляется возможность проводить поиски шлиховым методом даже при отсутствии в шлихах ценных минералов или их спутников.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА МИНЕРАЛОВ

Познание закономерностей изменения состава минералов, особенно содержания элементов-примесей в них, много дало для развития шлихо-геохимического метода поисков. Накопленный фактический и экспериментальный материал показывает, что распределение элементов-примесей в минералах довольно полно отражает изменение состава среды минералообразования, колебания температуры и давления. Кроме того, на состав минералов влияют степень метаморфизма руд, особенности происхождения материнских магматических пород, металлогеническая специализация региона и многое другое.

Генезис каждого геологического образования, будь то месторождение или массив изверженных пород, имеет свои, иногда, может быть, и небольшие, особенности. Сюда вклю-

чается характер материальных и вмещающих пород, тренциноватость, интенсивность и направление тектонических подвижек, глубина образования, длительность процесса и т. д. И нет ни одного геологического явления, будь оно большое или малое, локальное, местное или региональное, глобальное, которое не отражалось бы в той или иной степени на составе минералов. Поэтому в каждом геологическом образовании минерал характеризуется своим, только ему присущим составом или даже набором элементов-примесей. Другими словами, минералы каждого геологического образования, каждого месторождения имеют свое «лицо», свой неповторимый генетический «пометка», и это помогает найти и выделить данный минерал среди сотен ему подобных, образовавшихся в несколько иных условиях. Это прекрасно видно из табл. 3: содержание элементов-примесей кассiterитов из месторождений, принадлежащих даже к одной формации, часто различается в 5—10 раз и более.

Отметим, однако, что для выявления специфического «пометки» минерала обычно недостаточно знать распределение в нем лишь одного-двух элементов. Желательно брать их как можно более. И действительно, отражать сопряженное изменение сразу 5—6 факторов и более один-два элемента так же не могут, как невозможно решить одно-два уравнения с пятью и более неизвестными. Лишь в случае резкого преобладания одного или двух факторов рудообразования над остальными или же постоянства последних можно при анализе опираться на один-два элемента.

Определенным набором элементов характеризуется не только каждое месторождение, но и любая генетически единая группа геологических образований (формаций, рудных полей и т. п.). Например, определив содержание скандия, индия, вольфрама, циркония, ниобия, титана, ванадия и tantalа в кассiterите шлиха, можно уверенно говорить о генетическом типе коренного источника (табл. 4). Так, миароловые граниты выделяются повышенным содержанием циркония и ниобия, а альбитизированные граниты и редкometальные пегматиты, кроме того, титана и tantalа. В зависимости от генетических особенностей tantalа может быть больше или меньше, но случаев его отсутствия в кассiterите из пегматитов или альбитизированных гранитов не отмечалось. Как видно из табл. 4, по содержанию элементов-примесей не только можно отличить кассiterиты гидротермального генезиса, но и выделить внутри этой группы месторождения кассiterитово-сульфидной (определяются по малым содержаниям индия), кассiterитово-силикатной (отличаются минимальным содержанием ниобия и титана)

Таблица 3

## Содержание элементов-примесей в кассiterитах месторождений Приморья

Рудный район или узел	Месторождение	Формация	Колич. анализированных образцов	$\text{Sc} \times 10^{-4}$		$\text{In} \times 10^{-4}$		$\text{W} \times 10^{-3}$		$\text{Zr} \times 10^{-4}$		$\text{Nb} \times 10^{-4}$		$\text{Ti} \times 10^{-3}$	
				$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
Кавалеровский	Верхне-Генциухинское	Кассiterитово-силикатная	7	21,1	2,9	33,0	5,0	618	126,6	—	—	—	—	46,1	8,0
	Перевальное		14	11	4,8	86	34,5	130	73,0	—	—	—	—	182	98,5
	Лифудзинское		3	13	4,5	95	6,2	127	22,9	—	—	—	—	101	31,1
	Верхнее		11	95,9	32,7	83,5	31,1	188	61,1	—	—	—	—	528,6	228,9
Верхне-Иманский	Верхне-Иманское	Кассiterитово-кварцевая	6	11,8	4,1	17,7	7,2	211	57,6	12,5	5	15,2	2,9	72	34,9
Вознесенский	Осиновское*		12	29	5,4	4,7	1,9	70	16,4	169	36,8	247	122	454	75,7
	Первомайское*		9	2,8	1,1	4,7	1,8	94	33,1	46,8	17,9	35,8	14,2	150,8	41,9
Кировский	Распашное*		25	53	19,1	141	19,5	211	54,9	32	11,5	22	8,1	140	44,7
	Кировское*		32	53	10,5	25	5,1	78	22,2	65	20,2	51	21,7	199	73,8

\* Рассыпь.

Таблица 4

Содержание элементов-примесей в кассiterитах различного генезиса  
(Приморье), вес. %

Генезис кассiterита	$\text{Sc} \times 10^{-4}$	$\text{In} \times 10^{-4}$	$\text{W} \times 10^{-3}$	$\text{Zr} \times 10^{-3}$	$\text{Nb} \times 10^{-3}$	$\text{Ti} \times 10^{-3}$	$\text{V} \times 10^{-3}$	$\text{Ta} \times 10^{-2}$
Миароловые граниты . . .	18	362	27	2145	1551	251	20	Не обн.
Альбитизированные граниты . .	102	77	1084	1218	592	978	16	31
Редкометалльные пегматиты . .	17	38	35	1050	1357	664	25	59
Месторождения формации:								
кассiterитово-кварцевой . .	35	49	113	78	89	236	60	Необн.
кассiterитово-силикатной . .	31	63	255	2,5	3,0	186	106	..
кассiterитово-сульфидной . .	23	5	247	33	35	341	Не опр.	..

и кассiterитово-кварцевой формации (выделяются повышенным содержанием циркония и ниobia).

Известно, что ортит широко распространен в пегматитах, изверженных породах и встречается в гидротермальных жилах. Он содержит значительные количества таких редкоземельных элементов, как La, Ce, Nd. Многочисленные анализы показывают, что соотношение этих элементов изменяется вполне закономерно в зависимости от генезиса ортита (рис. 11). Эти соотношения столь постоянны, что, определив форму кривой распределения La — Ce — Nd, можно уверенно судить о том, попал этот ортит в шлихи в результате разрушения пегматитов, гранитов или же гидротермальных жил (Костерин, 1966а).

Рассмотрим поведение элементов-примесей в некоторых минералах шлиха.

Магнетит — один из самых распространенных минералов земной коры: он встречается в месторождениях самых различных типов, как акцессорный почти во всех изверженных горных породах, начиная

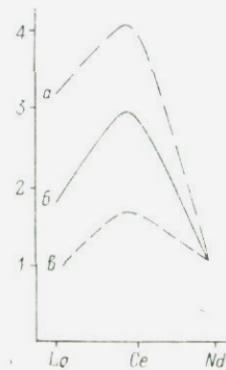


Рис. 11. Соотношение редкоземельных элементов в ортитах различного генезиса (относительно ниобия, условно принятого за единицу).

а — гидротермальные жилы; б — граниты; в — пегматиты.

от ультраосновных и кончая кислыми и щелочными, а также в осадочных толщах. Широкое развитие в коренных породах и хорошая устойчивость в зоне выветривания обусловливают повсеместное присутствие магнетита в шлихах, взятых как из аллювиальных, так и делювиальных отложений.

В магнетите содержится свыше 16 элементов-примесей. Главнейшие из них Mg, Mn, Co, Ni, Zn, замещающие  $\text{Fe}^{2+}$ , Ti, V, Cr, Al, изоморфные с  $\text{Fe}^{3+}$ . В меньших количествах отмечаются Ga, Ge, Sn, Zr и др. Разновидности магнетита выделяются по повышенному содержанию примесей. Так, в магнومагнетите  $\text{MgO}$  8—10% и более, в титаномагнетите  $\text{TiO}_2$  25—27%,  $\text{V}_2\text{O}_5$  до 8% («Минералы», т. 2, 1967).

Содержание и набор элементов-примесей зависят от условий образования магнетита. Проведенное нами исследование интрузивных пород Приморья показало, что наибольшая концентрация (вес. %) элементов-примесей характерна для магнетитов из диоритов, а наименьшая — из гранитов, гранодиориты занимают промежуточное положение:

Порода	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{CaO}$
Диорит . . . . .	18,4	0,74	1,65	0,5	0,009
Гранодиорит . . . . .	2,37	0,35	0,24	0,26	0,005
Гранит . . . . .	0,12	0,20	0,06	0,09	0,005
Приморье в целом . . . . .	5,3	0,304	0,71	0,71	0,006

Магнетиты различных типов месторождений характеризуются довольно типичными наборами элементов-примесей: магнетит из альпийских жил и метаморфических месторождений содержит значительные количества хрома, а из пневматолитопегматитовых образований — галлия. Высокое содержание олова и цинка установлено в магнетитах kontaktово-пневматолитового генезиса. Замечено также, что в наиболее низкотемпературных образованиях (кварцевые жилы и др.) магнетит содержит малое количество примесей — не более 10—12 вместо обычных 16 (Ляхович, 1959). В магнетитах месторождений Алтае-Саянской группы, ассоциирующих с интрузивными комплексами основного габбродиабазового состава, очень много хрома и ванадия. Минимальные содержания этих элементов свойственны магнетитам месторождений, генетически связанных с гранитными интрузиями батолитового ряда. Месторождения, ассоциирующие с интрузиями субщелочного и среднего состава, занимают промежуточное положение. Магнетиты из залежей, располагающихся внутри интрузива или в непосредственном контакте с ним, содержат повышенные количества элементов-примесей. По мере удаления от родоначальной

интрузии в магнетитах закономерно уменьшается содержание титана, марганца, ванадия и хрома (Вахрушев, 1965).

Концентрация элементов-примесей зависит и от глубинности оруденения. Например, в магнетитах месторождений, образовавшихся в условиях земной поверхности в результате фумарольной деятельности вулканов,  $\text{Fe}^{++}$  почти полностью замещен магнием (магногибетит). В месторождениях близповерхностных атомное отношение  $\text{Fe}^{++}/\text{Mg}^{++}$  в магнетитах равно  $2,4 - 13,1$ , в гидротермальных месторождениях сравнительно небольших глубин увеличивается до  $\frac{5,6 - 6,8}{1,2 - 2,4}$ , на больших глубинах, в контактово-метасоматических месторождениях, оно наиболее велико  $\frac{6,8 - 7,3}{0,7 - 1,2}$  (Павлов, Чупрынина, 1955). Нами показаны весьма схематично лишь довольно общие закономерности поведения элементов-примесей в магнетитах различного генезиса. Широкое использование магнетита при шлихово-геохимических поисках предполагает предварительное изучение состава элементов-примесей применительно к искомым типам месторождений и конкретному металлогеническому району.

О цирконе можно говорить как об одном из самых распространенных акцессорных минералов: в больших или меньших количествах он встречается почти во всех типах изверженных и метаморфических пород и в осадочных толщах, присутствует практически во всех шлихах из аллювиальных и делювиальных отложений.

Циркон очень богат примесями — методы спектрального и химического анализа обнаруживают в нем Ce, P, Al, Sn, Fe, Nb, Ta, La и др. Известны разновидности циркона, где содержание этих элементов достигает нескольких процентов.

Характерной примесью цирконов является гафний, «блезнец» циркония по химическим и кристаллохимическим свойствам. Гафний всегда присутствует в цирконах, но в зависимости от генетической обстановки его может быть больше или меньше. Так, в ходе магматической дифференциации гафний предпочтительнее накапливается в остаточном расплаве, поэтому соотношение  $\text{Zr/Hf}$  закономерно уменьшается от основных пород к кислым (Костерин, 1966).

Порода	Zr/Hf
<i>Северная Киргизия</i>	
Габбро . . . . .	71
Диорит . . . . .	62

Порода	Zr/Hf
Гранодиорит . . . . .	58
Гранит . . . . .	45
Алискит . . . . .	36
<i>Кураминский хребет</i>	
Лейкократовое габбро . . . . .	55
Кварцевые диориты . . . . .	44
Гранодиориты . . . . .	37
Лейкократовые граниты . . . . .	34

Нефелиновые сиениты отличаются от пород нормального ряда магматической дифференциации весьма высокими величинами отношения циркония к гафнию. Например, цирконы из гранитов Верхней Тулы характеризуются обычными для этих пород отношениями Zr/Hf — 28—48, а в цирконах нефелиновых сиенитов это отношение достигает значения 84—153 (Павленко и др., 1957).

В цирконах гранитных пегматитов гафния всегда больше, чем в цирконах материнских гранитных пород. И чем больше дифференциированы пегматиты, чем интенсивнее они переработаны, тем больше в цирконах гафния, тем меньше в них величина отношения Zr/Hf. Например, в цирконах из пегматитов Дальнего Востока это отношение имеет следующие значения (Костерин, 1966):

Порода	Zr/Hf
Материнские граниты . . . . .	48
Пегматиты	
слабодифференцированные . . .	41
среднедифференцированные . . .	24
сильнодифференцированные . . .	19
редкометаллизированные . . .	13

Слабодифференцированные пегматиты могут служить керамическим сырьем или использоваться как стройматериалы. Сильнодифференцированные служат источником слюды. Сильнозамещенные пегматиты часто бывают объектом исследования на редкие элементы. Приведенные данные показывают, что цирконы различных пегматитов существенно отличаются по величине соотношения Zr/Hf, что может быть использовано при перспективной оценке пегматитовых жил.

Гидротермальные цирконы содержат гафния меньше, чем цирконы гранитных интрузий. Это обусловлено тем, что комплексные соединения циркония в гидротермах значительно более растворимы и устойчивы, чем аналогичные соединения гафния. Обычно соотношение Zr/Hf в цирконах из гидротермальных образований в полтора-три раза больше, чем в цирконах из материнских интрузий.

Ниже приведены литературные и главным образом наши анализы цирконов на соотношение Zr/Hf:

Источник циркона	Zr/Hf
Основные и средние породы . . . . .	45—70
Гранитоиды . . . . .	35—55
Нефелиновые синеклоги . . . . .	60—160
Редкоземельные пегматиты . . . . .	3—20
Гидротермальные образования . . . . .	60—200

Монацит встречается в щихах довольно часто. В когорном залегании наиболее обычен как акцессорий в гранитоидных, метаморфических и щелочных породах, карбонатитах, пегматитах, а также в эндогенных месторождениях некоторых генетических типов. Самостоятельного промышленного значения монацит здесь не имеет, но сопровождает как спутник многие рудные минералы. В зоне гипергенеза весьма устойчив, поэтому накапливается в россыпях, откуда может быть легко извлечен.

Кроме главного компонента  $\text{GePO}_4$ , в состав монацита входит изоструктурные и изоморфные с ним хаттонит  $\text{ThSiO}_4$  и чералит  $\text{Th}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{PO}_4$ . Состав различных монацитов может быть пересчитан на содержание этих трех компонентов. Как примеси отмечаются железо, алюминий, свинец, реже магний и др. Состав монацита несколько изменяется в зависимости от генезиса. Лучше по сравнению с остальными изучено поведение редкоземельных элементов (РЗЭ). Эта геохимически очень тесно связанная группа служит прекрасным индикатором геологических процессов: соотношение их вполне определенным образом меняется при малейшем изменении генетической обстановки (Костерин, 1966а).

Средний состав редких земель монацита при сумме их, равной 100, следующий: La 24,3%; Ce 44,8; Pr 5,2; Nd 18,8; Sm 3,9; Gd 2,0; Y 1% (Семенов, 1963). Двуокиси тория от 0 до 31,50%, в среднем же 6% (Overstreet, 1967).

Акцессорный монацит из гранитов характеризуется примерно средним составом редких земель ( $\text{Nd} \approx \text{Ga}$ ) и содержит 5—10%  $\text{ThO}_2$  в виде хаттонитовой молекулы. В литературе приводится довольно много анализов монацита из гранитов самого различного возраста, состава, строения и расположенных в самой разнообразной геологической обстановке. Поражает довольно постоянное соотношение редкоземельных элементов в этом минерале, содержание же  $\text{ThO}_2$  меняется. Так, монацит из россыпей Индии, образовавшихся за счет разрушения пород чарнокитовой серии, содержит двуокись

тория 9—11 %, а в таком же монаците из россыпей Бразилии, Нигерии, Малайи и США, возникших в результате выветривания нормальных гранитов, тория только 3—6 ‰.

Монациты из гранитов и связанных с ними пегматитов в одних случаях чрезвычайно схожи по составу, а в других значительно различаются. Это зависит от особенностей пегматитовых жил. Монациты из слабодифференцированных пегматитов по составу редких земель и содержанию тория сходны с акцессорным монацитом гранитов, а часто их составы идентичны. Монациты из дифференцированных пегматитов отличаются по составу от акцессорных монацитов гранитоидов. Чем более дифференцированы пегматиты, тем меньше в монаците из них лантана и церия и больше ниодима, самария и гадолиния и других примесей. В редкометальнозамещенных литиевых и танталовых гранитных пегматитах монацит резко обогащен чернолитовым компонентом, содержит необычно много самария (до 7—16 %) и других тяжелых лантаноидов. Однако в некоторых случаях редкоземельный состав монацитов не зависит от дифференцированности пегматитового остатка. Проведенные нами геохимические исследования по Дальнему Востоку показали, что здесь монациты из слабодифференцированных и редкометальнозамещенных пегматитов имеют очень сходный состав редких земель: в первых соотношение La : Ce : Nd равно 1,0 : 2,6 : 1, а во вторых соответственно 1,1 : 2,5 : 1.

Тип пегматита		Колич. пегма- тиче- ских полей	Общ. ко- лич. тичес- ких анал- изов	Соотношение РЗЭ (Nd=1)		
				La	Ce	Nd
Слабодифференцированные	.	.	3	7	4,0	2,6
Среднедифференцированные	.	.	3	14	0,9	2,3
Редкометальнозамещенные	.	.	1	8	1,1	2,5

Гидротермальные монациты выделяются повышенным содержанием лантана и церия. Как показали наши исследования, эти элементы преобладают даже в том случае, если в гидротермах иттриевая подгруппа РЗЭ преобладает над цериевой или даже если монацит образуется за счет замещения сугубо иттриевых минералов. Тория в гидротермальных монацитах обычно очень мало. Монациты из высокотемпературных жил содержат до 3,4 %, из среднетемпературных 1,4 и низкотемпературных 0,2 % двуокиси тория. В этой же последовательности в монацитах может уменьшаться количество лантана и церия (Тугаринов, Вайнштейн, 1960).

Монацит, встречающийся в месторождениях щелочного ряда, особенно в карбонатитах, резко обогащен лантаном и церием и очень беден торием, чем напоминает монациты из гидротермально-грейзеновых и скарповых месторождений гранитного ряда.

Своеобразен состав монацита, образующегося в окислительных условиях земной поверхности: торий практически полностью отсутствует, но зато необычно много европия — около 1%, чем он резко отличается от гипогенных монацитов, в которых нет этого элемента (Костерин и др. 1962).

Средние значения соотношений редкоземельных элементов в монацитах различного генезиса показаны ниже:

Материнская порода моноцитов	Соотношение РЗЭ (относительно Nd)		
	La	Ce	Nd
Граниты . . . . .	1,4	2,4	1
Гранитные пегматиты . . . . .	1,1	2,1	1
Гидротермалиты . . . . .	3	4,5	1
Среднее значение . . . . .	1,3	2,4	1

### ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ ВО ВТОРИЧНЫХ МИНЕРАЛАХ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ

Элементы-примеси во вторичных минералах зоны окисления достаточно полно отражают особенности первичных руд и характер процессов окисления, однако генетическая интерпретация полученных данных связана с определенными трудностями. Это обусловлено тем, что существующая в гипогенных условиях связь редких и рассеянных с основными, главными элементами рудных тел при переходе в условия гипергенеза нарушается. Часть элементов мигрирует за пределы зоны окисления. У других меняются парагенетические взаимоотношения: в гипергенных минералах главных рудных компонентов уменьшается содержание многих из тех примесей, которые характерны для первичных минералов; гидроокислы железа и марганца, наоборот, обогащаются элементами-примесями, весьма полно отражая состав месторождения в целом.

Например, типичные для галенита и сфалерита индий, кадмий, галлий и таллий встречаются и во вторичных минералах свинца и цинка, но в значительно меньших количествах. Куликова (1962) приводит содержания этих элементов в галените, сфалерите и минералах, их замещающих, одного из полиметаллических месторождений Забайкалья (в вес. %):

Минерал	Индий	Кадмий	Галлий	Таллий
Сфалерит . . .	0,001—0,5	0,05—0,35	0,001—0,005	Не опр.
Смитсонит . . .	0—0,002	0,012—0,051	0,0011—0,0013	»
Каламин . . .	Не обн.	0,0008	Не обн.	»
Галенит . . .	0,005	0,005—0,05	Не опр.	0,001—0,5
Прозрачный церуссит	0,0015	0,005—0,001	»	Не обн.

В свинцовых минералах зоны окисления Кушкыманского месторождения (Средняя Азия) количество индия изменяется следующим образом: галенит (0,0008%) → черный церуссит (0,00018) → плюмбоярозит (0,00017). Содержание теллура в ряду этих минералов уменьшается последовательно в 6 и 13 раз (Куликова, 1966). Это обусловлено тем, что наблюдающаяся в сульфидах связь галлия, индия и кадмия с цинком, а таллия и теллура со свинцом теряется уже на ранних стадиях окисления, пути миграции и формы накопления этих элементов расходятся. Подобная «самоочистка» характерна для всех других рядов парагенетических минералов коры выветривания.

Наряду с этим во вторичных минералах считаются обычными элементы, которые совершенно не встречаются в первичных. Так, церуссит, развивающийся по галениту, содержит лишь ничтожные количества обычных для последнего серебра, висмута и сурьмы. В то же время в нем почти всегда присутствуют стронций и цинк до соотношения  $\text{Sr} : \text{Pb} = 1 : 10$  и  $\text{Zn} : \text{Pb} = 1 : 8,1$  (Дэна и др., 1953). В карбонате цинка обычен кальций в количестве от следов до соотношения  $\text{Ca} : \text{Zn} = 1 : 3$ . В сфалеритах же, за счет которого возникает смитсонит, изоморфизм  $\text{Ca} — \text{Zn}$  не отмечен совершенно. На месторождении Коксу (Джуигарский Алатау) хризоколла содержит значительные количества цинка. Это служит дополнительным поисковым признаком на Zn в данном районе (Розыбакиева, 1966).

В гидроокислах железа и марганца набор элементов-примесей значительно шире, а содержание их зачастую много выше, чем в любом из первичных минералов рудных тел. Например, в лимонитах железных «шляп» повышены концентрации ванадия, мышьяка, молибдена, индия, кадмия, таллия и многих других элементов. Гидроокислы марганца, особенно вад, развитые в зоне окисления рудных месторождений, обогащены литием, медью, никелем, кобальтом, цинком, вольфрамом, золотом, серебром и барием (Щербина, 1962). Содержание этих элементов часто в 100 раз и более превышает кларк их в земной коре. Причина этого заключается в том, что гидроокислы являются прекрасными сорбентами, поглощающими из рудничных вод значительные количества редких и рассеянных эле-

ментов, высвобождающихся при разрушении первичных минералов. Для многих элементов зоны окисления характерно нахождение именно в сорбированной форме. Например, галлий, переходящий в раствор при окислении сульфидов, захватывается гидроокислами железа почти полностью, и лишь ничтожная его часть удерживается в составе вторичных минералов цинка (Кулиев, 1965). Поскольку лишь незначительная часть редких и рассеянных элементов первичных руд входит в гипогенные минералы главнейших рудных компонентов, а для образования собственных минералов содержание их в растворе слишком ничтожно и далеко не достигает необходимых для осаждения концентраций, можно уверенно говорить о том, что если бы не сорбционные явления, зона окисления содержала бы лишь самые малые количества элементов-примесей, а многие из них, рассеянные поверхностными водами, исчезали бы полностью. Поэтому значение гидроокислов марганца и особенно железа как источника важной информации о вещественном и элементном составе первичных руд трудно переоценить. Например, по содержанию меди, кобальта, никеля, свинца, молибдена, золота и серебра в лимонитах коры выветривания представляется возможным отличить рудные выходы от сходных с ними образований болотных руд, железосодержащих карбонатов и продуктов выветривания сингенетических сульфидов (Хокс, Уэбб, 1964):

Образование Борнео	Содержание металлов ( $\times 10^4\%$ )		
	Cu	Ni	Co
Железная «шляпа» сульфидных руд . . .	11000	500	50
Ложная железная «шляпа», образовавшаяся за счет ультраосновных пород	110	200	2000
Сьерра-Леоне			
Кварцевая железная «шляпа» (рудоносная) . . .	900	600	20
Железная «шляпа» с мусковитом (перрудоносная)	50	10	Сл.
	Pb	Mo	Au Ag
			6,6

Детальное геохимическое изучение лимонитов, выявленных в шлихах рудных районов, часто позволяет выяснить довольно тонкие особенности вещественного и минерального состава первичных руд. Так, на полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья лимониты, развивающиеся по сфалеритовым жилам, содержат повышенные концентрации цинка, кадмия, олова, иногда индия, галлия, а лимониты, образующиеся в результате замещения галенитовых жил, характеризуются

повышенной концентрацией свинца, серебра, таллия, а в некоторых случаях и висмута. Арсенопирит-буланжеритовые руды представлены на поверхности лимонитом, обогащенным мышьяком, сурьмой, индием (Дубинина и др., 1963).

Очень часто отложение гидроокислов связано с родниками или с выходом на поверхность подземных вод, обогащенных железом в результате выщелачивания железосодержащих минералов. Если источник связан с окисляющимся рудным месторождением, гидроокислы отражают его состав. Надо только иметь в виду, что различия в подвижности рудообразующих металлов проявляются здесь более резко, чем в остаточных железных «шляпах», для которых перенос поверхностными водами уже не столь важный фактор.

В заключение можно отметить, что количественная оценка состава руд по элементам-примесям вторичных минералов зоны окисления затруднена: гидроокислы железа и марганца содержат примеси в количествах, часто значительно превосходящих концентрацию их в первичных рудах. Другие же минералы зоны окисления, наоборот, бедны примесями. Однако качественный состав исходных руд отражается достаточно полно. Это позволяет широко использовать вторичные минералы, особенно гидроокислы, при шлихто-геохимических поисках.

### МИНЕРАЛЫ-КОНЦЕНТРАТОРЫ

Очень редко можно встретить шлихи, в котором не присутствовали бы минералы, содержащие в своем составе повышенные количества главнейших для искомых месторождений рудных элементов. Это так называемые минералы-концентраторы, знание геохимических особенностей которых позволяет проводить шлиховые поиски даже при отсутствии в шлихах промышленно важных минералов.

Наиболее полные и детальные исследования минералов-концентраторов проведены на материале гранитоидов. Выбор именно этих пород обусловлен рядом причин. Не последнюю роль среди них играет возможность относительно легкого отбора достаточно чистых мономинеральных фракций для геохимического анализа, а также быстрого и точного подсчета процентного содержания составляющих эти породы минералов. Применительно к изверженным породам показателем степени концентрации элемента может служить отношение содержания его в минерале к содержанию в породе в целом. У минерала-концентратора величина этого отношения всегда больше единицы.

Ниже показано распределение свинца и цинка (в граммах на тонну) в минералах биотитовых гранитов хребта Сусамыр (Таусон, 1961)

Минерал	Pb	Zn
Кварц . . . . .	2	11
Полевые шпаты . . . . .	28	12
Биотит . . . . .	28	740
Роговая обманка . . . . .	8	190
Магнетит . . . . .	6	740
Циркон . . . . .	Не опр.	Не опр.
Апатит . . . . .	»	»
Общее содержание в породе . . . . .	22,0	62

и ниобия, молибдена, олова и вольфрама в крупнозернистых биотитовых гранитах Улканского комплекса (Недашковский и др., 1969):

Минерал	Содержание минерала в породе, вес. %	Nb	Mo	Sn	W
Микроклин . . . . .	53,0	47,0	0,8	2,0	1,6
Альбит . . . . .	8,0	55,0	0,8	2,0	2,0
Биотит . . . . .	6,0	1050,0	3,2	58,0	16,0
Кварц . . . . .	32,0	нет	0,5	1,0	0,1
Содержание элемента в породе в целом . . . . .		112,0	1,5	12,0	2,0

В табл. 5 приведены коэффициенты концентрации рудных элементов в некоторых породообразующих и акцессорных минералах гранитоидов. Использованы данные Говорова и др. (1970), Петровой и Легейда (1965), Гамильтона (1968), Щербакова (1967) и др. Коэффициенты концентрации в сфене и ильмените (кроме золота) взяты из статьи Ляховича и Балаевой (1969).

От приведенных в таблице средних значений могут наблюдаться отклонения в большую или меньшую сторону в зависимости от общего уровня содержания элементов в рассматриваемых породах, изменения количества минерала-концентратора, возникновения новых парагенетических взаимоотношений минералов и т. д. Так, основной носитель и главный концентратор олова в гранитах — биотит. В случае же появления сфена последний теряет свое значение, коэффициент концентрации олова в нем уменьшается (Знаменский и др., 1964). При уменьшении или полном исчезновении конкурирующих концентраторов содержание элементов в минералах может резко возрасти.

Количество примесей в минерале-концентраторе при прочих равных условиях находится также в прямой зависимости

Таблица 5

Коэффициенты концентраций рудных элементов  
в некоторых минералах гранитоидов  
(примерные данные)

Элемент	Сфен	Ильменит	Пирокон	Магнетит	Биотит	Роговая обманка
Zn	—	17	—	5	10	10
Nb	108	97	50	5	5	5
Mo	68	6	—	50	2	Нет
Sh	134	31	3—5	3—5	10	5
W	13	45	—	3—5	5	—
Au	—	—	—	20	1,5	2

Примечание. Знак «—» означает, что данные отсутствуют.

От содержания элементов в материнских породах. Например, в сфенах, ильменитах и биотитах из гранитоидов рудоносных в 3—8 раз больше олова, цинка, вольфрама и других рудных элементов, чем в соответствующих минералах из гранитоидов безрудных (Козлов, 1969; Ляхович и Баланова, 1969). Однако при всех изменениях элементного и минерального состава породы повышенная концентрация элемента в минерале-концентраторе сохраняется, величина коэффициента концентрации всегда остается достаточно высокой.

Проводимые в последнее время исследования подтвердили универсальность минералов-концентраторов — они характеризуются высокими содержаниями рудных компонентов также в гидротермальных, метаморфогенных, пегматитовых и иных месторождениях, играя наряду с главнейшими рудными минералами важную роль в общем балансе промышленно важных элементов. Так, в собственных месторождениях цинк, вольфрам и олово в своей значительной части представлены сфалеритом, шеелитом, вольфрамитом и кассiterитом. Вместе с тем повышенные концентрации их отмечены в биотите, роговой обманке, магнетите и ильмените, если эти минералы присутствуют в рудах. Наряду с этим здесь появляются и новые минералы-концентраторы, не свойственные изверженным горным породам. В скарновых месторождениях это пироксени, постоянно содержащий примеси меди и цинка, везувиан и волластонит, концентрирующие повышенные количества олова, молибдена. В оловорудных скарновых месторождениях олово в значительных количествах присутствует в везувиане, гранате, турмалине и хлорите. В гидротермальных полиметаллических месторожде-

ниях повышенные содержания цинка и свинца отмечены в турмалине, хлорите и барите.

В минералах-концентраторах рудных месторождений содержание соответствующих элементов значительно возрастает относительно изверженных пород. Турмалин из кварц-касситеритовых жил содержит в 10—50 раз больше олова, а из золоторудных месторождений в 50—100 раз больше золота, чем акцессорный турмалин из гранитов. В магнетите из золоторудных месторождений золота в 100—1000 раз больше, чем в акцессорном магнетите изверженных пород (Гуров, 1969; Щербаков, 1967; Ляхович, 1968). Обычно чем выше содержание элемента в рудах, тем больше его и в минералах-концентраторах (Лисицын, 1969).

Повышенные концентрации рудных элементов отмечаются не только в минералах-концентраторах, но и в большинстве остальных минералов, слагающих рудные тела (Гишкин, 1969). Это обусловлено тем, что увеличение общего содержания полезного элемента в рудах проявляется не только в повышенном скоплении собственных минералов, но и в увеличении количества элемента, рассеянного в других минералах.

Минералы-концентраторы входят в состав тяжелой фракции шлиха, это их характерная особенность (табл. 6). Так, выше было показано, что для цинка, ниобия, молибдена, олова и вольфрама концентраторами являются биотит, роговая об-

Таблица 6  
Распределение меди, цинка, свинца и олова в тяжелой и легкой фракциях шлиховых проб, вес. %.

№ пробы	Место взятия пробы	Cu·10 <sup>-4</sup>   Zn·10 <sup>-3</sup>   Pb·10 <sup>-4</sup>   Sn·10 <sup>-4</sup>							
		фракция							
		легкая	тяжелая	легкая	тяжелая	легкая	тяжелая	легкая	тяжелая
K-300-ш	P. Ванчии	1,0	26	1,7	17	3,2	270	2,0	20
K-301-ш	»	1,9	30	2,0	17	4,5	180	2,3	45
K-319-ш	Руч. Поселковый	1,3	18	1,4	7,1	6,6	120	4,6	320
K-320-ш	»	1,8	10	2,1	11	8,9	71	5,0	600
K-321-ш	»	2,8	6,0	2,1	9,8	14	66	5,4	400
K-351-ш	Руч. Ущелье	3,2	13	2,0	21	11	200	4,6	200
K-352-ш	»	3,0	33	2,0	24	13	420	5,3	200
K-362-ш	P. Таухе	3,9	37	5,6	14	3,5	100	8,0	45
K-363-ш	»	5,6	32	4,4	18	4,5	89	4,3	100
K-364-ш	»	4,8	50	1,1	18	5,5	91	3,5	240

манка, магнетит, циркон и анатит. Судя по литературным данным, эти и другие минералы тяжелой фракции являются главными концентраторами и большинства других редких и рассеянных элементов. Накопление рудных элементов в легких минералах шлиха, таких как кварц и полевые шпаты, можно рассматривать скорее как исключение из общего правила.

Предпочтительная концентрация рудных элементов в минералах тяжелой фракции предопределяет возможность широкого использования шлихового опробования для выявления и изучения минералов-концентраторов. В тяжелых минералах-концентраторах редкие и рассеянные элементы обогащены не только относительно породы в целом, но и, особенно, по отношению к кварцу и полевому шпату. Это очень важный факт, поскольку последние, если взят шлих из аллювиально-делювиальных отложений, смываются с лотка, и в результате резко увеличивается относительное содержание в шлихе элементов, заключенных в тяжелых минералах-концентраторах. Чувствительность шлихового опробования возрастает. Чем больше коэффициент концентрации элемента в тяжелом минерале, тем чувствительнее шлиховые поиски, тем лучше выявляются прослеживаются и разбраковываются аномальные участки

#### ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ. ИЗМЕРЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА

Изотопные изменения горных пород и минералов — важный источник сведений об особенностях генезиса геологических образований. Изотопный анализ, что особенно ценно, дал такую точную константу, как абсолютное время природных процессов.

В настоящее время известно свыше 1500 изотопов, радиоактивных и стабильных, естественных и полученных искусственно. Содержание и соотношение этих изотопов в породах и минералах меняется, что обусловлено рядом факторов. Среди них можно выделить два главнейших: 1) параметры среды минералообразования, 2) самопроизвольный радиоактивный распад.

Более заметно фракционируют легкие элементы, массовые числа которых не превышают 40: водород, углерод, кислород и сера. Тяжелые изотопы, такие как свинец, торий, фракционируют незначительно и существующими аналитическими методами обычно не выявляются.

В алмазе, графите, кальците и других углеродсодержащих минералах происходит закономерное изменение соотношения изотопов  $C^{12}/C^{13}$  (Ранкама, 1956; Виноградов и Кропотова, 1967; Виноградов и др., 1967; Гавруевич, 1968). Наибольшими соотношениями  $C^{12}/C^{13}$  (до 92,4) характеризуются образования, имеющие в составе органический углерод, уголь, нефть и др. Достаточно высоки значения этого соотношения в изверженных породах, пегматитах и гидротермальных образованиях, наименьшие величины — у осадочных известняков и карбонатных минералов осадочного происхождения (88,5—88,9). Карбонаты, образующиеся в зоне окисления рудных месторождений, отличаются более высокими значениями этого соотношения — 89,6.

Изучая соотношения изотопов  $O^{16}/O^{18}$  из магнетита, кварца и других кислородсодержащих минералов, можно получить большую генетическую информацию. Так, известно, что при выветривании и седиментации легкий изотоп мигрирует легче, в результате содержание тяжелого возрастает. Карбонаты, осаждающиеся в пресной воде, содержат меньше  $O^{18}$ , чем карбонаты морских бассейнов. В основных породах соотношение  $O^{16}/O^{18}$  колеблется от 495,3 до 495,6, а в кислых оно уменьшается до 491,8—494,9.

Галенит, сфалерит и другие сульфиды довольно широко используются для изучения геохимии изотопов серы, из которых легче всего определяется и потому наиболее изучено отношение  $S^{32}/S^{34}$  (Гриценко, Гриценко, 1967; Виноградов, 1967). Совершенно отчетливо намечается разница между биогенной и типично неорганической серой. Сера с отношением  $S^{32}/S^{34}$ , превышающим 22,30, биогенного происхождения, тогда как отношение 22,18 характеризует серу неорганического происхождения. Вторичные сульфиды тяжелых металлов, образующиеся на дне моря, в осадочных породах содержат меньше  $S^{34}$ , чем сера гидротермальных и магматических сульфидов. Более поздние генерации минералов обогащены более тяжелыми изотопами серы.

Самопроизвольный радиоактивный распад вызывает накопление в минерале соответствующих стабильных изотопов. Калиевые минералы (слюды, полевые шпаты) обогащаются изотопами  $Ca^{40}$  и  $Ar^{40}$ . Неустойчивость  $Rb^{87}$  приводит к накоплению  $Sr^{87}$ , в результате чего изотопный состав стронция изменяется.

Свинец, отторгнутый от материнской породы и потерявший связь с радиоактивными элементами, может образовывать самостоятельные минералы, зафиксировавшие в себе те изотопные

с оотношения, которые были характерны для того момента в ремени. Чем раньше был отделен свинец от U и Th, тем меньше в нем радиогенных изотопов. Свинец, отторгнутый от урановых, ториевых или урано-ториевых месторождений, образует так называемые аномальные свинцы, положение которых в системе координат  $Pb^{207}$  —  $Pb^{206}$  —  $Pb^{208}$  показано на рис. 12 (Тугаринов, 1961).

Методы измерения абсолютного возраста основаны, как известно, на определении соотношения количеств конечных

продуктов распада, накапливающихся в минерале, и соответствующего радиоактивного элемента: чем больше прошло времени с момента образования минерала, тем больше это отношение.

Абсолютный возраст торита, более распространенных циркона, ортита, монацита, ксенотима может быть определен уран-торий-свинцовыми методом. Возраст слюд и полевых шпатов довольно точно датируется калий-argonовым методом. Время образования галенита и некоторых других свинцовых минералов может быть вычислено грубым свинцововым методом, или методом обычного свинца. Минералы, содержащие рубидий, датируются довольно эффективно рубидий-стронциевым методом.

Можно привести множество примеров того, как данные об изотопном составе сульфидов, сульфатов, карбонатов и других минералов шлиха дают возможность проводить шлиховые поиски более целеустремленно и эффективно. Например, по соотношению изотопов углерода можно отличить графит, попавший в водотоки из пегматитов, от метаморфического — последний несколько тяжелее. Находки «тяжелых» карбонатов в шлихах говорят о близости рудных месторождений или карбонатитов. Серные месторождения, наоборот, узнаются по наличию «легкого» кальцита с соотношением  $C^{12}/C^{13}$  от 90,5 до 95,5, а также «облегченных» гипсов из зон окисления серных месторождений (Юшкин, 1968; Мурзаев, 1969). Обнаружив в шлихах сульфиды с соотношением  $S^{32}/S^{34}$ , большим 22,3, можно говорить об органическом происхождении этих минералов и

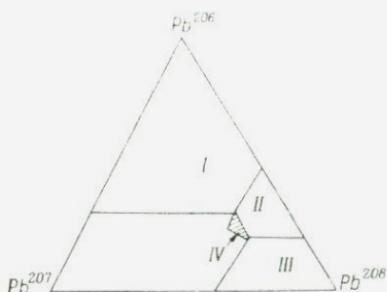


Рис. 12. Диаграмма изотопного состава Pb свинцовых минералов разного происхождения (по Тугаринову).

I — из урановых, II — из урано-ториевых, III — из ториевых месторождений, IV — обыкновенные свинцы.

вычислено грубым свинцововым методом, или методом обычного свинца. Минералы, содержащие рубидий, датируются довольно эффективно рубидий-стронциевым методом.

Можно привести множество примеров того, как данные об изотопном составе сульфидов, сульфатов, карбонатов и других минералов шлиха дают возможность проводить шлиховые поиски более целеустремленно и эффективно. Например, по соотношению изотопов углерода можно отличить графит, попавший в водотоки из пегматитов, от метаморфического — последний несколько тяжелее. Находки «тяжелых» карбонатов в шлихах говорят о близости рудных месторождений или карбонатитов. Серные месторождения, наоборот, узнаются по наличию «легкого» кальцита с соотношением  $C^{12}/C^{13}$  от 90,5 до 95,5, а также «облегченных» гипсов из зон окисления серных месторождений (Юшкин, 1968; Мурзаев, 1969). Обнаружив в шлихах сульфиды с соотношением  $S^{32}/S^{34}$ , большим 22,3, можно говорить об органическом происхождении этих минералов и

ориентироваться на поиски осадочных руд. Если окажется, что соотношение изотопов серы колеблется в пределах 21,89—22,46, целесообразно вести поиски сульфидных месторождений магматического или гидротермального генезиса, даже если в районе известны лишь осадочные породы.

Абсолютный возраст минералов может оказаться полезным оценочным критерием при разбраковке шлиховых аномалий. Известно, что во многих регионах совмещены на ограниченной площади несколько эпох оруденения, например варисская, каледонская и герцинская. Но обычно лишь с одной из них связаны промышленные месторождения. Если возраст минералов отвечает непродуктивным эпохам, можно говорить о бесперспективности коренного источника даже при повышенных концентрациях в шлихах ценных минералов.

### ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ

В природе абсолютно чистых минералов не существует. Какой бы на первый взгляд чистый, прозрачный минерал мы ни взяли, более тонкие исследования всегда выявляют в нем те или иные чужеродные включения, от остатков среды минералообразования до обломков горных пород и минералов. Состав включений и их особенности дают геологу обширнейший материал для познания физико-химических условий процессов рудообразования, парагенетических взаимоотношений минералов и многих других особенностей генезиса искомых руд. Для геолога-поисковика включения представляют особую ценность, поскольку эта информация может быть получена на основе изучения лишь нескольких единичных зерен минералов, а часто одного-единственного кристалла или его обломка, обнаруженного при просмотре шлиховых проб под бинокуляром.

Включения в минералах в первом приближении могут быть разбиты на две группы: твердые и газово-жидкие. По времени образования относительно минерала-хозяина они делятся на первичные, захваченные кристаллом непосредственно во время его образования, и вторичные, не связанные с процессами роста минералов.

Твердые микровключения образуются в результате нарастания микроминералов на бывшие грани роста кристалла-хозяина, оседания минералов, возникших несколько ранее или одновременно с ним и находившихся в растворе во взвешенном состоянии, а также осыпания кусочков и целых кристаллов под влиянием силы тяжести. Иногда

включения захватываются чисто механически в процессе интенсивного роста кристаллов.

Микрометоды исследования (микроспектрометрия, рентгеноспектральное зондирование, микроспектрофотометрия в отраженном и проходящем свете и т. д.) помогают выявить тонкие особенности состава и строения минералов. Многие из тех примесей, которые считались ранее входящими в кристаллическую решетку, образуют, как выяснилось, собственные микроминералы. Так, присутствие олова (до 3,61%) в минералах группы танталит-колумбита обусловлено не только изоморфным замещением по схеме  $3 \text{Sn}^{4+} \rightarrow 2(\text{Nb} + \text{Ta})^5+ + \text{Fe}^{2+}$ , но и наличием в них микровключений кассiterита. В вольфрамите верхний предел изоморфного вхождения  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  не превышает 0,4%, а  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  — 0,3%. При избытке этих элементов они концентрируются в виде собственных минералов (Дистлер, Батырев, 1967).

Микроминералы образуют включения самой разнообразной формы: мельчайшие кристаллические зернышки, иголочки, пластиночки или же тончайшую пыль. Иногда они настолько многочисленны, что влияют на окраску минерала и его прозрачность, являются причиной переливов цвета и других оптических особенностей минерала-хозяина. Включения минералов группы колумбит-танталита придают кассiterиту вишнево-бурую окраску; серый цвет вызван присутствием в зонах роста непрозрачных рудных минералов. Оксидные соединения железа окрашивают кассiterит в лимонно-желтые тона (Доломанова и др., 1969).

Можно привести несколько примеров, показывающих важность изучения микровключений для познания полного парагенезиса минералов шлиха. Рентгенометрическое исследование алмазов различных провинций показало, что в них встречаются включения оливина, широпа, хромшипелида, магнетита и графита. Это как раз те минералы, которые сопровождают алмаз в трубках взрыва. При этом гранат, встречающийся в уральских алмазах, содержит хрома и кальция меньше, чем якутский пироп (Гиевушев, Николаева, 1961; Футергендлер, 1960). В кассiterитах из пегматитов присутствуют многочисленные включения циркона, вольфрамита и тантало-ниобатов, т. е. ассоциация минералов, характернейшая для кассiterитов, генезис которых связан с пегматитами (Корнетова, 1961).

Следовательно, изучение твердых микровключений позволяет уточнить генетические ассоциации, выявленные при просмотре шлихов под бинокуляром. Если же ассоциации представлены неустойчивыми в зоне гипергенеза минералами,

микровключения будут единственным признаком их наличия в коренном источнике. С развитием микрометодов исследований станет возможным определять и более тонкие особенности твердых микровключений, такие как их состав и структура, что может оказаться решающим при оценке выявленных илиховых ореолов.

Газово-жидкие включения представляют собой захваченные растущим кристаллом частицы среды минералообразования: газа или гидротермального раствора. В маленькой капельке раствора, заполняющего вакуоли, находятся все те компоненты, что и во всем растворе, омывавшем образующийся кристалл. Это позволяет определить состав среды, из которой кристаллизовался сам минерал-хозяин. Для примерной оценки часто достаточно просмотреть под микроскопом многофазные включения, заполненные многочисленными минералами-«узниками», которые свидетельствуют о пересыщенности раствора даним веществом. В некоторых случаях наблюдается до 11 разных твердых фаз, представленных галитом, сильвином, реже карбонатами и рудными.

Газово-жидкие включения широко используются для определения изначальных температур и давлений (методы гомогенизации и декрептизации), что позволяет вводить меру и число при исследованиях процессов далекого геологического прошлого (Ермаков, 1950).

Изучение первичных включений дает возможность определить параметры гидротермальных растворов, соответствующих по времени моменту образования минерала. Вторичные включения помогают воссоздать историю развития более поздних стадий процессов. Например, результаты измерения температуры и давления растворов, полученные при изучении вторичных включений в ранних минералах, совпадают с данными о температуре и давлении, определенных по первичным включениям в минералах последующих генераций (Ермаков, 1950).

На рис. 13 приведены декрептограммы кварца трех генераций из пегматитовых жил Бектауата (Громов, 1968). Дек-

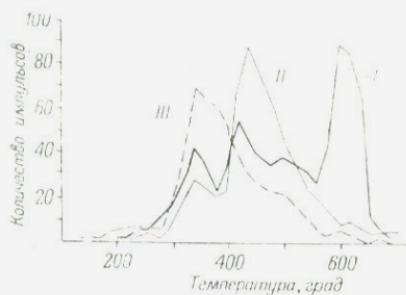


Рис. 13. Декрептограммы кварца трех генераций из пегматитовых жил Бектауата (I — кварц первой, II — второй, III — третьей генераций).

реп тограмма кварца первой генерации характеризуется тремя пиками. Самый первый (при  $t \sim 350^\circ$ ) соответствует температуре образования кварца третьей, самой низкотемпературной генерации, а третий пик ( $t \sim 650^\circ$ ) определяет температуру возникновения минерала-хозяина. Как видно из данного примера, для воссоздания довольно полной и точной картины температурных условий минералообразования пегматитовых жил достаточно изучить лишь самый высокотемпературный, наиболее ранний кварц, в котором запечатлены все более поздние этапы.

#### О СООТВЕТСТВИИ СОСТАВА МИНЕРАЛОВ: КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ШЛИХОВЫХ ОРЕОЛОВ

В процессе разрушения коренных источников и образования механических ореолов и потоков рассеяния устойчивые минералы шлиха подвергаются интенсивному воздействию химических агентов выветривания, истираются и измельчаются. Можно ожидать, что в результате состав их несколько изменится. Однако неясно, как велики эти искажения и есть ли они вообще, так как данных по этому важному для нас вопросу очень мало.

Как известно, примеси могут присутствовать в минералах в изоморфной и неизоморфной форме. В случае неизоморфной примеси элемент не связан в минерале-хозяине кристаллохимически, а образует микроскопические и субмикроскопические выделения собственных минералов, атомное и молекулярное рассеяния и т. д. (Таусон, 1961).

Элементы, входящие изоморфно, не могут быть извлечены из минерала без предварительного разрушения его кристаллической решетки, лишь разрушив решетку плавиковой кислотой, что делается при химических анализах, можно полностью перевести примеси из минералов в раствор. Поэтому при хорошей сохранности минерала, а это определяется просмотром под бинокуляром или микроскопом, можно уверенно говорить о неизменности состава тех элементов-примесей, которые входят в решетку кристаллохимически.

Значительно сложнее вопрос с неизоморфными примесями. Многочисленные эксперименты показали, что при определенных условиях эта часть элементов может быть из минерала выщелочена (Таусон, 1961). Возможность легкого выщелачивания значительного количества элементов-примесей позволяет, казалось бы, сделать вывод о том, что состав минерала, найденного в шлихе, не отвечает составу того же минерала из коренных

руд. Этого взгляда придерживаются многие исследователи. Однако это не так: во всех без исключения опытах по выщелачиванию обрабатываемые минералы предварительно истирались в мелкую пудру. Тонкое истирание давало возможность реагенту воздействовать на минерал широким фронтом и полностью его перерабатывать. При шлиховых же поисках геолог всегда имеет дело с более или менее крупными кристаллами (не менее 0,1 мм), суммарная поверхность которых в тысячи и десятки тысяч раз меньше, чем для того же минерала, но растертого в порошок. Поскольку глубина проникновения реагента в минерал обычно не превышает нескольких микрон, можно ожидать, что выщелачивание из крупных кристаллов будет незначительным.

Для подтверждения этого нами было проведено выщелачивание элементов-примесей из кристаллов кассiterита средних размеров (0,19 и 0,75 мм). Первоначально на минерал в течение двух суток воздействовали концентрированной плавиковой кислотой, следующие две суток — концентрированной соляной кислотой (в том и другом случае температура +100° С). Результаты эксперимента показаны в табл. 7. Здесь же для

Таблица 7

**Результаты обработки касситерита концентрированными плавиковой и соляной кислотами**

(по данным количественного спектрального анализа)

Месторожде- ние	Сред- ний размер частиц, мм	Обра- ботка кисло- тами	$\text{Sc} \times 10^{-5}$	$\text{In} \times 10^{-4}$	$\text{W} \times 10^{-3}$	$\text{Zr} \times 10^{-4}$	$\text{Nb} \times 10^{-6}$	$\text{Ti} \times 10^{-3}$	$\text{V} \times 10^{-3}$
Иультинское	0,75	—	25	14	24	310	6	295	35
		+	18	10	25	345	7	258	43
	0,19	—	25	8	33	313	7	292	50
		+	27	10	32	273	6	292	54
	Пудра	+	20	11	33	43	3	36	9
Лифудзинское	0,75	—	22	15	87	—	—	12	11
		+	25	16	97	—	—	12	12
	0,19	—	38	51	91	—	—	10	12
		+	40	53	100	—	—	12	12
	Пудра	+	13	45	63	—	—	12	12
Хрустальниковое	0,75	—	51	102	103	—	—	20	14
		+	54	105	101	—	—	19	14
	0,19	—	50	105	103	—	—	21	14
		+	47	104	90	—	—	17	15
	Пудра	+	26	85	76	—	—	15	1

Примечание. Каждый образец анализировался 9 раз. «+» — обработанная HF и HCl, «—» — необработанная, «<» — содержание элемента в количествах ниже чувствительности анализа.

Таблица 8

Состав элементов-примесей в кассiterитах различного размера (из россыпей Приморья)  
по данным количественного спектрального анализа

Россыпь	Расстояние от начальника, км	Колич. анализ. пильников	Размер фракции, мм	$\text{Sc} \times 10^{-4}$	$\text{In} \times 10^{-4}$	$\text{W} \times 10^{-3}$	$\text{Nb} \times 10^{-3}$	$\text{Ti} \times 10^{-3}$	$\text{V} \times 10^{-3}$
				$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$
Остиновская	2	4	0,75	47	18,2	6	0,2	97	4,1
		0,19	58	5,7	6	1,7	81	11,6	34
Распашная	3,4	5	0,75	54	16,2	134	11,7	188	62,9
		0,19	84	25,5	153	20,1	168	22,9	34
Кировская	3,0	6	0,75	57	12,1	21	3,8	100	25,4
		0,19	59	9,8	21	5,3	97	9,4	73

Приимечание. Здесь и далее  $\bar{x}$  — среднее содержание,  $s$  — дисперсия.

сравнения приведен состав тех же фракций кассiterита, не обработанных кислотами. Хорошо видно, что как из более крупных кристаллов кассiterита (0,75 мм), так и из более мелких (0,19 мм) выщелачивания элементов-примесей не происходит. Но что интересно: из касситерита, растертого в мелкую пудру, элементы-примеси выносятся весьма интенсивно, содержание же оставшихся в минерале в некоторых случаях не превышает 10—15% их общего количества (ванадий, цирконий, титан).

В этом проявляется «консервирующая» роль минералов, обусловившая неизменность состава элементов-примесей и тех включений, которые минерал захватывает во время роста или позднее.

Изюминкой является самородное золото, у которого в зоне гипергенеза может уменьшаться общее содержание элементов-примесей. Это объясняется тем, что на поверхности зерен образуется тонкая микропленка более высокопробного золота. Она возникает за счет дополнительного нарастания или выноса из верхнего слоя золотии различных примесей, в первую очередь серебра, меди, железа и других (Моисеенко, 1965; Щербаков, 1967). Образование поверхности микропленки

пленки характерно и для других самородных минералов (платина, железо).

Истирание в процессе перемещения — существенный фактор изменения состава минералов. Элементы-примеси, изотопы и включения распределены в кристалле неравномерно: одни примеси концентрируются в центральных частях минерала, другие — в периферических. Например, в гранатах из метаморфических пород Шотландии и Ирландии содержание кальция и магния от центра к периферии кристалла уменьшается, а железа, наоборот, увеличивается (Atherton, Edmunds, 1966). В пиритах из вольфрамитовых месторождений В. Забайкалья центральные зоны кристаллов обогащены оловом, цинком, кадмием, а периферические — сурьмой и свинцом (Муравьева и др., 1964). Поскольку в процессе перемещения истираются главным образом внешние части минеральных зерен, содержание элементов в оставшейся части меняется в большую или меньшую сторону в зависимости от характера их распределения по кристаллу.

Существенную роль в изменении состава минералов при истирании играют посторонние вrostки и включения, которыми наиболее богаты внешние части кристаллов. Поскольку такие вростки истираются вместе с внешней частью, больше всего их в минералах, взятых из коренных источников или же в непосредственной близости от них. На удалении от источника таких вростков ничтожно мало или же они отсутствуют. В результате состав анализируемых минералов несколько меняется: чем более истерт минерал, тем чище он от посторонних включений.

Изменение состава минералов в процессе истирания и величина этого изменения были изучены нами на примере кассiterита. Брались шлихи из нижних частей россыпей, из которых выделялись и анализировались касситериты двух классов:

Таблица 9  
Содержание элементов-примесей в касситерите  
Лифудзинского месторождения и россыпи, вес. %

Источник касситерита	Колич. обр. n	Sc		In		W		Ti	
		$\bar{x}$ $\cdot 10^{-4}$	S	$\bar{x}$ $\cdot 10^{-4}$	S	$\bar{x}$ $\cdot 10^{-3}$	S	$\bar{x}$ $\cdot 10^{-3}$	S
Коренные руды	3	13	4,5	95	6,2	127	22,9	101	31,1
Россыпь	4	12	1,7	77	9,9	137	33,8	101	7,0

со средним размером 0,75 мм и значительно более истертые кристаллы размером 0,19 мм. Состав элементов-примесей в этих кассiterитах (табл. 8) различается незначительно — не более чем на 20—40%, лишь в исключительных случаях на 90—100%. Следовательно, в процессе истирания состав минералов меняется мало. В целом можно ожидать совпадения состава минералов из коренных источников и связанных с ними шлиховых ореолов. Это хорошо видно из табл. 9.

### МЕТОДИКА ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Элементы-примеси — это наиболее доступные для исследования индикаторы условий минералообразования, поскольку спектрографы имеются в каждой геологической экспедиции, и если не количественные, то полуколичественные или приближенные количественные анализы минералов выполняются без особых трудностей. Изучение газово-жидких включений методом декремптизации или путем просмотра под микроскопом в камере Ермакова также несложно, но из-за отсутствия легко-доступной стандартной аппаратуры геологи-практики его, как правило, не проводят. Массспектрометрия требует специальной сложной и дорогостоящей аппаратуры, и потому в повседневной практике ограничиваются лишь небольшим объемом определений абсолютного возраста калий-argonовым методом. Именно поэтому при рассмотрении методики шлихо-геохимических поисков основной упор делается нами на элементы-примеси. По возможности в минералах должны изучаться также газово-жидкие включения и анализироваться изотопный состав.

Шлихо-геохимический метод опирается на обычное шлиховое опробование, используя его результаты и отмытые шлихи. Но ему присущи и свои особенности.

### Отбор шлиховых проб для геохимических исследований

Густота взятия проб при обычной шлиховой съемке зависит от масштаба и регламентируется инструкцией по поисково-съемочным работам. Пробы для шлихо-геохимических исследований отбираются по другому принципу.

Прежде всего необходимо изучить шлиховые аномалии не-выясненного или сомнительного генезиса, выявленные обычной

шлухо-минералогической съемкой. В связи с большой стоимостью геохимических исследований в пределах каждой аномалии можно ограничиться 1—2 шлихами, содержащими ценные минералы или их спутники. На спектральный и другие виды анализа для изучения газово-жидких и твердых включений отбирают как сами эти минералы, так и некоторые парагенные с ними. Это поможет определить характер коренного источника сноса или его тип. Если материала мало для геохимических исследований, необходимо в местах взятия этих шлихов дополнительное отмыть необходимое количество тяжелой фракции.

В шлихах, не содержащих промышленно важных минералов или их спутников, следует подвергнуть полуколичественному или приближенно количественному анализу неэлектромагнитную, электромагнитную и магнитную фракции. Этим достигается следующее: а) определяется наличие в шлихе ценных минералов или их микровростков, пропущенных при просмотре под бинокуляром; б) выявляются аномалии, обусловленные присутствием в шлихе минералов-концентраторов искомых рудных элементов, которые, естественно, при простом минералогическом изучении обнаружить невозможно.

И наконец, для шлихо-геохимических исследований нужно отмывать шлиховые пробы в пределах литохимических аномалий, генезис которых неясен или сомнителен. А таких аномалий на каждом геологическом листе десятки и сотни! Знание минералогического состава отмытых шлихов и геохимических особенностей минералов поможет в разбраковке этих аномалий и выяснении характера коренного источника сноса.

В хранилищах экспедиций и геологических управлений скопились многие тысячи шлиховых проб. Все они описаны лишь минералогически, причем наибольшее внимание уделено ценным минералам шлиха (кассiterит, золото, платина, вольфрамит) или минералам-спутникам (пироп). В некоторых шлихах описаны ассоциации минералов. Вся же остальная заложенная в них генетическая информация, во многих случаях самая ценная, ждет расшифровки.

Для минералогических исследований обычно достаточно того количества шлиха, которое отмывается при поисковых работах (2 лотка). Геохимический анализ требует значительно большего объема материала. Для полуколичественного спектрального анализа необходимо иметь не менее 30 мг минерала. Для большинства же количественных методик (спектральных и химических) материала требуется гораздо больше, особенно если учсть обязательные параллельные анализы. Поэтому проводят повторное

шлихование на наиболее интересных участках. Промывают 10—20 лотков и более в зависимости от величины тяжелой фракции и содержания интересующего нас минерала.

### **Определение фракций шлиха, подлежащих геохимическому изучению**

Выделение мономинеральных фракций мелких классов для геохимического анализа — очень трудоемкая операция. Даже опытный лаборант для отбора под бинокуляром 100—150 мг минерала, находящегося в классе — 0,25 мм, затрачивает 6—8 ч. Мономинеральный отбор мелких вrostков вообще исключен. В этих случаях целесообразнее проводить геохимический анализ не минералов, а отдельных фракций — неэлектромагнитной, электромагнитной или магнитной. Преимущество такой методики очевидно: не требуется большой предварительной работы по отборке минералов. Подготовка к анализу состоит лишь в истирании соответствующей фракции.

Как правило, шлихи, даже разделенный на фракции магнитом и электромагнитом, представлен тремя—шестью минералами. Чем дальше взят шлих от коренного источника, тем больше он «разбавлен» посторонними минералами. Поэтому для получения общей дополнительной информации о коренном источнике анализ целиком всей фракции не годится. Однако это не мешает выявлению месторождений по главным рудным компонентам. Минералы-концентраторы, попавшие в водотоки при разрушении месторождений, обычно содержат столь значительные количества искомых элементов (часто в 100—200 раз более, чем аллювиально-делювиальные отложения в целом), что аномальные содержания, несмотря на значительное разубоживание шлихов посторонними минералами, довольно уверенно выявляются при спектральном анализе соответствующих фракций.

Решение вопроса о том, какую из фракций и на какие элементы анализировать, определяется возможным типом искомых месторождений и их примерным минеральным составом. Так, известно, что в роговых обманках, биотите, сфене и ильмените содержатся значительные количества олова, вольфрама, молибдена, ниобия и цинка. Поскольку эти минералы при разделении шлиха попадают в электромагнитную фракцию, ее анализ поможет легко выделить даже те аномалии, которые пропускаются при валовом анализе металлометрических проб. При поисках многих типов золоторудных месторождений желательно подвергать геохимическому анализу магнитную фракцию, главный минерал которой — магнетит — является основным концентра-

тором золота. В некоторых месторождениях главным концентратом золота служит пирит, при разделении шлиха идущий в неэлектромагнитную фракцию, которую и анализируют.

### Определение минералов шлиха, подлежащих геохимическому изучению

Для геохимического изучения отбираются не все минералы шлиха, а лишь следующие группы.

1. Всегда должны отбираться на анализ редкие минералы шлиха. Например, в кассiterите необходимо изучать содержание элементов-примесей, а в тантало-ниобатах соотношение Nb/Ta.

2. На геохимический анализ отбираются минералы перспективных ассоциаций. В некоторых районах на наличие полиметаллов может указывать присутствие в шлихах набора следующих минералов: гранат + амфибол + пироксен + магнетит. Их анализ на содержание элементов-примесей поможет определить характер коренного источника уже на стадии предварительных поисков и решить вопрос о направлении более детальных работ.

В Приморье колумбиты и цирконы сопровождают кассiterит в ореолах, возникших за счет размыва редкометальных пегматитов. Однако ассоциация кассiterит + колумбит + циркон отмечается и вблизи альбитизированных гранитов, которые могут содержать олово и tantal. Анализ колумбита и циркона, выделенных из шлихов, позволит выяснить характер коренного источника: в колумбитах из пегматитов соотношение Nb/Ta изменяется в пределах 2—4, в гранитах же эта величина значительно больше — около 17. В цирконах, взятых из гранитов, соотношение Zr/Hf всегда больше 25—30, а в цирконах из редкометальных пегматитов никогда не поднимается выше 11—17.

3. Некоторые из обычных минералов, встречающиеся совместно с промышленно важными, также должны анализироваться на элементы-примеси. При наличии в шлихах галенита или кассiterита должен анализироваться и сопровождающий их турмалин. Это даст дополнительную информацию о характере коренного источника и особенностях его генезиса. Так, турмалины из кварц-сульфидных жил, залегающих в осадочных породах, содержат Bi, Pb, Cu, Ag, Co, которые отсутствуют в турмалине из кварц-турмалиновых жил, развитых в граните. В акцессорном турмалине из гранитов содержится только 0,01 % олова, а в турмалине из кварц-кассiterитовых жил — 0,1—0,6 % (Ляхович, 1968).

4. На геохимический анализ отбираются разновидности самых обычных минералов шлиха (магнетит, апатит, ильменит, гранат, циркон), внешне отличающиеся от характерных для изученного региона. Например, кристаллы цирконов гиацинтовые или диширамидальные, светлые, непрозрачные различных цветов чаще всего встречаются в пегматитах. Цирконы искаженного облика наиболее часты в редкометальных метасоматических образованиях. Анализируя выделяющиеся таким образом цирконы на соотношение Zr/Hf, можно с большой уверенностью говорить о характере коренного источника.

Так, если соотношение Zr/Hf в выделенных цирконах меньше 20, можно утверждать, что в районе имеются редкометальные пегматиты. Большие величины этого соотношения (60—100 и более) указывают, что источником сноса цирконов были гидротермальные рудопроявления или щелочные породы. Значения Zr/Hf от 35 до 70 даже при большой концентрации циркона в шлихах свидетельствуют о нецелесообразности поисков коренных месторождений, поскольку это всего лишь местное скопление, обусловленное размывом обычных изверженных горных пород и геоморфологическими условиями концентрации шлиха.

5. Гипергенные минералы, обнаруженные в шлихах, также желательно анализировать. Это прежде всего вторичные минералы, развивающиеся по первичным рудным (смитсонит, церуссит, хризоколла). Обычно они содержат все те примеси, которые характерны для замещаемых минералов (сфалерит, галенит, халькопирит), поэтому их изучение может иметь большое значение для выяснения генезиса искомых руд. Важно обращать внимание на наличие во вторичных минералах «чуждых» примесей, которые отражают особенности развития зоны окисления и состав вмещающих пород. Повышенные количества кальция в смитсонитах могут указывать на карбонатный характер вмещающих толщ. Спилакатные же породы узнаются по наличию бария.

Особенно важная и разнообразная информация о коренном источнике извлекается при геохимическом анализе гидроокисных минералов, энергично сорбирующих из поверхностных рудничных вод самые разнообразные элементы, свойственные окисляющимся первичным рудам. Зная особенности состава гидроокисей, можно довольно уверенно проводить разбраковку аномалий, а также судить о характере и возможном типе месторождений уже на самых ранних стадиях геологопоисковых работ. Так, бурые железняки, возникающие за счет окисления медно-колчеданных и медно-цинково-колчеданных руд, отличаются от бурых железняков, образовавшихся по серно-колчеданным ру-

дам, повышенным содержанием цинка, молибдена, золота, калия и натрия. Бурые железняки инфильтрационного происхождения характеризуются еще более широким спектром элементов-примесей (Читаева, 1967).

Гидроокислы железа и марганца, как известно, очень неустойчивы к воздействию различных физических агентов: они легко крошатся даже при растирании между пальцами. Поэтому они могут быть встречены на значительном удалении от коренных источников только лишь в случае образования вrostков, прожилков и вкраепленников в устойчивых минералах или породах: кварце, полевом шпате, кислых и основных эфузивах. Если проводить спектральный анализ всей этой массы, то получается очень искаженная картина содержания элементов-примесей, свойственных гидроокислям, поскольку появляется много новых элементов, не связанных с искомыми объектами. В этих случаях желательно проводить избирательное растворение лимонитов (например, соляной кислотой) с последующим спектральным анализом полученной вытяжки. В дальнейшем все точные расчеты проводятся на основании определения величины отношения элементов-примесей к железу. Выявленные аномалии значительно контрастнее и протяженнее, чем при валовом анализе проб.

Помимо гидроокисей, необходимо изучать такие вторичные минералы, как церуссит, смитсонит, хризоколла, отражающие состав элементов-примесей главных рудных минералов. Особенно ценная информация извлекается в тех случаях, когда в тяжелую фракцию шлиха попадают не только вторичные, но и первичные минералы рудных тел. Сравнение состава этих минералов поможет выяснить многие тонкие особенности развития зоны гипергенеза и характер вмещающих пород. Так, если вторичные минералы очень чисты от примесей, породы, вмещающие оруденение, были силикатными по составу. В случае же карбонатных толщ вторичные минералы содержат эти элементы в значительно больших количествах. Состав вмещающих пород может оказаться решающим при прослеживании обнаруженных аномалий и выявлении коренного источника.

6. При отсутствии в шлихе минералов-указателей рудных месторождений шлихово-геохимические поиски проводятся путем анализа минералов-концентраторов. Выбор их определяется металлогенией исследуемого региона и набором минералов в шлихе. Например, в пределах хр. Сихотэ-Алинь в основном ведутся поиски месторождений олова, и для геохимического анализа здесь необходимо отбирать в первую очередь главные минералы-концентраторы этого элемента: биотит, сфен, ильменит,

также другие, характерные для оловорудных месторождений этого региона (турмалин). В золоторудных районах самого пристального внимания заслуживает магнетит — главный концентратор золота.

Помимо перечисленных шести групп, на геохимический анализ могут отбираться и другие минералы, что определяется спецификой работы и аналитическими возможностями. При обзорных региональных исследованиях для выявления общего геохимического фона подвергаются анализу обычные минералы шлихов (магнетит, циркон, ильменит и др.) вне зависимости от их минералогических особенностей. При разбраковке шлиховых аномалий в некоторых случаях желательно изучать более широкий круг минералов, с тем чтобы получить максимум информации о характере коренного источника и его особенностях.

### Выделение мономинеральных фракций

Монофракции выделяются или из обычных шлиховых проб, или из взятых специально для геохимического изучения. Схема сепарации для каждого случая не одинакова.

Выделять монофракции из обычных шлиховых проб проще, так как они уже в процессе подготовки к минералогическому анализу достаточно дробно разделены магнитом, электромагнитом и бромоформом на фракции, обогащенные тем или иным минералом. Единственное затруднение — малый объем исходной навески — в 80% случаев вес тяжелой фракции в целом не превышает 2 г (при отмыкке двух стандартных лотков рыхлой массы). Следовательно, нельзя пользоваться теми приборами, при работе на которых возможно заражение проб минералом предыдущих шлихов, поскольку даже 1—2 «чуждых» зерна, попав в пробу, могут существенно повлиять на состав полученного концентрата.

Объем тяжелой фракции шлиха, взятого специально для геохимического изучения, довольно значителен, поскольку в этих случаях промывается 10—20 лотков и более. Этот шлих требует предварительной обработки. Если в исходной пробе преобладают легкие минералы, необходимо их отделить или сократить количество до минимума. Далее нужный минерал выделяется в зависимости от его характерных свойств в одну из фракций обычным магнитом, электромагнитом или магнитом Сочева. Концентрация минерала должна быть максимальной в этой фракции. Количество посторонних минералов может быть снижено до минимума путем повторных операций на том же

приборе. Однако при этом далеко не всегда удается полностью освободиться от примесей, и для дальнейшей очистки приходится использовать другие методы.

Обычно начинают с гравитационного обогащения, поскольку минералы, составляющие магнитную, электромагнитную и неэлектромагнитную фракции, различаются по удельному весу. Тяжелые жидкости позволяют разделять минералы, различающиеся по удельному весу, на 0,1—0,2. Но жидкости с удельным весом >3,4 и жидкость Клеричи с удельным весом 4,27 дефицитны и дороги. Для выделения и селективного разделения более тяжелых минералов применяются гравитационные аппараты: концентрационные столы и винтовые сепараторы. Этими приборами наиболее полно могут быть разделены минералы, различающиеся по удельному весу не менее чем 1,1—1,2. При малых количествах шлиха разделение целесообразнее вести в фарфоровых чашечках с диаметром от 90 до 250 мм, тогда засорение предыдущими пробами полностью исключается. Чашечки можно использовать для домыва концентрата в тяжелой жидкости. Например, при поисках золоторудных месторождений промывкой тяжелой фракции в чашечке с бромоформом удается получить почти мономинеральное золото, практически не требующее дочистки под бинокуляром.

Для дальнейшего извлечения минерала из концентрата, полученного в результате гравитационного обогащения, могут быть применены методы электрического обогащения, флотации, селективного химического растворения и др.

Электрическая сепарация основана на различиях в электропроводности минералов. Разделение проводится в электростатическом поле, для чего может быть использован прилагаемый к лаборатории МОЛМ электросепаратор типа ПС-1, а для очень малых навесок — прибор МЭП-1.

По характеру поведения в электрическом поле сепаратора минералы могут быть разделены на три категории: хорошо и умеренно проводящие и непроводящие. Хорошо проводящие — это арсенопирит, галенит, графит, золото, ильменит, колумбит, магнетит, молибденит, пирит, рутил, титаномагнетит, халькопирит. В группу умеренно проводящих входят: бурый железняк, вольфрамит, кассiterит, киноварь, корунд, лимонит, сидерит, сфалерит, хромит. Непроводящие включают: алмаз, апатит, барит, биотит, светлый гранат, диопсид, кальцит, ксенотит, монацит, полевой шпат, роговую обманку, турмалин, флюорит, циркон, шеелит, эпидот.

Электрическая сепарация дает возможность достаточно хорошо разделить тяжелые неэлектромагнитные минералы **rossy-**

ней: шеелит и циркон от кассiterита, циркон от рутила. Входящие в электромагнитную фракцию вольфрамит, колумбит, хромит удается отделить от идущих вместе с ними гранатов, амфиболов, пироксенов, оливинов, турмалина и др.

Флотационное разделение использует различную смачиваемость поверхности минералов водой после обработки их реагентами-сборщиками. При флотации создается водно-воздушная смесь, которая затем расслаивается на пенный и непенний продукты. Гидрофобные, несмачивающиеся поверхности минералов прилипают к пузырькам воздуха, образуя пену, а гидрофильные, смачиваемые водой, остаются в пульпе. Добавляя те или иные реагенты, можно заставить флотироваться одни минералы, подавляя эти свойства у других. Реагенты оказывают решающее влияние на результаты флотации, поэтому главное условие — правильный их подбор. Лучше всего флотируются зерна минералов размером 0,01—0,2 мм, более мелкие должны быть предварительно отсеяны или отшламованы, а крупные раздроблены. Без особых затруднений удается отделить легкофлотируемые пирит, галенит, сфалерит, халькопирит и другие сульфиды от большей части других минералов, относящихся к окислам, солям кислородных кислот и другим группам. Иногда удается не только выделить все присутствующие в данной пробе сульфиды, но и селективно разделить их на монофракции.

Флотационная машина прикладывается к каждой стандартной минералогической лаборатории типа МОЛМ. К сожалению, минимальный вес пробы при работе даже на таких небольших машинах должен быть не менее 25 г, чего при шлихто-геохимических исследованиях мы, как правило, не имеем. При благоприятном минералогическом составе можно воспользоваться упрощенным вариантом. Он рассчитан на навеску всего в 1—2 г и использует обычные чашечки с кипящей водой, куда добавлены соответствующие реагенты. При кипении воды флотируемые частицы выносятся пузырьками воздуха на поверхность, и их можно легко снять сетчатыми черпаками (Разумная, Ершова, 1969).

Метод флотации довольно сложен и требует специального навыка, реагентов, а в некоторых случаях и особых условий. Например, при флотации галенита и сфалерита используются цианиды, работа с которыми в условиях производственных минералогических лабораторий практически невозможна.

Селективное химическое растворение применяется при доводке и получении чистых мономинеральных фракций: мешающие минералы полностью растворяются и переходят в раствор или газообразное состояние. В некоторых слу-

чаях образуется нерастворимый скелетообразный осадок, имеющий меньший удельный вес, который отделяется в дальнейшем от основной массы отмыккой.

Помимо возможности работы с малыми навесками, ценность метода селективного растворения заключается в том, что он позволяет получать монофракции из микровростков, чего не может дать ни один другой способ.

Растворение проводят в пробирках, колбочках и другой удобной посуде, которая обычно подогревается на водяной или песчаной бане. Растворимость зависит от природы минерала и воздействующего растворителя и обычно возрастает при повышении температуры. В качестве растворителя щелочи (едкий натрий и едкий калий) применяются редко, чаще всего используются кислоты:

HCl	растворяет окислы железа и марганца, карбонаты (кроме церуссита), фосфаты, арсенаты, ванадаты, из сульфидов — ширротин, галенит,
HNO <sub>3</sub>	» медь, серебро, простые и сложные сульфиды, арсениды и их аналоги, карбоаты, фосфаты, арсенаты и ванадаты почти все силикаты, в том числе кварц и полевые шпаты, апатит, вольфрамит, шеелит, кальцит
NF	»

Более специфичные методы обработки минералов используются реже, но во многих случаях могут быть полезны при получении монофракций. Например, колумбит становится более электромагнитен, если на него воздействовать слабым раствором серной, соляной или щавелевой кислоты. Кипячение ильменита в крепкой соляной кислоте, наоборот, снижает его магнитную проницаемость. На поверхности некоторых минералов под воздействием кислот образуется пленка, обладающая меньшим удельным весом. Это благоприятствует последующему разделению минералов. Ильменит, прокаленный при температуре 780° в течение часа, приобретает магнитные свойства и легко отделяется от основной массы минералов обычным магнитом. Прокаливание железосодержащих сульфидов также может придать им сильномагнитные свойства. Существуют методы разделения минералов по форме зерен, на липких поверхностях, путем декрепитации и т. д. (Бергер и Ефимов, 1963).

Ни одним из методов обогащения невозможно получить абсолютно чистые минералы: их концентраты почти всегда содержат примеси других минералов в количестве от десятых долей до целых процентов. Приходится прибегать к ручному отбору зерен под бинокуляром.

## Определение элементного состава шлиха и отдельных минералов

При шлихо-geoхимических поисках анализируется большое количество фракций шлиха, вес которых обычно не превышает нескольких сот миллиграммов. Вес же отдельных мономинеральных фракций часто не превышает нескольких десятков миллиграммов. Наибольший geoхимический интерес чаще всего представляют те элементы, которые содержатся в пробах в малых количествах. Поэтому следует выбирать высокоточные методы анализа, позволяющие работать с малыми навесками и обладающие высокой чувствительностью. Более всего этим требованиям отвечает спектральный анализ. Для некоторых элементов с успехом может быть использован рентгеноспектральный метод. Как контрольный можно рекомендовать микрохимический анализ.

Спектральный анализ — один из самых экспрессивных методов определения элементного состава вещества. Вес навески 10—30 мг. Чувствительность метода до  $10^{-3}$ — $10^{-4}\%$ . За одну съемку охватывается до 5—10 элементов при количественном анализе и до 50 при полукачественном.

В некоторых случаях достаточно хорошие результаты дают полукачественные определения. Например, при прямых шлихо-geoхимических поисках аномалии легко выделяются даже при полукачественном анализе фракций шлиха (Махин и Гаврилин, 1969). Количественные спектральные определения увеличивают стоимость анализа, но позволяют получать значительно более точную и полную информацию о коренном источнике.

При очень малых исходных навесках, не превышающих нескольких миллиграммов, для определения элементного состава могут быть применены микроспектральные методы. Но по чувствительности они значительно уступают обычному спектральному (в лучшем случае сотые доли процента). Хуже и воспроизводимость результатов, и потому микроспектральные анализы чаще всего носят качественный или полукачественный характер. Значительно эффективнее спектральный анализ на эмиссионном электроразрядном микроанализаторе конструкции сотрудника Государственного оптического института И. В. Королева. Установка состоит из импульсного генератора, столика для крепления медных или алюминиевых электродов, приставки микроскопа для наблюдения за правильностью установки последних и спектрометра. Микроанализатор дает возможность проводить количественный спектральный анализ из навески не более 1 мг

с чувствительностью, не уступающей обычному спектральному

Анализ	Zr	Sc	Ip	V	W	Nb	Cr
Микроспектральный	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Макроспектральный	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

Точность метода  $\pm 18\%$ , что приближается к точности обычного количественного спектрального анализа (Азарова, 1970). Количество одновременно определяемых элементов-примесей зависит от марки спектрографа. Например, при съемке на спектрографе СГЭ-1 можно определить одновременно до 20 элементов-примесей.

Рентгеноспектральный метод эффективен, если элемента в шлихах и минералах не менее 0,01%. Чаще всего анализ основан на использовании вторичных рентгеновских спектров испускания. Достоинства этой методики — большая производительность, высокая точность (1—3%) и меньшее, чем при спектральном анализе, мешающее влияние примесей. Но, что плохо, вес должен быть от 20—30 до 200—300 мг и более в зависимости от содержания определяемого элемента.

Рентгеноспектральный анализ, использующий первичные рентгеновские спектры испускания, требует небольшой навески — 2—10 мг. На точность анализа совершенно не влияют посторонние примеси, и воспроизводимость результатов достаточно высока (5—17%). Техническим недостатком метода является необходимость глубокого вакуума при каждой съемке, поэтому его и не применяют. Однако практика показала, что, несмотря на все недостатки, этот метод наиболее удобен для изучения минералов, содержащихся в шлихах в малых количествах. Например, соотношение Zr/Hf в цирконах определялось нами из навески 2—4 мг с точностью 6—5%; соотношение Nb/Ta в тантало-ниобатах с точностью до 15—17% из навески до 10 мг.

В последнее время довольно интенсивно развивается рентгеновский локальный микроанализ, основанный на первичных спектрах. Метод позволяет определять химический состав вещества в зернах размером в несколько микрон. Предельная чувствительность микроанализа 0,1—0,01%, точность 2—10%. Но в связи со сложностью и большой стоимостью аппаратуры, длительностью анализа этот метод для массового определения пока непригоден.

Микрохимический анализ может быть выполнен из навески 25—100 мг в зависимости от числа определяемых элементов. Для отдельных компонентов достаточно навески

5—10 мг. Микрохимия основана на тех же реакциях, что и обычный химический метод, но техника проведения анализа и аппаратура отличаются. В связи с малой навеской требуются очень тонкие приемы анализа, что под силу только очень опытным химикам: большое значение имеют чистота дистиллированной воды, реагентов и помещение. Анализ обычно занимает несколько дней. Например, определение в самородном золоте таких примесей, как медь, сурьма, мышьяк, железо и серебро, занимает 4—5 дней. К недостаткам микрохимии следует отнести и малую чувствительность, для большинства элементов не превышающую 0,1%.

Длительность и сложность микрохимического анализа делают его непригодным для массового определения. Микрохимический анализ может быть использован лишь как контрольный в тех случаях, когда необходимо подтвердить результаты спектрального анализа.

### Построение шлихо-геохимических карт

Результаты шлихо-геохимического опробования наносятся на шлихо-геохимические карты. На них отмечаются не только места обнаружения минерала, но и его состав.

Существует четыре типа шлиховых геохимических карт. Первый — для промышленно важных минералов, находки которых являются прямым показателем наличия рудных месторождений (касситерит, вольфрамит, золото); второй — для минералов-спутников; третий — для постоянно присутствующих в шлихах минералов (магнетит, ильменит, циркон), подразделяется на два подтипа: а) обзорные и б) поисковые; четвертый содержит результаты анализа электромагнитной, магнитной и неэлектромагнитной фракций, а в некоторых случаях и всей тяжелой части шлиха.

Карты первого и второго типа помогают обнаружить еще не выявленные рудные тела, оконтурить наиболее перспективные площади и установить характер коренного источника споса. Для построения карт этих двух типов необходимые минералы отбираются из всех шлихов или же какой-то части их. Например, анализируется пироп из каждого третьего или пятого шлиха.

Пример шлихо-геохимической карты первого типа показан на рис. 14. Точки I и II обозначают состав касситерита разрушающихся месторождений касситерито-силикатной формации. Номера К-127, К-116, К-123 объединяют анализы касситерита из шлихов, взятых из бортов отработанной россыпи, а ПР 1—4 и ПР 2—3 получены из скважин ручного бурения, вскрывающих промышленную аллювиальную россыпь.

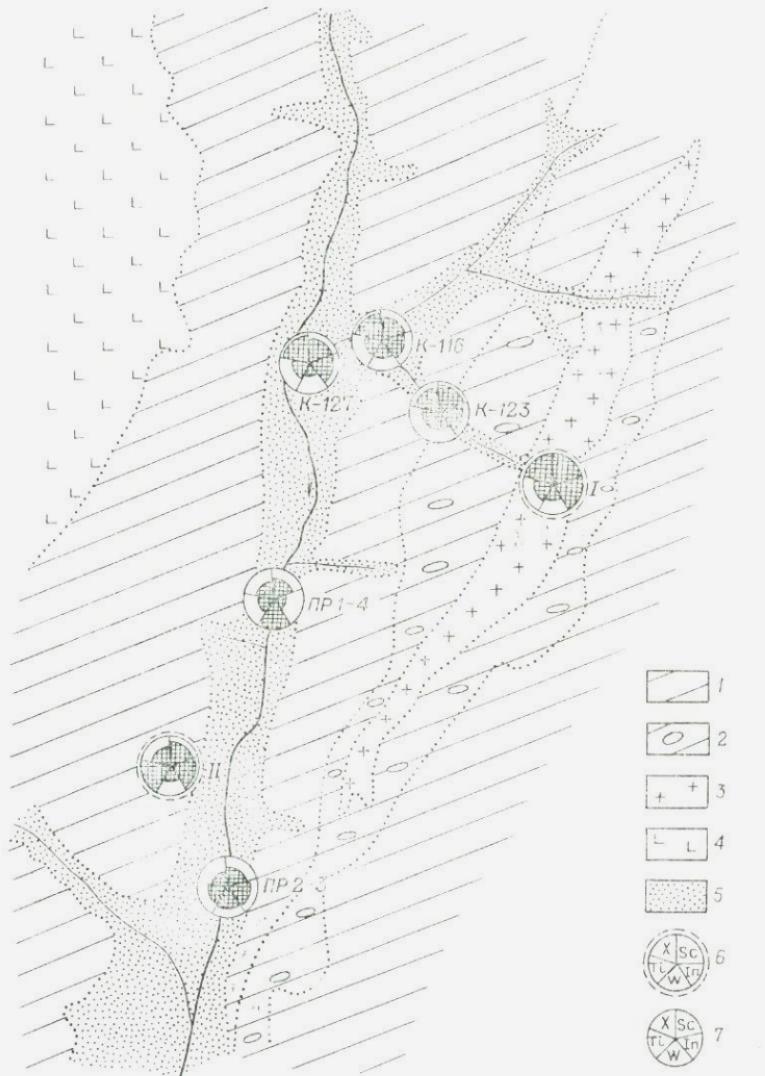


Рис. 14. Шлихово-геохимическая карта по касситериту.

1 — песчано-алевролитовая толща (мел.); 2 — песчано-алевролитовая толща с прослойями кварца (юра); 3 — дациты (мел.); 4 — палеогеновые эфузивы; 5 — четвертичные отложения; 6 — касситериты из месторождений; 7 — касситериты из россыпей.

Выделенные из шлихов кассiterиты трехкратно анализировались на содержание Sc, In, W, Ti и др. спектральным количественным методом с точностью  $\pm 15-17\%$  (табл. 10). Результаты анализов нанесены на карты в виде круга с центром в точке взятия шлиха. Каждому элементу выделен сектор, который

Таблица 10  
Содержание элементов-примесей в касситеритах  
месторождений и россыпей, вес. %

Место взятия пробы	Колич. проб $n$	Sc		In		W		Ti	
		содерж. $\times 10^{-4}$	S	содерж. $\times 10^{-4}$	S	содерж. $\times 10^{-3}$	S	содерж. $\times 10^{-3}$	S
Месторождение II	14	11	4,8	86	34,5	130	73,0	182	98,5
Месторождение I	3	13	4,5	95	6,2	127	22,9	101	31,1
K-123	4	12	1,7	77	9,9	137	33,8	101	7,0
K-116	3	11	0,8	78	10,6	138	22,6	103	32,0
K-127	3	11	1,7	76	4,7	110	25,6	93	32,6
ПР 1—4	4	9	2,8	51	18,9	228	35,2	89	37,2
ПР 2—3	5	9	1,9	75	23,6	167	40,8	110	53,7

заштрихован полностью при максимальном содержании этого элемента в касситерите и частично при относительно меньшем (рис. 14).

Россыпь, представленная шлихами K-127, K-116 и K-123, образовалась в результате разрушения месторождения I. Соответственно касситериты из россыпи по содержанию элементов-примесей весьма близки к касситеритам месторождения I. Имеющиеся различия (кроме индия) несущественны, что и подтверждается проверкой по критерию Стьюдента (Шарапов, 1965).

Состав же касситерита шлиха ПР 1—4 резко отличен от касситеритов месторождения I, особенно по вольфраму (резкое завышение) и иодию (резкое занижение). Поскольку проверка по критерию Стьюдента показала существенные различия, было высказано предположение, что накопление части россыпи, представленной шлихом ПР 1—4, обусловлено размывом месторождения X, расположенного выше по течению ручья и еще не обнаруженного поисковыми работами.

Касситерит из шлихов ПР 2—3 является примерно средним по составу между касситеритами месторождений X и II (несколько ближе к последнему). Проверка по критерию Стьюдента и Фишера подтвердила, что ни по содержанию, ни по величине дисперсии элементов-примесей эти касситериты не отличаются

от кассiterитов месторождений X и II. По-видимому, россыпь на этом участке образовалась в результате разрушения обоих месторождений.

Обзорные шлихо-геохимические карты подтипа а) третьего типа строятся для определения среднего состава обычных минералов шлиха, их геохимического фона и выявления местоположения аномальных разностей минералов. Для этого отбираются шлихи по определенной сетке или же определенной плотности на 1 км<sup>2</sup> изучаемого района с последующим выделением и анализом минералов из каждого шлиха. Такая карта, составленная нами для Приморского края по цирконам, показана на рис. 15. Всего по Приморью взят 51 шлих. Выделенные из шлихов цирконы анализировались на соотношение Zr/Hf рентгеноспектральным методом с точностью 5—6 %. Каждая проба анализировалась три раза. Полученные данные нанесены на карту. Среднеарифметическое соотношение Zr/Hf оказалось равным 48, среднеквадратичное отклонение ( $S$ )  $\pm 3,4$ . Приняв аномальные разности лежащими за пределами  $\pm 3S$ , можно подсчитать, что нормальное значение соотношения Zr/Hf в цирконах колеблется от 37,8 до 58,2. Эти значения надо считать геохимическим фоном для Приморья в целом.

На этом фоне цирконы из шлихов, взятых в верховых Ваку — низовых Улахе, выделяются повышенными значениями Zr/Hf. Расчет по формуле

$$C_A = \bar{C}_p \pm \frac{3S}{\sqrt{m}}$$

позволил наметить здесь небольшой аномальный участок, обусловленный наличием крупных основных и ультраосновных массивов изверженных горных пород.

Поисковые шлихо-геохимические карты подтипа б) третьего типа строятся для аномальных разностей обычных минералов шлиха, а также для минералов-концентраторов при прямых поисках рудных месторождений. Во многих случаях построение этих карт возможно лишь после того, как для исследуемого минерала выявлен средний фон содержания в нем элементов-примесей, а аномальные участки выделяются как содержащие их больше или меньше геохимического фона. Пример такой карты для одного из районов Приморья показан на рис. 16.

Участок сложен олигоцен-миоценовыми андезито-базальтами и верхнекембрийскими песчаниками, прорванными ранне-мелозойской интрузией биотитовых гранитов, которые интенсивно альбитизированы в апикальных частях и вдоль контакта. В протолочках из альбитизированных участков отмечаются

85



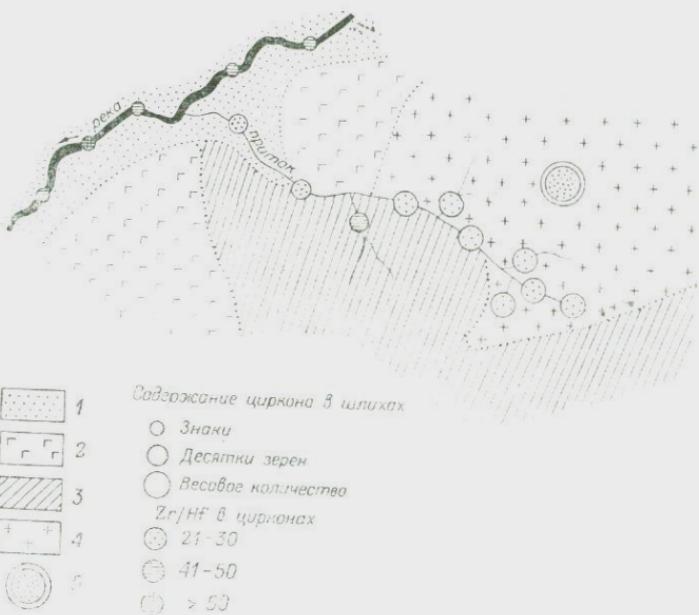


Рис. 16. Шлихово-геохимическая карта участка альбитизированных гранитов по цирконам (1 — современные рыхлые отложения; 2 — олигоцен-миоценовые андезито-базальты; 3 — верхнекембрийские образования, главным образом песчаники; 4 — альбитизированные биотитовые граниты раннемезозойского возраста; 5 — цирконы из альбитизированных гранитов).

кассiterит, колумбит и повышенные количества циркона (до 2 кг на тонну).

Гидросеть участка — речка средней величины и ее левый приток с многочисленными мелкими ручьями, размывающими гранитный массив и содержащими повышенные количества циркона. Цирконы из альбитизированных зон гранита характеризуются низкими величинами соотношения Zr/Hf (около 23). Поэтому в цирконах, взятых из ручьев, размывающих массив, и из самого притока до его устья, отмечаются также довольно низкие аномальные величины соотношения Zr/Hf (20—30). В то же время в самой речке, водосбор которой в 20—25 раз больше, чем у притока, соотношение Zr/Hf в цирконах всегда более 40, поскольку аномальные разности разбавляются обычными нормальными.

Следовательно, альбитизированные граниты, содержащие кассiterит и колумбит, могут быть легко выявлены, а их место-

положение определено достаточно точно при геохимическом изучении состава шлиховых цирконов.

Карты четвертого типа необходимы для прямых поисков рудных месторождений. Они помогают выделить аномальные участки и проследить местоположение коренных источников сноса при отсутствии в шлихах прямых поисковых признаков. Эти карты являются хорошим дополнением к литохимическим картам по потокам рассеяния.

### Составление типовых каталогов

Для возможно более точной привязки минерала к конкретному коренному источнику или для суждения о возможном типе размываемого месторождения желательно иметь типовые каталоги концентраций. Они составляются для данного минерала по каждому из известных в районе месторождений и объединяются в сводные каталоги по выявленным генетическим типам и регионам. Последнее необходимо для внесения в генетические выводы поправки на металлогеническую специализацию.

Типовые каталоги можно составлять, опираясь на различные по точности методы анализа. Надо только иметь в виду, что надежность определения генезиса шлиховых минералов тем выше, чем точнее анализ. Можно выделить два типа каталогов. Одни строятся на основе данных полуколичественного или приближенно количественного спектрального анализа, другие опираются на более точные методы количественного определения.

Подавляющая масса литературных данных по содержанию элементов-примесей получена на основе приближенно количественного или полуколичественного спектрального анализа. Наиболее полные из приводимых данных включают среднее содержание того или иного элемента, а также максимальные или минимальные количества с указанием частоты встречаемости. Чаще всего приводятся лишь средние содержания.

Каталоги, построенные на полуколичественных данных, часто не дают однозначного ответа на вопрос о генезисе шлиховых минералов. Кроме того, не всегда можно воспользоваться в полной мере методами математической статистики.

Более удобны каталоги, опирающиеся на точные количественные методы анализа. Они позволяют широко пользоваться точными вычислениями при решении вопроса о генезисе шлиховых минералов. Для этого в типовые каталоги необходимо вносить следующие характеристики: 1) закон распределения, 2) количество цифр в выборке, 3) среднее значение определяемой величины, 4) дисперсию, 5) коэффициент вариации в про-

центах. В качестве приложения к каталогам желательно приводить краткую характеристику месторождения и давать описание типоморфных особенностей анализируемых минералов.

Наряду с данными о распределении элементов-примесей в типовые каталоги желательно вносить результаты изучения газово-жидких включений, главным образом температур образования минералов, методами гомогенизации или декрепитации. В некоторых случаях могут быть вычислены и давления, при которых возник минерал. Систематическое изучение изотопного состава минералов — дело будущего. Однако уже в настоящее время отдельные минералы анализируются достаточно часто, например галенит на изотоны свинца. Эти данные, а также абсолютный возраст минералов тоже необходимо вносить в типовые каталоги.

Составление типовых каталогов — дело трудоемкое, особенно при отборе представительных проб. Значительно упрощает дело наличие элювиальных или делювиальных россыпей или богатых механических ореолов и потоков рассеяния, непосредственно связанных с исследуемым месторождением. Тогда можно ограничиться шлиховыми пробами, которые не только легче брать и довольно просто обрабатывать для выделения мономинеральной фракции, но и общее количество которых в случае представительной выборки может быть значительно меньшим, чем для штуфных проб, взятых в коренном залегании. Последнее обусловлено резким уменьшением коэффициента вариации содержания главных полезных компонентов и примесей при разрушении месторождений и переходе полезного компонента в россыпь или элювиально-делювиальный плейф.

Однако можно ожидать, что средства, затраченные на составление типовых каталогов, с лихвой окупятся с открытием новых рудных тел и месторождений.

#### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Итак, ясно, что шлихо-геохимические исследования дают огромное количество информации. Это существенно повышает эффективность шлиховых поисков и позволяет правильно определять направление поисковых работ.

На Дальнем Востоке шлиховой съемкой выделяются тысячи аномалий, содержащих кассiterит. При этом мелкие и средние, как правило, не детализируются. Однако, изучив состав кассiterитов, можно установить, не было ли их источником перспек-

тивное промышленное месторождение. Может быть, небольшие размеры аномалии объясняются лишь тем, что месторождение вскрыто в апикальной части или перекрыто толщей рыхлых отложений. В то же время крупные по размерам аномалии могут быть обусловлены размывом гранитов, содержащих кассiterит как акцессорный минерал. В этом случае промышленный интерес могут представлять лишь россыпи.

Шлихо-геохимический метод позволяет искать месторождения, которые «классическим» шлихованием пропускаются. Не улавливаются на лотке мелкокристаллический кассiterит, «косовое» золото и другие ценные минералы незначительных размеров.

Микровростки этих минералов с главнейшими минералами шлиха при промывке извлекаются, но пропускаются при описании даже опытными минералогами. Шлихо-геохимический метод, основанный на спектральном анализе тех фракций шлиха, в которых ожидается нахождение микровростков ценных минералов, дает в этих случаях большой эффект, так как всегда выявляет повышенные концентрации ценных компонентов. В зависимости от характера рудной и жильной массы, от степени дезинтеграции рудного вещества и содержания в нем микровростков полезных минералов выявленные аномалии могут быть очень контрастны и прослеживаться на значительные расстояния от коренного источника.

Как уже отмечалось, в различных типах месторождений минералы-концентраторы для одного и того же элемента могут меняться. Поэтому при просмотре под бинокуляром не всегда можно сказать заранее, какой из многочисленных минералов является концентратором искомого элемента. В этих случаях аномальные участки можно выявлять путем спектрального анализа тех (даже и не разделенных поминерально) фракций, которые есть основание считать обогащенными соответствующим минералом-концентратором. Возможность таких поисков обусловлена тем, что содержание рудных элементов в минералах-концентраторах в 100—200 раз и более превосходит содержание их в прочих минералах шлиха. Поэтому даже при незначительных количествах минералов-концентраторов выявление аномалий возможно.

Контрастность этих аномалий в связи с наличием в таких фракциях минералов из вмещающих пород несколько уменьшается. Однако это уменьшение не столь существенно, поскольку здесь обычно присутствуют и другие минералы искомых месторождений, которые содержат повышенные концентрации рудных элементов, а также микровростки полезных минералов.

Спектральный анализ по набору элементов-примесей позволяет отличить минералы, появившие в водотоки при разрушении месторождений, от поступивших из вмещающих пород и использовать эти минералы для выявления не только рудных месторождений, но и зон разломов, участков развития тех или иных пород и т. д.

Но если для более редких минералов шлихи, генетически связанных с ограниченным количеством геологических образований, мы можем составить более или менее всеобъемлющие каталоги концентраций в них элементов-примесей, то этого практически невозможно сделать для широко распространенных минералов. Пришлось бы затратить слишком много времени и сил для того, чтобы опробовать все те породы и руды, в которых встречаются магнетит, циркон, ильменит и другие обычные минералы. Для того чтобы иметь возможность выделить аномальные разности, связанные непосредственно с разрушением рудных месторождений, мы предлагаем определять средний состав минерала, его геохимический фон. Содержание элементов-примесей выше или ниже этого фона будет указывать на аномальные разности минерала. Примерный средний состав минерала мы предлагаем определять следующим способом.

Циркон, ильменит, магнетит и другие достаточно устойчивые в зоне окисления минералы переносятся водотоками почти без изменений на значительные расстояния от коренного источника. Поэтому шлихи, взятые в устьях рек, в первом приближении отражают состав устойчивых минералов разрушаемых пород данного бассейна (работа объединения и перемешивания выполнена водотоками). Отобрав шлихи из устьев крупных и средних рек, бассейны которых покрывают в совокупности всю изучаемую территорию, можно иметь среднюю, представительную пробу по устойчивым минералам для данного региона. Химический, спектральный или иной точный метод анализов даст представление о среднем составе минерала, его фоне.

Средний состав, геохимический фон содержаний V, Cr, Mn, Co, Ni в магнетите, определенный нами для Приморья в целом, приведен в табл. 11.

Очень часто приходится проводить шлихово-геохимические исследования, не связанные непосредственно с поисками месторождений полезных ископаемых. Например, водотоки, размывающие породы единого комплекса, характеризуются примерно одинаковым набором минералов. Так, в шлихах, связанных с разрушением кислых и средних пород, набор шлиховых минералов представлен гранатом, сфеном, турмалином, цирконом, апатитом, антазом и др. В метаморфических породах преобла-

Таблица 11

**Геохимический фон содержаний элементов-примесей  
в магнетите**  
(Приморский край)

Элементы	<i>n</i>	$\bar{x}$	S	V
$V_2O_5$	54	0,304	0,128	42
$Cr_2O_5$	50	0,71	0,92	129
$MnO$	54	0,71	0,37	53
$CoO$	53	0,0057	0,0041	72
$NiO$	54	0,020	0,027	131

П р и м е ч а н и е. Закон распределения нормальный. *n* — количество анализов магнетитов, взятых для расчета; V — коэффициент вариации (в %).

дают амфиболы, пироксены, эпидот, цоизит, гранат. Но элементный состав самих минералов для разных водотоков неодинаков. Минералогический анализ не отражает этой особенности. Получается невыразительная однообразная картина распределения минералов в крупных и малых водотоках. Спектральный же анализ фракций позволяет выявить довольно существенные колебания вещественного состава шлихов.

Спектральный анализ служит надежным контролем минералогического описания шлиховых проб. При просмотре неэлектромагнитной фракции шеелит может быть принят за кварц, большие или меньшие количества которого всегда попадают в тяжелую фракцию. Геохимический же анализ выявит повышенные содержания вольфрама и, таким образом, поможет устранить допущенную ошибку.

Спектральный анализ поможет выявить микровростки минералов, пропущенные при просмотре под бинокуляром. Выбор фракций для анализа в этом случае определяется опытным путем, поскольку микровростки могут встречаться в любой из фракций шлиха в зависимости от свойств главного минерала. Прорастания кассiterита с биотитом выявляются при спектральном анализе электромагнитной фракции; с магнетитом — магнитной. Иногда наблюдающиеся в пегматитах или апогранитах сростки кассiterита и циркона обнаруживаются в неэлектромагнитной части шлиха.

## ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИХОВОГО МЕТОДА ПОИСКОВ

Шлихование как в «классическом», так и особенно в шлихово-геохимическом варианте не уступает современным геохимическим методам поисков. Ниже путем их сравнения мы попытаемся показать достоинства и недостатки шлихового метода.

### ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ШЛИХОВОГО МЕТОДА С ЛИТОХИМИЕЙ

Вторичные ореолы и потоки рассеяния, как известно, представлены двумя формами: механической, образующейся в результате рассеяния рудного вещества в твердой фазе, и солевой, обусловленной миграцией рудного вещества в растворенной форме. Порозные типы рассеяния встречаются редко; обычно образуются смешанные ореолы, что объясняется наложением различных форм выветривания.

Солевые ореолы выявляются гидрохимией, биогеохимией и часто литохимией. На изучении механических ореолов и потоков рассеяния основаны шлихование и частично литохимия, поэтому они конкурируют и в некоторой степени перекрывают друг друга.

Все геологи, применяющие шлихование, отмечают большую чувствительность этого метода. Дело в том, что при промывке пробы, весом 32 кг выход тяжелой фракции обычно не превышает 2 г, т. е. происходит обогащение не менее чем в пятнадцать тысяч раз. Благодаря этому шлихование позволяет выявлять ореолы даже в том случае, если ценные минералы представлены в шлихе всего лишь одним-двумя зернами. Достигаемая в этом случае чувствительность может быть вычислена следующим образом. Вес одного зерна кассiterита размером 0,25 мм равен 0,114 мг, а при размере 0,1 мм — 0,007 мг.

Вес двух зерен соответственно составляет 0,228 и 0,014 мг, что дает аномальное содержание олова на 32 кг общей массы породы (с поправкой на потери при промывке), примерно равное  $1 \cdot 10^{-6}$  и  $1 \cdot 10^{-7}$  вес. %.

Чувствительность металлометрии в лучшем случае десятитысячные доли процента или на три-четыре порядка меньше. Но надо иметь в виду, что даже значительное увеличение чувствительности спектрального анализа не дает возможности выявить слабые аномалии, поскольку мешает общий высокий фон содержаний элементов. Так, кларковые содержания олова и вольфрама колеблются в пределах 1—4 десятитысячных. Выявить на этом фоне аномалии, характеризующиеся превышением в стотысячные доли процента, не представляется возможным, поскольку такие аномалии могут отражать колебания самого фона. Чувствительность литохимии позволяет фиксировать потоки рассеяния на расстоянии лишь первых километров от коренного источника. Например, по данным Поликарпочкина и др. (1965), потоки рассеяния меди, цинка и свинца уверенно прослеживаются на протяжении всего лишь полутора-двух километров от коренного источника. Шлихование же благодаря высокой чувствительности выявляет потоки рассеяния на расстоянии до нескольких десятков километров от коренного источника: вольфрамит улавливается в 10—20 км, кассiterит в 40—60 км, золото в 100 км.

При просмотре шлихов под бинокуляром опытный минералог надежно фиксирует ценные минералы даже в том случае, если это редкие единичные зерна. Благодаря этому шлиховые аномалии характеризуются большой контрастностью. Так, исследования в горных районах аридной зоны показали, что шлиховые аномалии галенита раз в 10 выше интенсивности соответствующих литохимических аномалий по свинцу (Борщев и др., 1961). Аналогичные данные получены Духовским и Илаевым (1960) по Приморью. Здесь в мелких речках, особенно на некотором удалении от коренных источников, кассiterит может давать весьма четкие аномалии, концентрируясь в аллювии в количестве до нескольких граммов на тонну. По данным же литохимии, олова здесь лишь 1—3 тысячных долей процента, а зачастую отсутствует совершенно.

Поскольку шлиховые ореолы и потоки рассеяния значительно протяженнее и контрастнее литохимических, пропуск аномалий при шлиховании значительно менее вероятен, чем при металлометрии.

Литохимия дает сведения лишь о главнейших элементах рудных тел месторождения и некоторых элементах-спутниках.

Многие примеси, весьма характерные для данного типа руд и данного месторождения, но содержащиеся в малых количествах, во вторичных литохимических ореолах обычно не выявляются. Путем шлихования, если в пробе присутствуют главные минералы рудных тел или их спутники, можно извлечь значительно более обширную информацию о коренном источнике. Детально описав габитус, цвет, размер и другие внешние типоморфные особенности минералов, определив спектр элементов-примесей, характер газово-жидких и твердых включений и изотопный состав, можно уже на ранних этапах поисково-разведочных работ судить о генетической обстановке, температуре образования месторождения и его возрасте, о вещественном и минеральном составе руд, типичных минеральных ассоциациях и т. д.

При литохимических поисках фиксируются не только механические ореолы и потоки рассеяния, но и сорбированные солевые. Во многих случаях последние резко преобладают вплоть до полного исчезновения механической составляющей. Но формирование солевых ореолов — процесс сложный, зависящий от самых разнообразных химических и биологических процессов, полностью учесть которые пока невозможно. Поэтому литохимическая информация о месторождении может быть значительно искажена. Часто выявляются ложные аномалии, не связанные с разрушением рудных тел.

Минералогический же анализ шлихов дает прямое указание на наличие рудных минералов, и потому выявленные шлиховые аномалии редко бывают ложными: за ними почти всегда кроется какой-нибудь рудный источник. Остается выяснить его тип, размеры, глубину эрозионного среза и т. д. Найдя в шлихах кассiterит, можно уверенно предполагать наличие выше по течению каких-то рудных проявлений. Но спектральный анализ донных осадков водотоков, дренирующих гранитные массивы, может обнаружить повышенные концентрации олова, которые связаны не с разрушающимися месторождениями, а обусловлены тем, что значительное количество олова входит в виде изоморфной примеси в биотиты, откуда оно высвобождается и мигрирует при выветривании породы.

Информация о коренном источнике, полученная при литохимических поисках, особенно значительно искажается при возникновении на путях движения поверхностных растворов геохимических барьеров. При этом возникает большое количество ложных аномалий. Так, на участках резкой смены восстановительных условий происходит концентра-

ция железа, марганца, кобальта, серы. В условиях восстановительного сероводородного барьера накапливаются цинк, свинец, медь и некоторые другие элементы. Сорбционные геохимические барьеры, приводящие к осаждению из растворов Р, As, V, Cr, Mo, Hg и др., образуются на породах, богатых сорбентами (Перельман, 1965). Литохимия в этих случаях часто не может отличить ложные аномалии от истинных. Ассоциации элементов — более надежный критерий: ложные ореолы по своему качественному и количественному составу не совпадают с типичными для исследуемого района (Лосев, Лященко, 1964). Значительно проще и надежнее провести разбраковку аномалий по найденным в шлихах каким-либо характерным минералам. Например, сульфиды, образующиеся в поверхностных условиях, существенно отличаются в геохимическом отношении от тех же минералов гидротермального генезиса; да и минеральная форма элементов, накапливающихся в поверхностных условиях, часто совсем иная, чем отлагающихся при гипогенных процессах: вместо типичных для последних сульфидов и окислов зоны геохимических барьеров обычно представлены карбонатами, гидроокислами, сульфатами, фосфатами и т. д.

Большинство геологов считает, что литохимия более универсальна, чем шлихование, поскольку она фиксирует ореолы как устойчивых, так и неустойчивых в зоне окисления минералов. Выявление последних обусловлено сорбией растворенных солей илисто-глинистой фракцией, которая попадает в анализ вместе с мелкой механической фракцией. Например, сопровождающие кассiterит в некоторых типах руд сфалерит и пирит легко окисляются и потому в шлихах отсутствуют, но они образуют широкие солевые ореолы цинка и сульфат-иона, фиксируемые литохимией. В пользу большей универсальности литохимии говорит и следующий факт. Некоторые руды, такие как хлорит-кассiterитовые и кассiterит-сульфидные, характеризуются тонкозернистым строением. Поэтому при промывке значительная часть рудных минералов теряется, и в шлихах, взятых даже в непосредственной близости от месторождений, они могут отсутствовать. В этом случае литохимия действительно дает более надежные результаты, чем «классическое» шлихование.

Шлих-геохимический метод позволяет опровергать мнение о большей универсальности литохимии. В частности, геохимическое изучение минералов-концентраторов дает возможность обнаружить месторождения тех элементов, главные рудные минералы которых в шлихах не улавливаются. Например, в некоторых оловорудных районах Северного Сихотэ-Алиня обычный

шлиховой метод поисков надежен. В пределах оловоносных участков в 8 из взятых для сопоставления 14 водотоков касситерит не отмечен. Еще менее представительна литохимия: в донных осадках олово уверенно фиксируется лишь в одном случае. Шлихо-геохимическим методом (спектральный анализ электромагнитной фракции шлихов) олово надежно определено во всех 14 водотоках (Махинин, Гаврилин, 1969).

Металлометрия дает более удовлетворительные результаты в том случае, когда концентрации искомых элементов в месторождениях и ореолах рассеяния в сотни и тысячи раз превышают их кларк в земной коре, т. е. когда распределение элементов резко контрастно. Выявлять месторождения обычных петрогенических или очень распространенных элементов методами литохимии обычно невозможно. Концентрации их в месторождениях превышают средний кларк не более чем в 10—15 раз, и потому они не дают четких и контрастных геохимических аномалий. Истолкование же выявленных чрезвычайно затруднено или просто невозможно в связи с вероятной концентрацией этих элементов в самых разнообразных геологических объектах, совершенно не связанных ни с рудными телами, ни даже просто с гидротермальной деятельностью.

Широкие возможности шлиховой съемки определяются тем, что она изучает конкретную минеральную форму элементов. А эта форма даже при постоянстве общего валового химического состава породы будет в каждом случае иной, отражая изменения генетической обстановки, смену парагенетических ассоциаций и т. д. Особенности образующихся в этих условиях минералов легко фиксируются при шлиховании и используются для поисков месторождений.

Хороший пример тому — различные гранаты, сопровождающие многие месторождения полезных ископаемых в скарнах, трубках взрыва, сланцах, гранитах и т. д. Сюда входит общирная группа минералов с общей формулой  $A_3B_2(SiO_4)_3$ , где A = Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn, Ca; B = Al, Fe<sup>3+</sup>, Cr. При шлиховании эти минералы легко диагностируются даже в том случае, если в пробе их единичные зерна, а тип их непросто определить по цвету, удельному весу, показателям преломления и т. д. Гранаты с гроссуляровой молекулой характерны для шеелитовых скарнов, с равным отношением гроссуляровой и андрадитовой молекул — для медных скарнов; магиститовые, свинцовово-цинковые и кобальтовые скарны представлены в шлихах гранатом с преобладанием андрадитовой молекулы (Гинзбург и др., 1966).

Литохимия же фиксирует лишь общее содержание в пробе тех или иных элементов, связать которые с определенным мине-

ральным видом не представляется возможным даже при содержании минерала в пробе в количестве целых и десятков процентов. И уж совсем невозможно точно определить разновидности выявленных минералов.

Следовательно, широко используя геохимию, шлихование становится более универсальным методом, позволяющим проводить поиски месторождений значительно большего числа элементов по сравнению с литохимией.

Важное качество шлихования — его большая оперативность: обычный минералогический анализ шлихов можно проводить в полевых условиях вслед за отбором проб, а в некоторых случаях непосредственно в процессе промывки и доводки шлиха на лотке.

Ценным качеством шлихования является большая представительность — вес взятой пробы достигает 32 кг против 10—15 г при литохимии. Это особенно важно для полезных компонентов, характеризующихся малым содержанием и весьма неравномерным распределением в ореолах и потоках рассеяния (золото, платина). Например, вероятность попадания в литохимическую пробу золотин размером около 0,5 мм составляет всего 0,5% (при среднем содержании золота в ореоле 1 г/т). При увеличении размеров золотин или уменьшении содержания золота в ореоле вероятность пропуска литохимических аномалий увеличивается (Курбанаев, 1968).

Таким образом, можно отметить следующие преимущества шлихового метода поисков перед литохимией.

1. Шлиховой метод более чувствителен, а выявленные аномалии очень контрастны.

2. При изучении шлиховых минералов можно получить всеобъемлющую информацию о коренном источнике. Либохимией определяется лишь элементный состав главных компонентов руд.

3. Полученная при литохимии информация о коренном источнике значительно исказжена поверхностными процессами. Заключенная в минералах информация сохраняется почти в неизменном виде.

4. Привлекая геохимические методы исследований, а также широко используя минералы обычных петрогенных и широко распространенных элементов, шлихование позволяет искать месторождения значительно большего числа элементов, чем либохимия.

К недостаткам шлихового метода надо отнести следующее. Во-первых, шлихование бессильно в тех немногочисленных случаях, когда в шлихе отсутствуют промышленно важные ми-

нералы, их спутники и минералы-концентраторы, солевая составляющая ореола рассеяния сорбируется на минералах легких, таких как глина и органические вещества, или же гидроокислами железа и марганца очень мелких фракций, которые теряются при промывке на лотке. Во всех этих случаях литохимия значительно информативнее, поскольку все эти сорбенты попадают в пробу и подвергаются геохимическому анализу.

Во-вторых, шлихование дорого и трудоемко: отбор и спектральный анализ литохимических проб в два раза дешевле, чем шлихование и простой минералогический просмотр тяжелой фракции. Особенно трудоемким шлихование становится, когда породу приходится транспортировать к месту промывки. Кроме того, отбор литохимических проб не требует квалификации, шлихование же требует навыка. Геохимические исследования увеличивают стоимость шлихового опробования, особенно при отборе мономинеральных фракций.

На различных этапах поисково-разведочных работ роль и значение шлихового и литохимического методов в проводимом комплексе исследований меняются.

На стадии мелкомасштабных поисков, т. е. самого первоначального геологического обследования территории, значение шлихового метода велико — большая чувствительность дает возможность выявить практически все имеющиеся аномалии. Литохимический анализ в этом случае менее эффективен, но все-таки он необходим и проводится параллельно со шлихованием. В противном случае возможен пропуск тех месторождений, главные минералы которых неустойчивы в зоне окисления, довольно мелкие или очень легкие, а минералы-концентраторы и минералы-спутники отсутствуют.

Совместное использование металлометрии и шлихования в значительной мере исключает недостатки, присущие каждому из этих методов, и, следовательно, повышает эффективность поисковых работ, особенно при поисках 1:50 000 и мельче.

Данные шлихового опробования иногда противоречат уставновившимся взглядам на металлогеническую специализацию района. Полное соответствие результатов шлихования известной коренной минерализации может быть только в очень хорошо изученных районах (Каницев, 1968).

Если поиски направлены на выявление конкретных месторождений, которые уверенно фиксируются по устойчивым главным рудным минералам, минералам-спутникам или минералам-концентраторам, литохимию можно исключить из списка поисковых методов, используемых при мелкомасштабной съемке. Например, при поисках олова, алмаза и ртути главнейшим

поисковым признаком служит наличие в шлихах кассiterита, нишона и киповари. В этих случаях шлихование достаточно надежно и вполне заменяет металлометрию.

На стадии разбраковки аномалий самое важное — получить максимум информации о характере коренного источника. Поэтому обязательно надо использовать все методы, имеющиеся в распоряжении геолога. Особенно ценная информация извлекается при изучении отдельных минералов, дающих самые правдивые, неискаженные и весьма полные сведения о рудных телах. Сопоставление данных, полученных при биогеохимии, гидро-геохимии, литогеохимии и шлиховании, поможет установить характер коренного источника, его тип, размер и т. д. Затраты с лихвой окупятся открытием новых месторождений или отбраковкой беспersпективных аномалий.

Границы рудных полей, участков и отдельных рудных тел в пределах месторождений уточняются путем опробования элювиально-делювиальных отложений, иногда аллювия мелких рек и ручьев. Для месторождений, в составе которых имеются улавливаемые в лотке устойчивые минералы, эти задачи могут решаться как литохимией, так и шлихованием. В целом для устойчивых минералов шлихование и металлометрия дают довольно хорошо сопоставимые результаты (Плыши, 1956 и др.).

Однако при детализации нас интересует главным образом обнаружение и уточнение местоположения разведуемых объектов, а полную информацию о последних иметь уже не обязательно. Поэтому выявлять рудные тела можно с успехом не только по главному элементу, но и по элементам-спутникам. Сульфидно-кассiterитовые руды хорошо выявляются металлометрией на олово, по особенно рельефно по свинцу, цинку, меди, а в некоторых случаях по  $\text{SO}_4^{2-}$ -аниону. При выборе методики необходимо ориентироваться лишь на экономическую целесообразность. Поскольку литохимия и производительнее и дешевле, особенно если иметь в виду обычное отсутствие воды вблизи мест отбора проб, шлихование на этом этапе менее выгодно и обычно не применяется. На минералогический анализ необходимо отбирать лишь какую-то часть проб для корректировки результатов спектрального анализа, а также для контроля.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛИХОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Поиски слепых, не выходящих на дневную поверхность рудных тел, приобретают все большую актуальность. К решению

этой проблемы широко привлекаются гидрохимия, литохимия, биогеохимия. Во многих случаях может оказаться весьма эффективным или хвой метод, особенно пилото-геохимический его вариант.

Помимо изучения структурных, литологических и иных факторов, поиски слепых рудных тел и месторождений основаны на выявлении и оценке пустых безрудных выходов, околоврудно измененных пород, первичных ореолов рассеяния и вмещающих пород, пропаренных высокотемпературными гидротермальными растворами.

Околоэкильные изменения боковых пород, первичные ореолы рассеяния и зоны пропаривания возникают в результате единого процесса — воздействия высокотемпературных рудообразующих растворов на вмещающие горные породы. Поэтому и встречаются они, как правило, совместно. Зона видимых изменений горных пород и ореол рассеяния в них минеральных новообразований значительно уже, чем невидимый геохимический ореол рассеяния. «Пропаривание» пород фиксируется в наибольшем удалении от рудных тел (рис. 17). В зависимости от интенсивности и особенностей гидротермального процесса, состава и пористости вмещающих пород первые две зоны могут отсутствовать или же быть минимальными. В частности, хорошо известно, что околоэкильные изменения отмечаются далеко не на всех месторождениях или же их размеры незначительны. В случае отсутствия в минералообразующих растворах «транспортабельных» элементов вокруг рудных тел фиксируется только ореол «пропаривания». Это характерно, например, для хрусталеносных жил.

Образовавшиеся за счет разрушения первичных ореолов, безрудных участков слепых тел и околоврудно измененных пород вторичные ореолы и потоки рассеяния могут выявляться геохимическими

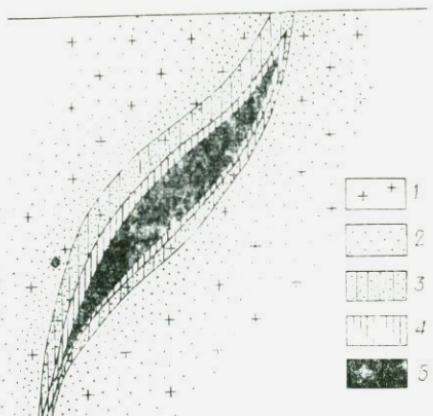


Рис. 17. Взаимоотношение зон «пропаривания», первичных ореолов рассеяния и околоэкильно измененных пород (по Ермакову, 1968).

1 — гранитоиды; 2 — зона «пропаривания»; 3 — первичный ореол рассеяния; 4 — околоэкильно измененные породы; 5 — гидротермальное рудное тело.

методами поисков. Жилы барита и флюорита обнаружаются путем спектрального определения бария и фтора во вторичных ореолах рассеяния. При поисках окорудно измененных пород, содержащих пирит, выделяются участки повышенных концентраций аниона  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Чаще всего для поисков слепых рудных тел применяется литохимия. Однако во многих случаях шлихование эффективнее, чем литохимия.

Например, шлиховой метод может быть использован более широко, чем литохимия, для выявления окорудно измененных пород и безрудных выходов слепых рудных тел. Эти образования слагаются минералами обычных нетрогенических (Si, Al, K, Na, Mg, Ca, Ti) или же очень распространенных (F, B,  $\text{CO}_2$ ) элементов, которые литохимически не выявляются или выявляются с трудом. Шлихование же основывается на изучении конкретных минералов, выделить и определить которые в шлихе обычно не представляет особого труда. Увеличение количества их в отмытом шлихе служит хорошим критерием близости искомых образований. Жильные месторождения кварцтурмалиновой формации переходят вверх по разрезу в кварцтурмалиновые проводники. Рудные тела, содержащие барит или флюорит, на участках выклинивания представлены баритовой и флюоритовой минерализацией. Все эти минералы дают устойчивые вторичные ореолы рассеяния, легко выявляются шлиховым опробованием. Так же легко могут быть выявлены и окологильно измененные породы: обнаружение в шлихе ассоциации андалузит+диаспор+пирофиллит (иногда совместно с рутилом и турмалином) указывает на наличие поблизости окварцованных пород; ассоциация топаз+турмалин+флюорит говорит о разрушении грейзенов. Гидротермально измененные хлоритизированные породы проявляются ассоциацией хлорит+биотит+амфибол+турмалин+гранат. В случае же скарнов шлихи изобилуют такими минералами, как гранат, пироксены, скаполиты, к которым часто присоединяются везувиан, волластонит, эпидот и магнетит.

Шлиховой метод дает возможность отличать аномалии истинные, обусловленные разрушением окологильно измененных пород, от аномалий ложных, возникающих при выветривании пород, образовавшихся при региональном метаморфизме. Серицитизация чаще всего связана с региональными процессами метаморфизма и автометаморфизма. Отличить ее от серицитизации, вызванной воздействием рудообразующих растворов, можно, зная минералы-спутники, которые возникают в результате привноса элементов, чуждых для замещаемой породы. Например,

находки турмалина, флюорита и топаза в шлихах, взятых на площадях широкого развития серицитовых пород, указывают на участки, где возможно слепое оруденение.

Большую помощь в выявлении слепых рудных тел оказывает также изучение внешних кристаллографических форм, особенностей цвета, блеска, удельного веса и других свойств минералов. Однако минералы, которые мы наблюдаем, встречаются еще в десятках и сотнях образований (пустые безрудные жилы, метаморфические и изверженные породы и т. д.), совершенно не содержащих полезных компонентов зон и жил. Но, как уже указывалось, минералы, так или иначе связанные с рудным процессом, унаследуют набор элементов-примесей, характерный для данного месторождения и соответствующей геохимической обстановки, и резко отличаются по составу от тех же минералов безрудных зон или участков.

Анализируя выделенные минералы на содержание элементов-примесей, можно довольно точно наметить местоположение слепых рудных тел, а в некоторых случаях и определить примерную глубину эрозионного среза.

Шлиховой метод не имеет конкурентов при выявлении ореолов «пропаривания», развивающихся над слепыми рудными телами. Образование таких ореолов обусловлено тем, что гидротермы, фильтруясь и диффундируя в стороны и вверх от формировавшихся рудных тел, самоконсервировались в минералах вмещающих пород в виде многочисленных вторичных газово-жидких включений. Эти включения — характерный признак зон «пропаривания». Они прослеживаются на значительные расстояния от рудоносных зон. Эти ореолы не могут быть выявлены минералого-петрографическими и даже тонкими геохимическими исследованиями. Изучение их проводится путем декрепитации и гомогенизации газово-жидких включений, заключенных в рудных и жильных минералах шлиха.

Метод гомогенизации — трудоемкая и дорогостоящая операция и может применяться только для контрольных измерений.

Чаще используют производительный и универсальный способ декрепитации — он пригоден как для прозрачных, так и для непрозрачных минералов, а также, что весьма ценно, позволяет исследовать очень мелкие газово-жидкие включения. Этот метод основан на определении количества вторичных газово-жидких включений в породах и минералах толщ, расположенных непосредственно над рудными телами или вблизи их. Упрощенный его вариант — декректофонический метод опирается на подсчет общего количества включений (принимается, что

первичные отсутствуют или количество их примерно постоянно). Теоретической основой метода служит тот факт, что с приближением к коренному месторождению или жиле постмагматического происхождения количество взрывов на одинаковую навеску минерала неизменно увеличивается: минерал будет более «звучающим». Близи месторождения, даже перекрытого наносами, число взрывов достигает сотни и даже тысячи на 1 г породы (Ермаков, 1966).

Для выявления ореола «пропаривания» должны быть «прослушаны» самые обычные, широко распространенные минералы (магнетит, циркон, ильменит, апатит), а также более редкие: гранат, сфен и др. Во многих случаях достаточно исследовать на «взываемость» просто всю тяжелую фракцию шлиха, не разделенную даже на электромагните. Указателем близости рудного тела будет общее увеличение количества взрывов или увеличение на декрентограмме пика, отвечающего вторичным газожидким включениям. В качестве эталона могут быть взяты те же минералы из явно пустых участков, для чего часто достаточно отмыть шлих в стороне от исследуемого водотока.

При приближении к слепому рудному телу целесообразно исследовать на взываемость и легкую фракцию шлиха, представленную кварцем и полевым шпатом. Именно эти минералы помогут наиболее точно оконтурить ореолы «пропаривания», окружающие рудные тела (Ермаков, 1966, 1968).

Первичные ореолы рассеяния, попадая в зону выветривания, разрушаются, образуя механические и солевые ореолы и потоки рассеяния. С поисковой точки зрения поверхностные преобразования весьма благоприятны, так как они приводят к огромному расширению аномальных площадей. Это облегчает их выявление. Однако в результате окисления и выноса в виде солей неустойчивых минералов, а также разбавления пустыми вмещающими породами первичные ореолы рассеяния существенно разубоживаются вплоть до полного исчезновения аномальных участков. Такое разубоживание мешает выявлению слепых рудных тел, поскольку первичные ореолы рассеяния над ними на дневной поверхности ослаблены, и тем больше, чем на большей глубине расположено рудное тело. Но шлиховое опробование благодаря своей высокой чувствительности может выявить даже очень слабые аномалии, не улавливаемые при обычных лихихимических поисках. Большим препятствием для шлихового опробования может явиться лишь то, что минералы-концентраторы первичных ореолов часто неустойчивы в зоне окисления (пирит, сфалерит) или очень мелки и на лотке не улавливаются.

В первичных ореолах преобладает рассеянная форма нахождения элементов-примесей. Поэтому поиски их наиболее целесообразно проводить путем литохимического опробования. Однако иногда шлихование может оказаться эффективнее, например при концентрации элементов-индикаторов первичного ореола в собственных тяжелых минералах или при образовании существенной примеси в других минералах повышенного удельного веса. Так, серебро, сурьма, кадмий и висмут часто образуют повышенные концентрации в пирите, а свинец, цинк, медь и мышьяк встречаются преимущественно в виде собственных минералов.

Таким образом, ореолы «пропаривания» могут быть выявлены и оконтурены только шлиховым методом. При поисках безрудных выходов слепых рудных тел и окологильно измененных пород шлихование играет важнейшую роль. Первичные ореолы рассеяния наиболее эффективно выявляются литохимией, шлихование же выступает здесь в качестве вспомогательного средства.

Поскольку первичные ореолы рассеяния, окологильно измененные породы и ореолы «пропаривания» обычно развиваются около рудных тел совместно, для их выявления должны использоваться и литохимия и шлихование. Роль и значение этих методов меняется в зависимости от того, какие из перечисленных образований преобладают.

#### ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИХОВОГО МЕТОДА В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОНАХ

Ландшафтные условия определяют процессы выветривания горных пород, вскрытия и разрушения месторождений, высвобождение устойчивых в условиях выветривания рудных минералов и окисление неустойчивых с образованием механических и химических ореолов и потоков рассеяния. Интенсивность вторичных солевых и механических ореолов и потоков рассеяния определяется денудационными процессами, т. е. процессами, ведущими к удалению продуктов выветривания горных пород и рудных месторождений преимущественно текучими водами и в значительно меньшей степени другими агентами (ветер, лед). «Хотя точной математической пропорциональности между величинами механической и химической денудации нет, но все же они изменяются по одному общему закону: с усилением механической денудации усиливается и химическая и наоборот». Это объясняется тем, что они зависят от одних

и тех же факторов: рельефа местности, температурного режима региона и количества выпадающих осадков (Страхов, 1962).

И кора выветривания, и механический смыг слабо развиты в поясе умеренно влажного климата и резко возрастают в условиях тропического и субтропического влажного климата. В субполярных областях эти процессы минимальны. Эффективность химического выветривания в тропическом климате в условиях равнинного рельефа в 20—40 раз больше, чем в климате умеренно влажном, а интенсивность механического смыга увеличивается всего в 5—10 раз. Поэтому в тропической области на равнинах, несмотря на общее усиление механической денудации, мощность коры выветривания значительно больше, чем на равнинах в зоне умеренного климата.

Для Советского Союза А. И. Перельман (1966) выделяет следующие типы геохимических биогенных ландшафтов, последовательно сменяющихся с севера на юг: тундровые, таежно-мерзлотные, лесные без мерзлоты, степные и сухостепные-пустынные. В зависимости от ландшафтно-геохимических особенностей региона значение шлихового метода в общем комплексе поисковых работ меняется.

Для тундровых ландшафтов характерны низкие температуры воздуха и почвы и большая влажность, обусловленная, однако, не обильными осадками, которых здесь чрезвычайно мало, а низкой испаряемостью. Повсеместно, за исключением Кольского полуострова, распространена вечная мерзлота, передко начинающаяся непосредственно под моховым покровом на глубине 10—20 см. Большим развитием в этой зоне пользуются мхи и лишайники. Характерно интенсивное морозное выветривание с образованием грубообломочных осыпей и механических ореолов и потоков рассеяния. Вследствие быстрого перемещения выветрелого материала вниз по склонам (солифлюкция, обвалы, оползни) небольшие речки часто ве в состоянии переработать всю массу поступившего материала и иногда оказываются погребенными под этими накоплениями. На более крупных реках паводки интенсивно размывают и переносят поступивший в долину обломочный материал. В аллювиальную стадию процессы физического выветривания захватывают даже донный аллювий промерзающих до дна рек (Шило, 1960). Это создает благоприятные условия для возникновения протяженных механических потоков рассеяния.

Содержание в осадках иллисто-глинистой и песчаной фракции ничтожно. Только пластинчатые и хрупкие минералы дают небольшое количество переизмельченного материала, способного образовывать взвеси и коллоидные растворы. Из-за низкой

температуры скорость химического выветривания ничтожна, зона окисления выражена слабо, почвенные, грунтовые и поверхностные воды ультрапресны. Тонкие фракции коры выветривания хорошо промыты, что свидетельствует о неблагоприятных условиях для образования твердых солевых ореолов рассеяния, поэтому видимые солевые образования коры выветривания практически полностью отсутствуют.

Хорошие механические ореолы рассеяния возникают практически около всех типов месторождений. Так, пирит-пирротин-сфалеритовые месторождения, исключительно легко создающие солевые ореолы в южных ландшафтах, в условиях северных широт сопровождаются механическими ореолами и потоками рассеяния. Большое поисковое значение могут иметь «геохимические реликты», унаследованные от более влажного и теплого климата (Перельман, 1970). В условиях северных широт они могут образовать механические ореолы и потоки рассеяния.

В условиях тундровых ландшафтов шлиховые поиски имеют наибольшее значение. Часто шлихование является единственным методом обнаружения рудных месторождений. В некоторых случаях эффективны литохимия, гидрохимия и биогеохимия.

Таежно-мерзлотные ландшафты характеризуются континентальным климатом: относительно влажное и достаточно теплое лето и холодная продолжительная зима. Широко распространена многолетняя мерзлота. Зона окисления развита слабо и проникает неглубоко. Преобладает низкая минерализация вод, процессы выноса металлов ослаблены. Благодаря слабому развитию химического выветривания в шлихах могут быть обнаружены даже такие неустойчивые минералы, как сфалерит. На пологих склонах, покрытых мелкоземом, в верхнем активном слое протекают процессы выщелачивания и развиваются подзолистые выщелоченные почвы. Выщелачивание мешает образованию эпигенетических открытых ореолов даже в маломощном слое мелкозема. На крутых и обнаженных склонах механические ореолы рассеяния выходят на дневную поверхность в виде узких или плащеобразных полос. Сильная затащенность мешает образованию хороших механических ореолов рассеяния. Но по ручьям и рекам потоки рассеяния выражены достаточно отчетливо. Шлихование в этом ландшафте наряду с металлометрией является одним из важнейших методов поисков.

Лесные ландшафты без мерзлоты расположены в более умеренном климате. Выпадающие осадки достаточно быстро и глубоко проникают в почвенный горизонт и породы, поэтому отмечается глубокое и интенсивное про-

мывание почв и выщелачивание из них металлов. Формирование ореолов обычно связано с интенсивной биологической или физико-химической миграцией элементов. Условия весьма благоприятны для концентрации элементов в солевых потоках рассеяния. Часто образуются аккумуляции рудных элементов за счет сорбционных явлений, возникающие при этом ложные ореолы затрудняют интерпретацию выявленных аномалий. Хорошие шлиховые ореолы рассеяния могут образовывать лишь наиболее устойчивые рудные минералы, такие как золото, кассiterит, тантало-ниобаты, монацит.

Окисление сульфидов протекает довольно медленно в северной тайге и значительно быстрее в зоне смешанных лесов, где имеются благоприятные условия для применения гидрохимического и биогеохимического методов поисков. Использование металлометрии местами затрудняется выщелоченностью почв. В условиях резкого уменьшения контрастности геохимических аномалий шлиховое опробование по устойчивым рудным минералам, минералам-спутникам и минералам-концентраторам может иметь большое поисковое значение.

Степные ландшафты характеризуются сухим континентальным климатом с жарким летом и холодной зимой. Количество выпадающих осадков соизмеримо с количеством их для лесной зоны, однако испаряемость высокая. Этим определяются многие геохимические особенности рассматриваемых ландшафтов, например быстрое окисление сульфидов и частичная задержка продуктов выветривания в виде карбонатов и сульфатов тяжелых металлов. Механические ореолы часто представлены вторичными гипергенными минералами: малахитом, церусситом, смитсонитом, хризоколлой и др.

В степных ландшафтах большая часть территории покрыта чехлом молодых рыхлых отложений; разнос рудного материала незначителен или отсутствует совершенно. Небольшие по размерам шлиховые ореолы образуются лишь тогда, когда месторождение попадает в борта рек или оврагов. Почва выщелочена слабо, такого энергичного выноса металлов из ореолов, как в тайге, здесь не наблюдается. Поэтому условия для литохимических поисков весьма благоприятны. Много водопунктов, воды слабо- и среднеминерализованы. Гидрохимические и частично биогеохимические поиски эффективны. Шлихование играет подчиненную роль.

Ландшафты сухих степей и пустынь характеризуются сухим, резко континентальным климатом и острым недостатком влаги. Современная гидросеть и соответственно современный аллювий развиты чрезвычайно слабо.

Водные потоки имеют, как правило, временный характер и играют ничтожную роль в переносе и переотложении продуктов выветривания. Широко развит современный рыхлый покров при явном преобладании аллювиально-делювиальных и делювиально-пролювиальных отложений, с которыми чаще всего и приходится сталкиваться при поисковых работах. В зоне сухих степей, особенно в пустынях, в связи с отсутствием растительности или ее скучностью важную геохимическую роль играет ветер, обогащающий пылью и солями одни ландшафты и удаляющий эти компоненты из других.

Грунтовые воды очень минерализованы. Депрессии рельефа характеризуются явлениями испарительной концентрации и засоления почв, что приводит к многочисленным ложным геохимическим аномалиям. Почва практически не выщелачивается. Зона окисления рудных месторождений обычно неглубока, но интенсивно проработана и богата вторичными минералами. Степень разноса рудного материала незначительна, поэтому вокруг месторождений возникают отчетливые контрастные ореолы рассеяния, примыкающие непосредственно к рудным телам.

Для металлометрических поисков зоны сухих степей и пустынь очень благоприятны. Гидрохимические поиски часто невозможны из-за отсутствия водотоков. На площадях, перекрытых эоловыми отложениями, растения с глубокой корневой системой могут облегчить выявление экранированных месторождений с помощью биогеохимического метода.

Наличие механических ореолов и потоков рассеяния, что особенно характерно для пустынь, благоприятствует широкому внедрению шлихового опробования. Однако оно возможно лишь в краткие периоды ливневых дождей, когда возникают временные водотоки. В этих условиях целесообразно заменить отмывку легкой фракции ее механической отдуvkой, что с теоретической точки зрения не вызывает возражений, однако практическая сторона этого дела явно отстает; ни в отечественной, ни в иностранной литературе последних лет нами не встречено ни одного описания сконструированного для этих целей приспособления или прибора.

Внутри климатических зон энергия механического смыва увеличивается по мере возрастания тектонической активности региона и в гористых областях значительно выше сравнительно с равнинными. Здесь резко преобладает механическая денудация над химической. И для горных районов, где сильно развиты денудационные и эрозионные процессы, характерны механические потоки рассеяния элементов.

Высокогорные районы имеют резко расчлененный альпийский рельеф и обычно расположены в осевых частях крупных горных хребтов, чаще всего на высоте более 3000 м над уровнем моря. В связи с интенсивными процессами физического выветривания, а также из-за сравнительно низкой средней температуры воздуха в шлихах широко представлены даже малоустойчивые минералы. Механические потоки рассеяния прослеживаются на значительном расстоянии, но локализуются по узким ущельям.

Среднегорные районы расположены ниже 3000 м и менее расчленены. К таким участкам относятся большинство горных сооружений. Рыхлые отложения перекрывают значительные площади. Шлиховые ореолы и потоки рассеяния развиты очень интенсивно. Многие малоустойчивые минералы могут встречаться далеко за пределами рудных выходов. Например, в горных районах аридной зоны механические потоки молибденита и сфалерита прослеживаются на расстоянии до 2 км от коренного источника (Каблуков и др., 1964).

Форма и размеры механических ореолов в условиях молодых горных склонов более четко отображают форму и размеры рудных тел, нежели на пeneппенизированных водоразделах, которым свойственны пятнистые изометричные солевые ореолы.

Шлиховой метод поисков является главнейшим для горных районов. С уменьшением расчлененности рельефа снижается количество крупных и увеличивается процент мелких фракций, аккумулирующих в этих случаях главную часть металлов. Возникают благоприятные условия для литохимических поисков. Поэтому наклон рельефа должен учитываться при выборе метода поисков. Например, в Забайкалье, при углах, больших  $10^{\circ}$ , применим шлиховой метод, а при более пологом рельефе следует использовать металлометрию (Гудиашвили, 1958).

Методика шлиховых поисков варьирует в зависимости от типа ландшафта. Для горных местностей (Сихотэ-Алинь) наиболее перспективно изучение редких рудных минералов (галенит, киноварь, арсенопирит, кассiterит), а не обычных минералов шлиха (магнетит, апатит и др.), поскольку в процессе переноса водотоками происходит интенсивное разбавление аномальных разностей пустыми. Обычные минералы рациональнее изучать в условиях равнинных ландшафтов (Уссури-Ханкайская равнина), так как здесь перемещение и разбавление аномальных минералов незначительно. Главная же причина заключается в том, что в этих районах кора выветривания прекрасно развита и имеет большую мощность. Все неустойчивые минералы (сфалерит, халькопирит, а часто и галенит) полностью

разрушены, и составляющие их компоненты почти полностью вынесены. Поэтому гидрохимические и литохимические методы зачастую не дают должного эффекта. В этих условиях широкое геохимическое изучение как можно большего числа устойчивых против выветривания и разрушения минералов, как рудных, так и обычных, дает обширную информацию о коренном источнике.

Возможности шлихового метода в значительной мере определяются геоморфологическими условиями. Шлиховое опробование наиболее успешно применяется в районах с замедленными положительными и неравномерными движениями земной коры. Здесь успевает развиться рыхлая кора выветривания, позже подвергающаяся эрозии с высвобождением и накоплением устойчивых минералов повышенного удельного веса. При более интенсивном поднятии земной коры условия для применения шлихового метода ухудшаются, шлиховой метод заменяется глыбовой съемкой. В районах, находящихся в стадии погружения, сопровождающегося аккумуляцией осадков, шлиховое опробование проводится с проходкой мелких горных выработок как в долинах рек, так и на склонах.

Таким образом, шлиховой метод является главнейшим средством поискования в северных районах, а также в горных регионах любых ландшафтах зон. Весьма перспективно шлихование в зоне пустынь, однако необходимо разработать способы сухой отдувки легкой фракции. Во всех остальных регионах шлиховое опробование может служить ценным дополнением к литохимическим поискам.

### РОЛЬ ШЛИХОВОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗНОГО ТИПА

Минеральный состав искомых месторождений определяет характер ореолов и потоков рассеяния: будут ли они представлены растворимыми солями или в зоне окисления произойдет лишь механическая дезинтеграция рудного вещества. В зависимости от предполагаемого характера ореола рассеяния выбирается комплекс геохимических методов обнаружения месторождений и определяется роль и значение шлихования. Так, сфalerит очень неустойчив в коре выветривания и чрезвычайно редко встречается в шлихах. Продукты его окисления хорошо растворимы в поверхностных водах и могут быть довольно легко обнаружены гидрохимией, биогеохимией и литохимией. Однако

эти методы часто малоэффективны при поисках месторождений, представленных такими устойчивыми минералами, как циркон, кассiterит и вольфрамит. При поисках алмазов классические геохимические методы почти не используются, а наибольший эффект дает шлихование.

По устойчивости главных рудообразующих минералов в верхней, окисляющейся части рудных тел и по характеру образующихся вторичных ореолов рассеяния металлические месторождения можно разбить на три группы (согласно несколько видоизмененной классификации Смирнова, 1965).

В первую группу входят месторождения, рудные минералы которых устойчивы в зоне окисления или изменяются весьма незначительно. Это олово в виде кассiterита, вольфрам, ниобий, самородное золото, илатина, алмаз, ртуть, хромит, бокситы, титан, цирконий, окисные и гидроокисные руды железа и марганца. При разрушении этих месторождений возникают механические ореолы и потоки рассеяния, прослеживающиеся на значительные расстояния от коренного источника.

Шлихование является наиболее эффективным, а часто и единственным методом поисков месторождений первой группы. Например, при поисках ртути в условиях Приамурья шлихованием устанавливается в 2 раза больше ореолов, чем методом донного опробования (Сазанов, 1969). С одинаковым успехом могут применяться и шлихо-геохимический, и шлихо-минералогический варианты. Остальные виды геохимических поисков обычно опираются на косвенные поисковые признаки (элементы-спутники), и потому применение их весьма ограничено и часто неадекватно: фиксируется большое количество ложных аномалий, рудные же тела могут быть прощущены. Например, по литохимическому ореолу меди и цинка можно выявлять месторождения олова в случае присутствия в рудах сфалерита и халькоцирита (кассiterит-сульфидная формация). Месторождения вольфрама, золота и олова выявляются гидрохимически по  $\text{SO}_4^{2-}$ -иону при наличии повышенной пиритоносности вмещающих гидротермально измененных пород.

Некоторые месторождения, относимые к первой группе, «классическим» шлиховым методом не выявляются. Например, сульфидно-кассiterитовые руды часто представлены очень мелким кассiterитом, который при промывке почти или полностью теряется. Поэтому шлиховые ореолы кассiterита фиксируются лишь вблизи рудных тел. Значительно больший эффект может дать шлихо-геохимический вариант. Спектральный анализ электромагнитной фракции фиксирует минералы-концентраторы олова, такие как турмалин и биотит, а также

сростки кассiterита с рудными и жильными минералами, пропускаемыми при просмотре шлихта под бинокуляром. Это дает возможность устанавливать повышение геохимического фона олова далеко за пределами рудных тел.

Вторая группа охватывает месторождения, главные рудные минералы которых неустойчивы в зоне окисления и заменяются устойчивыми вторичными. Эта группа включает свинец, мышьяк, висмут, сурьму, карбонатные руды железа и марганца, олова в сульфидной форме. Для этих месторождений характерен преобладающее солевое или смешанный ореол рассеяния. Повышенное содержание рудных металлов в водах, омывающих месторождения, в некоторых случаях фиксируется на протяжении нескольких километров. Механический же ореол, представленный вторичными минералами зоны окисления, в связи с малой прочностью и легкостью истирания последних выявляется лишь в непосредственной близости от коренного источника. Значительно более протяженные механические ореолы и потоки рассеяния могут быть представлены устойчивыми минералами-концентраторами. Например, при разрушении скарново-полиметаллических месторождений везувиан, гранат и геденбергит, содержащие повышенные количества свинца, могут быть обнаружены в шлихтах на расстоянии в несколько километров от коренного источника.

Для месторождений второй группы шлихование — ценный вспомогательный метод расшифровки, а в некоторых случаях и выявления аномальных участков. Поэтому обнаруженные биогеохимией, гидрогеохимией и литохимией ореолы и потоки рассеяния должны обязательно шлиховаться. Характер выявленных вторичных минералов, их состав помогут оценить перспективность участков и определить тип искомых месторождений. Так, находки церуссита говорят о возможности обнаружения свинцовых месторождений, а присутствие бисмута и бисмутита указывает на разрушение висмутовых руд. Появление в шлихтах наряду с вторичными и первичными минералами рудных тел: галенита, висмута самородного, сульфосолей олова — надежно указывает на близость коренного источника.

Третья группа — это месторождения, главные рудообразующие минералы которых очень неустойчивы в зоне окисления, продукты разрушения которых легко растворимы и выносятся за пределы рудных тел. Сюда относятся месторождения цинка, меди, никеля, кобальта, молибдена, золота в сульфидной форме. Для этих месторождений очень характерен солевой ореол рассеяния. Главнейшие рудные минералы могут быть встречены в шлихтах лишь вблизи рудных

тел. Значительно более широкие ореолы и потоки рассеяния могут образовать устойчивые минералы-спутники и минералы-концентраторы. Так, гранаты и пироксены, связанные с разрушением содержащих сульфиды меди скарнов, фиксируются в шлихах, взятых далеко за пределами месторождений. Цинк, концентрирующийся в биотите, магнетите, ильмените, может быть обнаружен при спектральном анализе этих минералов или электромагнитной фракции в целом, а его месторождения выявлены даже в том случае, если главный минерал его — сфалерит полностью разложен поверхностными процессами.

При поисках месторождений третьей группы широко используются гидрохимия, биогеохимия и литохимия, особенно донное опробование. Этот комплекс желательно дополнять шлихованием, особенно при расшифровке выявленных аномалий. Например, при поисках меднопорфировых руд используются не только солевые ореолы Cu, Mo, Pb, Zn, но и минералогические индикаторы — корунд, диаспор и др. (Гинзбург и др., 1966). По барию, минералу, устойчивому в зоне окисления, возможно проводить поиски метасоматических сульфидных руд (Росляков, 1964).

Значительно больший эффект может дать изучение минералов-спутников и минералов-концентраторов. В скарново-полиметаллических месторождениях амфиболы и пироксены часто содержат примесь цинка и меди. Геохимический анализ этих минералов позволяет выявить ореолы рассеяния далеко за пределами разрушающихся рудных тел, на участках, где собственные минералы цинка и меди уже давно разрушены поверхностными агентами.

Месторождения третьей группы, в которых устойчивые минералы-спутники и минералы-концентраторы отсутствуют, проявляются чисто солевыми ореолами рассеяния. Основная масса металлов впоследствии сорбируется различного рода гидроокислами и глинисто-илистыми частицами. Если крупность гидроокислов превышает 0,1 мм, они могут быть выявлены шлихованием. Геохимический анализ этих минералов дает почти полный спектр элементов, входящих в состав рудных тел. Это может служить хорошим дополнением гидрохимии, литохимии и биогеохимии.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В геологической практике господствует минералогический вариант шлиховых поисков. Он опирается прежде всего на выявление главнейших минералов рудных тел (золото, касситерит, вольфрамит) или минералов-спутников (пироп). В некоторых случаях изучаются внешние типоморфные особенности минералов, а также их ассоциации.

Геохимия значительно расширяет возможности шлихового метода поисков. Геохимический анализ основных рудных минералов шлиха или их спутников помогает извлекать обширную информацию о коренном источнике сноса. Исследование минералов-концентраторов дает возможность проводить поиски рудных месторождений даже при отсутствии в шлихе прямых поисковых указателей. Геохимия позволяет вовлекать в круг исследований практически все минералы, обнаруживаемые в шлихах: магнетит, циркон, апатит, ильменит, которые используются для поисков рудных тел с неменьшим эффектом, чем редкие минералы или их спутники.

Геохимия меняет саму методику шлиховых поисков: пробы отбираются по иному принципу; проводится изучение элементного состава шлиха и отдельных минералов; составляются типовые каталоги концентраций элементов-примесей; строятся шлихово-геохимические карты.

Возможности, заложенные в шлиховом методе, необходимо использовать шире. Так, высокая чувствительность шлихового опробования делает его незаменимым при мелкомасштабных поисках — этим методом выявляются практически все имеющиеся аномалии, даже слабые. На этапе разбраковки как шлиховых, так и литохимических аномалий всестороннее изучение минералов шлиха дает возможность получить максимальную и не искаженную поверхностными процессами информацию о коренном источнике. Шлиховой метод позволяет достаточно уверенно выявлять безрудные выходы рудных тел и отличать их от обычных пустых жил того же состава; выделять среди полей гидротермального изменения участки, где могут быть обнаружены промышенные месторождения. Шлихование дает возможность выявлять такой весьма надежный, а в неко-

торых случаях единственный показатель наличия на глубине слепых месторождений, как ореол «прониравания» пород, пропускаемый всеми остальными геохимическими методами поисков.

Привлекая геохимические методы исследования, используя минералы обычных нетрогенных и широко распространенных элементов, шлихование позволяет искать месторождения большего числа элементов, чем литохимия. Это делает шлихование более информативным, отвечающим современным требованиям геологической науки.

---

Азарова Л. И. Применение эмиссионного электроразрядного микроанализатора Н. В. Королева для анализа минералов.— Сб. «Вопросы геологии, геохимии и металлогении северо-западного сектора Тихоокеанского пояса». Владивосток, 1970.

Апельцин Ф. Р., Гинзбург А. И., Архангельская В. В., Заболотная Н. П., Караваева З. Г., Макеев Б. В., Ставров О. Д. Потенциальная рудоносность магматических образований на примерах эндогенных месторождений (олова, лития, цезия, тантала, ниобия), генетически связанных с гранитоидами.— Сб. «Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов». Иркутск, 1970.

Батурина В. И. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1947.

Бергер Г. С., Ефимов Н. А. Методы выделения мономинеральных фракций. М.: Госгеолтехиздат, 1963.

Билибин Ю. А. Основы геологии россыней. М.: Изд-во АН СССР, 1956.

Борищев Ю. А., Тольский В. И., Чанышева М. М. О методике плахового и металлометрического опробования района реки Табылгаты.— Тр. Фрунз. политехн. ин-та, вып. 5, Геология, горное дело, 1961.

Вадило П. С. Габитус кристаллов алмаза как отражение условий их образования.— Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, ч. 90, вып. 2. 1961.

Вахрушев В. А. Минералогия, геохимия и генетические группы kontaktово-метасоматических железорудных месторождений Алтая-Саянской области. М.: «Наука», 1965.

Виноградов В. И. Распределение изотопов серы в минералах рудных месторождений.— Сб. «Изотоны серы и вопросы рудообразования». М.: «Наука» 1967.

Виноградов А. П., Кропотова О. И., Эпштейн Е. М., Гриппеко В. А. Изотопный состав углерода кальцитов различных стадий карбонатитового процесса в связи с вопросами генезиса карбонатов.— Геохимия, № 5, 1967.

Виноградов А. П., Кропотова О. И. Об изотопном фракционировании углерода в геологических процессах.— Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1967.

Гаврусевич Б. А. Основы общей геохимии. М.: «Недра», 1968.  
Гамильтон Е. И. Прикладная геохронология. Л.: «Недра», 1968.

Гинзбург И. И., Россман Г. И., Муканов К. М., Борисович И. В., Гольцман Ю. В., Иванов И. Б., Чернышев И. В. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М.: «Недра», 1966.

Гневушеев М. А., Николаева Э. С. Твердые включения в алмазах месторождений Якутии.— Сб. «Алмазы Якутии». М.: «Наука», 1961.

Говоров И. Н., Недашковский П. Г., Левашев Г. Б., Полевских Р. И., Стрижкова А. А., Мушенко Л. В., Иванов В. С., Никифорова И. К. Признаки и факторы геохимической специализации гранитоидов Дальнего Востока.— Сб. «Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов». Иркутск, 1970.

Голубков Г. В. Диагностика пород по их коре выветривания методом шлихового анализа.— Разведка и охрана недр, № 1, 1967.

Горбунов Е. З. Закономерности распределения золота в аллювиальных россыпях и их практическое значение при поисках.— Сб. «Геология россыпей». М., «Наука», 1965.

Гриненко Л. Н., Гриценко В. А. Закономерности распределения изотопов и их использование в геохимических исследованиях.— Геохимия, № 5, 1967.

Громов А. В. Выявление генераций рудных минералов путем декрепитационного анализа.— Сб. «Минералогическая термометрия и барометрия», т. I. М., «Наука», 1968.

Гудашвили Р. Н. Некоторые вопросы методики поисков скрытых под глубокими наносами полиметаллических рудных тел в Восточном Забайкалье.— Разведка и охрана недр, № 5, 1958.

Гуртов Л. П. Золотоносные минеральные ассоциации Кировского месторождения (Верхнее Приамурье).— Сб. «Золоторудные формации Дальнего Востока». М., «Наука», 1969.

Дергапов Г. Ф., Илупин И. П., Швецов Б. Н. К методике поисков алмазов в Приленском районе.— Сб. «Материалы по методике и технике геологоразведочных работ», вып. 1. Якутск, 1968.

Дистлер В. В., Батырев В. А. Изучение редких элементов в вольфрамите рентгеновским микронализатором.— Геология рудных месторождений, № 1, 1967.

Доломанова Е. И., Боярская Р. В., Ракчеев А. Д., Яковлевская Т. А. Кассiterит и его типоморфные особенности.— Сб. «Типоморфизм минералов». М., «Наука», 1969.

Дубинина В. Н., Корицлович И. А., Свирский М. А., Собачкин Н. Г. Зона окисления свинцово-цинковых и мышьяково-цинково-цинковых месторождений Восточного Забайкалья.— Сб. «Вопросы геологии и генезиса некоторых свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья». М., 1963.

Духовский А. А., Илаев М. Г. Потоки рассеяния некоторых оловорудных месторождений Сихотэ-Алиня и их использование в поисковых целях.— Информ. сб. ВСЕГЕИ, № 34. Л., 1960.

Дена Дж., Дена Э. С., Пэлач И., Берман Г., Фрондель С. Система минералогии, т. II, полутом I. ИЛ, 1953.

Елисеева О. П., Муровицкая Т. Н., Семенова Т. Г. Некоторые закономерности распределения радиоактивных элементов, иттрия и гафния в цирконах разновозрастных гранитоидов Северного Казахстана.— Геохимия, № 6, 1968.

Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние). Харьков, изд. Харьков. гос. ун-та, 1950.

Ермаков Н. П. Использование включений минералообразующих растворов и расплавов в теории рудообразования, практике поисков и при выращивании минералов.— Сб. «Исследование минералообразующих растворов». М., «Недра», 1966.

Ермаков Н. П. Проблема развития физико-химических методов поисков скрытых и закрытых пневматолитово-гидротермальных место-

рождений.— Сб. «Минералогическая термометрия и барометрия», т. I. М., «Наука», 1968.

Жилинский Г. Б. Особенности кассiterита в шлихах и возможности шлихового метода поисков.— Вестн. АН КазССР, № 8, 1954.

Жуков В. В., Горина И. Ф., Пинчук Л. Я. Кайнозойские алмазоносные россыпи анабаро-оленекского междуречья (условия формирования и закономерности размещения).— Тр. Ин-та геологии Арктики, т. 156. Л., «Недра», 1968.

Захарова Е. М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. М., Изд-во МГУ, 1960.

Знаменский Е. Б., Пополитов Э. И., Легейда В. А. К геохимии олова в гранитоидах.— Сб. «Геохимия редких элементов в изверженных горных породах». М., «Наука», 1964.

Иванов Н. В. Новое направление в опробовании рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.

Иванов В. В. Геохимия рассеянных элементов Ga, Ge, Gd, In, Tl в гидротермальных месторождениях. М., «Недра», 1966.

Ильин К. Б. Опыты сравнительного применения шлиховой и спектрометаллометрической съемок при поисках месторождений олова в закрытых районах.— И информ. сб. ВСЕГЕИ, вып. 3, 1956.

Ильинский Г. А., Плотникова М. И., Разумихин Н. В., Рюмин А. К., Сарсадских Н. Н., Сваричевская З. А. Основы поисков россыпей. Изд-во ЛГУ, 1961.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.

Ицикоси М. И. Шлиховое опробование при геологической съемке и обзорных поисках. М., Госгеолтехиздат, 1953.

Каблуков А. Д., Сочеванов И. Н., Барапов Э. И., Боголюбов А. Н., Вертелов Г. И., Григорян С. В., Майоров В. А., Разумовский И. К., Тулин В. Н., Янишевский Е. М. Использование ореолов рассеяния и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений (методическое руководство). М., «Недра», 1964.

Капищев А. Д. Использование данных шлихового опробования для дополнения металлометрических характеристик районов Центрального и Восточного Забайкалья.— Сб. «Вопросы региональной геологии металлогенов Забайкалья», вып. 4. Чита, 1968.

Кирченко Л. А. Шлиховое опробование при поисках рудных месторождений в области развития покровных ледниковых отложений (восточная часть Балтийского кристаллического щита).— Сб. «Материалы по геологии и полезным ископаемым Сев.-Зап. РСФСР». «Недра», 1967.

Козлов В. Д. К оценке степени концентрации редких элементов в дифференциатах гранитоидных интрузий по минералам-концентраторам.— Геохимия, № 3, 1969.

Корнетова В. А. Об особенностях кассiterита из пегматитовой жилы Восточного Забайкалья.— Тр. Минералог. музея АН СССР, вып. 12, 1961.

Костерин А. В., Алексина К. Н., Кизюра В. Е. Монацит необычного генезиса.— Сообщ. ДВФ АН СССР, вып. 15. Владивосток, 1962.

Костерин А. В. Применение геохимических методов при шлиховых поисках.— Разведка и охрана недр, № 3, 1965.

Костерин А. В. Редкие земли, пары цирконий—гафний и ниобий—тантал как геохимические индикаторы магматического и гидротер-

мального процессов.— Сб. «Геохимия и минералогия магматогенных образований». Владивосток, 1966а.

Костерин А. В. Некоторые особенности геохимии циркония и тафния.— Геология и геофизика, № 9, 1966б.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисковых рудных месторождений. М., «Недра», 1965.

Красников В. И., Кириллов Г. И., Сейфуллин Р. С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья как источники золотопосыпей.— Сб. «Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья», вып. 1 (3). Чита, 1966.

Кулиев А. О форме нахождения галлия в лимонитах.— Изв. АН Туркм. ССР, сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, № 6, 1965.

Куликова М. Ф. Поведение рассеянных элементов в зоне окисления полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.— Геохимия, № 2, 1962.

Куликова М. Ф. К геохимии галлия и индия в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений Средней Азии.— Геохимия, № 10, 1966.

Курбанаев М. С. О возможности использования материалов литохимических съемок прежних лет для поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния элементов-спутников.— Сб. «Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния». Алма-Ата, 1968.

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

Лазаренко Е. К. Основа генетической минералогии. Львов, изд. Львовск. ун-та, 1963.

Лазаренко Е. К., Бартошинский Э. В. Роль кристалломорфологии в практике геологических исследований и при оценке качества минерального сырья.— Минералог. сб., № 20, вып. 4. Львов, 1966.

Ли Л. В. Антропогенные россыпи золота бассейна правобережья верхней Колымы. Закономерности их размещения и условия образования.— Сб. «Геология россыпей». М., «Наука», 1965.

Лисицын А. Е. К характеристике поисковых критериев скарновых месторождений бора.— Сов. геология, № 9, 1969.

Лосев Н. А., Лященко Г. К. К вопросу о диагностике ложных ореолов (опыт приложения парагенетических ассоциаций элементов к металлометрической схеме).— Науч. тр. Ташкент. ун-та, вып. 249, 1964.

Луцев Б. С. Дифференциация осадков в современном аллювии. Пермь, 1967.

Ляхович В. В. Некоторые данные о составе акцессорного магнетита.— Тр. ИМГРЭ, вып. 3. 1959.

Ляхович В. В. Аксессорные минералы. М., «Наука», 1968.

Ляхович В. В., Балапова Т. Г. О среднем содержании W, Mo, Sn, Ta, Nb, Zn в сфенах и пльмените из гранитоидов.— Геохимия, № 3, 1969.

Ляхович В. В., Овчинников Л. Н. Некоторые черты геохимии гранитоидов и их рудоносность.— Сб. «Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов». Иркутск, 1970.

Малахов А. С., Штифанов В. Ф. Опыт количественной оценки вторичных ореолов рассеяния в Южном Казахстане.— Разведка и охрана недр, № 9, 1965.

Махинин В. А., Гаврилин В. И. Пути повышения эффективности поисков месторождений олова по литохимическим потокам рас-

сения.— Сб. «Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам рассеяния». Алма-Ата, 1969.

Мельников В. С., Вовк И. К., Янчук Э. А. Вицинальные образования на гранях кристаллов пирита.— Минералог. сб. Львов. ун-та, № 20, вып. 3, 1966.

Минералы. Справочник, т. II, вып. 3. Под ред. Чухрова Ф. В. М., «Наука», 1967.

Моисеенко В. Г. Метаморфизм золота месторождений Приморья. Хабаровск, 1965.

Мурзева Л. Н., Барабанов В. Ф., Клер М. М. Исследование микропримесей в пиритах из вольфрамитовых месторождений Восточного Забайкалья.— Геохимия, № 11, 1964.

Мурзев П. М. Стабильные изотоны серы и углерода как поисковые признаки месторождений самородной серы.— Сб. «Геология месторождений самородной серы». М., «Наука», 1969.

Недялковский Н. Г., Дербаремдикер М. М., Славкина С. П., Нарнов Г. А., Абисалов Э. Г. Распределение акцессорных элементов в гранитоидах Уланского массива.— Сб. «Геохимические циклы Дальнего Востока». Владивосток, 1969.

Николаева Л. А. Особенности внутренней структуры самородного золота из россыпей по р. Б. Догадычу (Ченский район) как критерий относительного времени поступления золота в россыпи.— Тр. ЦНИГРИ, вып. 25, кн. 2. М., 1958.

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

Озеров И. М. Шлиховая съемка и анализ шлихов. Л., Госгеотехиздат, 1959.

Павленко А. С., Вайнштейн Э. Е., Шевалеевский И. Д. О соотношении гафния и циркония в цирконах изверженных и метаморфических пород.— Геохимия, № 5, 1957.

Павлов Н. В., Чупринина И. И. О магногигнитах как индикаторах глубинности оруденения.— Докл. АН СССР, т. 104, № 2, 1955.

Перельман А. И. Геохимия энзигенетических процессов (зона гипергенеза). М., «Недра», 1965.

Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966.

Перельман А. И. Геохимическое прошлое ландшафтов СССР.— Природа, № 7, 1970.

Петрова З. И., Легейда В. А. К геохимии олова в магматических процессах.— Геохимия, № 4, 1965.

Погребецкий Е. О., Иванов И. В., Скропынцев А. В., Марков А. К., Руденко Н. И., Терновой В. И. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1968.

Поликарпочкин В. В. Геохимические поиски рудных месторождений по потокам рассеяния.— Сов. геология, № 4, 1962.

Поликарпочкин В. В., Кааратеева И. Я., Гречкина Е. А., Гапонцев Г. П. О соотношении жидкой и твердой фаз потоков рассеяния.— Геохимия, № 2, 1965.

Прокопчук Б. И., Костриков М. С., Королова М. М. Сохранность пирита в зависимости от условий транспортировки рыхлых отложений.— Изв. вузов, Геология и разведка, № 5, 1964.

Разумная Е. Г., Ершова К. С. Методы сепарации и их применение в минералогической практике.— Сб. «Современные методы минералогического исследования», ч. II. М., «Недра», 1969.

Ранкама К. Изотопы в геологии. ИЛ, 1956.

Розыбакиева Н. А. Особенности минералогии зоны окисления месторождения Коксу в Джунгарском Алатау.— Тр. Ин-та геол. наук АН КазССР, т. 15, 1966.

Росляков Н. А. О применении крупномасштабной баритометрической съемки для установления выходов метасоматических сульфидных руд.— Геология и геофизика, № 2, 1964.

Сазанов Ю. Б. Об эффективности донного и шлихового опробования при поисках ртути в условиях Приамурья.— Сб. «Геология, геоморфология, полезные ископаемые Приамурья», вып. 3 (74). Л., 1969.

Семенов Е. И. Минералогия редких земель. Изд. АН СССР, 1963.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. Моск. ун-та, 1957.

Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., «Недра», 1965.

Соловьев А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, 1959.

Сочинова Э. Г., Новиков Б. А. Основы кодирования результатов минералогических анализов шлихов.— Тр. ЦНИГРИ, вып. 95. М., 1970.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. I. М., 1962.

Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Тимофеев В. Д., Плужникова В. Ф. Исходный вес пробы для выделения шлиха.— Разведка и охрана недр, № 6, 1962.

Тишкевич А. И. О содержании урана в постмагматических неурановых минералах.— Докл. АН СССР, 185, № 6, 1969.

Труфанов В. Н. Минералогия и термодинамика хрустальных полостей гранитных пегматитов. Изд. Ростов. ун-та, 1969.

Тугаринов А. И., Вайиштейн Э. Е. Редкие земли в горных породах.— Сб. «Геохимические циклы», Тр. XXI сессии МГК. М., 1960.

Тугаринов А. И. Геологу — о методах определения абсолютного возраста горных пород. М., Госгеолтехиздат, 1961.

Тугаринов А. И., Ордынец Г. Е., Щербакова Р. Н., Крыськов Е. И. Об использовании вариаций изотопного состава свинца при изучении ураноносного региона.— Атомная энергия, 25, № 6, 1968.

Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.

Ферсман А. Е. Избранные труды, т. VI. Пегматиты. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Фишман М. В., Юшкевич Н. П., Голдин Б. А., Калинин Е. П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород Севера Урала и Тимана. Л., «Наука», 1968.

Футергейдер С. И. Рентгенографическое изучение твердых включений в уральских и якутских алмазах.— Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., вып. 40, 1960.

Хокс Х. Е., Узбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М., «Мир», 1964.

Читаева Н. А. Железные «илияны» колчеданных месторождений Южного Урала и критерии их отличия от иакоцелей гидроокислов железа инфильтрационного и осадочного происхождения.— Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1967.

Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М., «Недра», 1965.

Шафраинский И. И. Кристаллы минералов. Кристаллические, скелетные и зернистые формы. М., Госгеолтехиздат, 1961.

Шафраинский И. И. Лекции о кристалломорфологии. М., 1968.

Шило И. А. Роль субполярного климата в образовании и размещении россыпей.— Сб. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. IV. Россыпи. Госгеолтехиздат, 1960.

Шило И. А. О результатах изотопных и литохимических исследований в Караганда.— Сб. «Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния». Алма-Ата, 1968.

Щербаков Ю. Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. М., «Наука», 1967.

Щербина В. Е. Поведение некоторых редких и рассеянных элементов в зоне гипергенеза.— Сов. геология, № 6, 1962.

Юшкин И. И. Минералогия и парагенезис самородной серы в эндогенных месторождениях. Л., «Наука», 1968.

Thererton M. R., Edmunds W. M. An electron microprobe study of some zoned garnets from metamorphic rocks.— Earth and Planet Sci. letters, 1, № 4, 1966.

Lee H. A. Glacial fans in till.— Precambrian, 37, № 5, 1964.

Overstreet W. C. The Geologic Occurrences of Monazite — Geol. survey prof., paper 530. Washington, 1967.

Zeschke G. Prospecting for ore deposits by panning heavy minerals from river sands.— Econ. Geol., 56, № 7, 1961.

## О ГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Г л а в а I. Шлихо-минералогический метод поисков . . . . .</b>	<b>5</b>
Форма и строение ореолов и потоков механического рассеяния.	
Шлиховой рудный «фон» . . . . .	5
Выбор места взятия шлиха . . . . .	9
Отмывка шлиха и его обработка . . . . .	13
Общее описание шлиха . . . . .	18
Изучение тиноморфных особенностей минералов. . . . .	22
Минеральные ассоциации . . . . .	29
Генетические ассоциации . . . . .	30
Минералы-спутники . . . . .	34
Сростки . . . . .	35
Шлихо-минералогические карты . . . . .	37
Количественная оценка шлиховых аномалий . . . . .	40
<b>Г л а в а II. Шлихо-геохимический метод поисков . . . . .</b>	<b>44</b>
Закономерности изменения состава минералов . . . . .	47
Элементы-примеси во вторичных минералах зоны окисления	
Минералы-концентраторы . . . . .	53
Изотопный состав минералов. Измерение абсолютного воз- раста . . . . .	56
Включения в минералах . . . . .	60
О соответствии состава минералов коренных источников и шлиховых ореолов . . . . .	63
Методика шлихо-геохимических поисков . . . . .	66
Отбор шлиховых проб для геохимических исследова- ний . . . . .	70
Определение фракций шлиха, подлежащих геохимиче- скому изучению . . . . .	72
Определение минералов шлиха, подлежащих геохими- ческому изучению . . . . .	73
Выделение мономинеральных фракций . . . . .	76
Определение элементного состава шлиха и отдельных минералов . . . . .	80
Построение шлихо-геохимических карт . . . . .	82
Составление типовых каталогов . . . . .	88
Некоторые особенности шлихо-геохимического метода . . . . .	89
<b>Г л а в а III. Возможности шлихового метода поисков . . . . .</b>	<b>93</b>
Взаимоотношение шлихового метода с литохимией . . . . .	93
Использование шлихового опробования для выявления слепых рудных тел . . . . .	100
Возможности шлихового метода в различных ландшафтных зоонах . . . . .	105
Роль шлихового метода при поисках рудных месторожде- ний разного типа . . . . .	111
<b>З а к л ю ч е н и е . . . . .</b>	<b>115</b>
<b>Л и т е р а т у р а . . . . .</b>	<b>117</b>

## ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
5	6 сверху	шлифовой	шлиховой
22	1 сверху	еще влияние	щее влияние
79	19 сверху	арсениды их аналоги, карбонаты, фосфаты, ар- сенаты и ванадаты	арсениды и их аналоги, карбонаты, фосфаты, ар- сенаты и ванадаты
79	20 сверху	сенаты и ванадаты почти все силикаты, в том	почти все силикаты,

А. В. Костерин. Шлихо-минералогический и шлихо-геохимический  
методы поисков рудных месторождений.

75 KOM.

