Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова
т. XLIII, вып. 2, 1962 г.

ОТБОР ПРОБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ НАЗНАЧЕНИЯ И ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Н. В. Иванов

Комплексное использование месторождений вызывает необходимость систематизации полезных компонентов с учетом их экономического значения, концентрации и распределения в рудах и в связи с этим систематизации видов отбираемых проб по их назначению.

Классификация компонентов с целью систематизации отбора проб

Целесообразно выделить четыре группы полезных (и вредных) компонентов: главные (ведущие), второстепенные, элементы-примеси и элементы-спутники [1].

1. **Главные компоненты** определяют промышленное значение месторождения, промышленные сорта руд и контуры рудных залежей, которые устанавливаются по минимальному бортовому содержанию главных компонентов. Главные компоненты могут быть представлены одним или несколькими полезными компонентами. К главным следует относить и вредные компоненты в тех случаях, когда их наличие и концентрация вызывают принципиальные изменения в схеме технологического процесса — в рудоподготовке или металлургическом переделе. Например, для сплошных магнетитовых руд скарнового типа главными компонентами могут быть только железо, железо и сера, или железо, сера и фосфор.

2. **Второстепенные компоненты** оказывают существенное влияние на промышленную ценность месторождения. В отличие от главных компонентов они обычно не определяют контура рудных залежей, так как их максимальная концентрация находится в пределах кондиционных руд. Однако при значительном скоплении второстепенных компонентов минимальное бортовое содержание главных полезных компонентов может быть уменьшено. Промышленные сорта руд в отдельных случаях должны выделяться с учетом наличия и концентрации второстепенных компонентов. Характерными второстепенными компонентами на полиметаллических месторождениях типа Алтайских являются золото, серебро и медь, а на медноколчеданных — золото, серебро, сера, иногда

[1] На необходимость классификации компонентов в свое время указывали Б. И. Галкин [5] и М. А. Шибаков [15].

цинк. Иногда второстепенные компоненты являются вредными примесями.

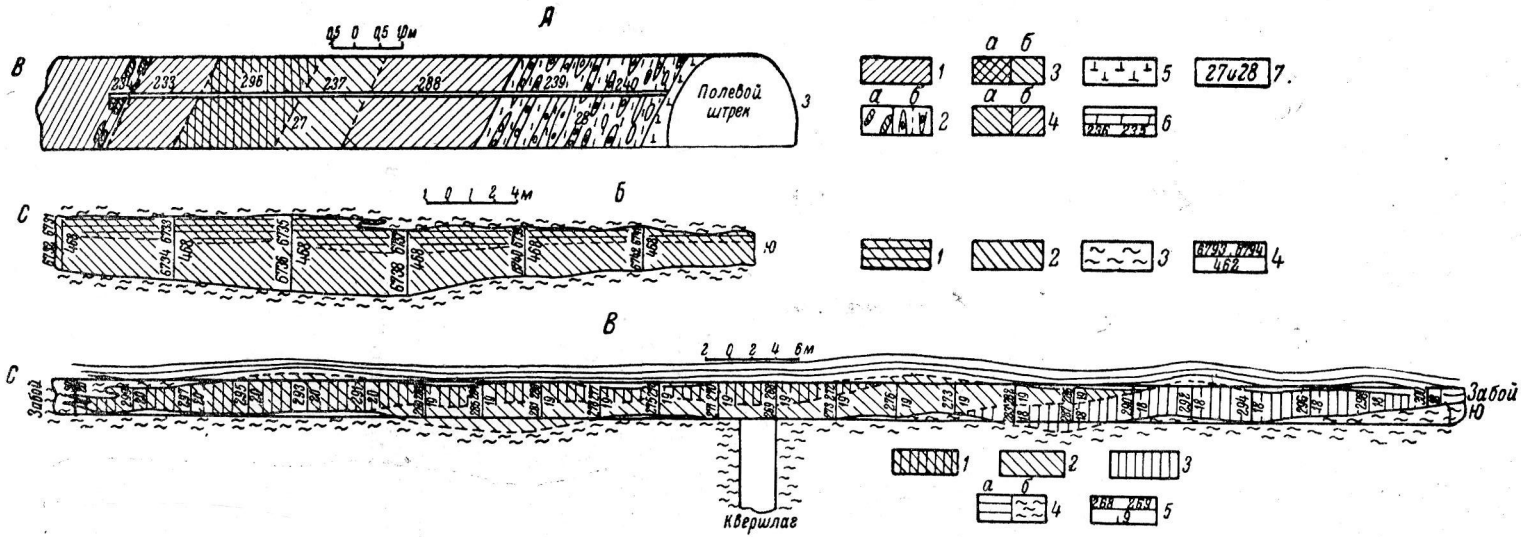
3. **Элементы-примеси,** как правило, представлены самостоятельными минералами. Содержание их в рудах обычно очень низкое. Однако при комплексном использовании эти элементы могут представлять существенную ценность. Они извлекаются из руд только попутно и поэтому не влияют на контур рудных залежей, хотя вне этого контура их содержание бывает иногда выше, чем внутри его. Если элементы-примеси обособляются в пределах отдельных природных типов руд и имеют заметную суммарную ценность, они могут оказать влияние на определение промышленных сортов руд и схему их переработки. Например, сплошные магнетитовые руды скарнового типа с существенным содержанием серы могут иметь две схемы рудоподготовки в зависимости от концентрации элементов — примесей: при отсутствии или чрезвычайно низком содержании последних рудоподготовка в основном сводится к обжигу; при заметном количестве элементов-примесей — кобальтсодержащего пирита, меди, цинка, иногда свинца и других — рудоподготовка заключается в глубоком обогащении (тонком измельчении, мокрой магнитной сепарации и флотации хвостов с целью получения соответствующих сульфидных концентратов). Минералы, содержащие элементы-примеси, обычно в процессе обогащения выделяются в концентраты, имеющие самостоятельное значение при металлургическом переделе. Наиболее ответственными задачами исследования элементов-примесей является определение минералов, которыми они представлены, получение соответствующих концентратов в процессе обогащения, определение извлечения указанных элементов и выявление экономической эффективности получения соответствующих концентратов. Все эти вопросы должны решаться в процессе разведки месторождения.

4. **Элементы-спутники** — кадмий, индий, германий, галлий, рений, гафний, селен, теллур, таллий и другие — обычно не образуют самостоятельных минералов, а входят в виде изоморфных примесей в кристаллическую решетку других минералов. Их принято называть рассеянными элементами, однако с точки зрения опробования и оценки месторождений полезных компонентов правильнее название элементы-спутники, так как они не рассеиваются в пределах рудных тел, а концентрируются и могут представлять практический интерес. Содержание этих элементов обычно чрезвычайно низкое, они могут быть извлечены попутно. Суммарная ценность элементов-спутников, особенно на полиметаллических месторождениях, может быть существенной.

Элементы-спутники в отличие от элементов-примесей не оказывают влияния на выделение промышленных сортов руд, так как при обогащении содержащие их минералы не выделяются в виде самостоятельных концентратов. Элементы-спутники обычно концентрируются лишь в процессе металлургического передела в различных его продуктах. Наиболее ответственной задачей при изучении элементов-спутников является определение их достоверных содержаний в рудах, выявление их в связи с теми или иными минералами и степень концентрации в последних.

Систематизация проб, отбираемых на полиметаллических месторождениях при комплексном использовании руд

Как следует из приведенной классификации, объем руды на месторождениях обычно определяется контурами рудной залежи с учетом содержания главных полезных компонентов. Однако промышленная


А
В
Полевой штрек
3
Б
С
Ю
В
С
Забой
Забой
Ю
Квершлаг
0,5 0 0,5 1м
0 1 2 4м
0 2 4 6м
а б
1
2
3
4
5
6
7
27и28

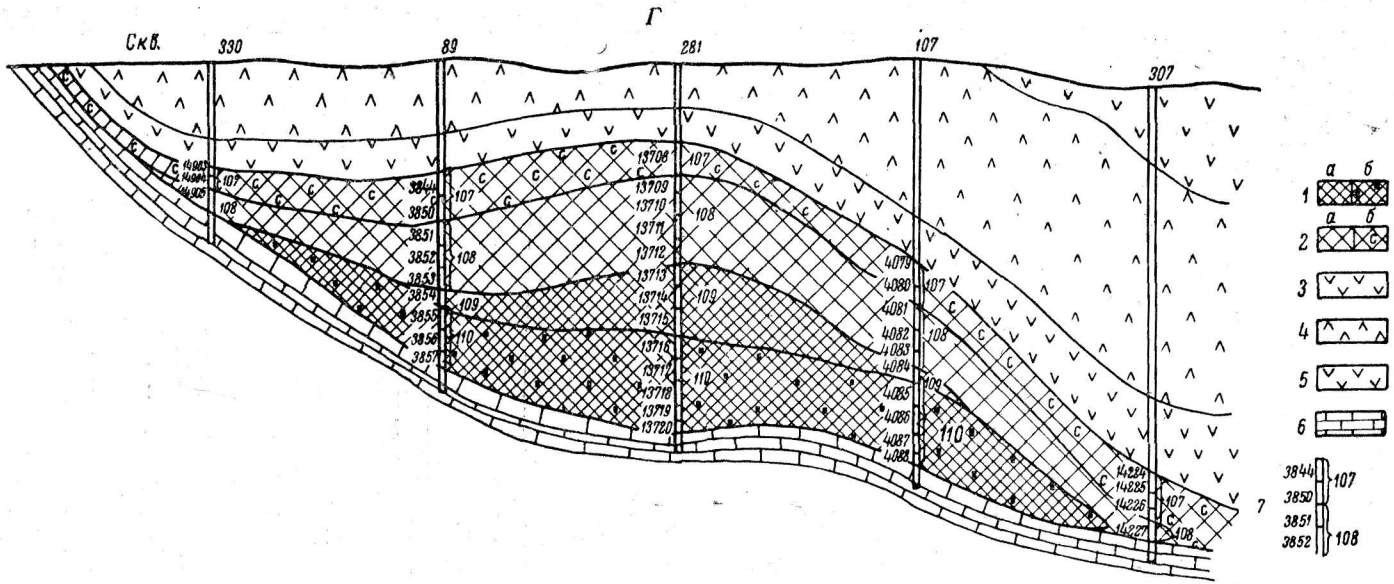


Рис. 1. Схема отбора проб:

А — рядовых (секционных) и объединенных из южной стенки орта (медноколчеданное рудное тело): *1* — кремнистые сланцы; *2* — медьсодержащие вкрапленные сульфидные руды богатые (*а*) и бедные (*б*); *3* — полосчатые и мелкозернистые сплошные сульфидные руды, сильно обогащенные гипогенным борнитом (*а*) или халькопиритом (*б*); *4* — полосчатые среднезернистые сульфидные руды, сильно обогащенные халькопиритом и сфалеритом (*а*) или с заметным количеством халькопирита (*б*); *5* — кварцевые альбитофиры; *6* — рядовые (секционные) пробы; *7* — объединенные пробы;

Б — рядовых и групповых из забоя блока — кровли (медноколчеданное рудное тело): *1* — полосчатые мелкозернистые сплошные сульфидные руды, обогащенные сфалеритом и халькопиритом; *2* — неясно-полосчатые медьсодержащие мелконеравномернозернистые руды; *3* — кварцево-серицитовые сланцы; *4* — в числителе номера рядовых, проб, в знаменателе — групповых;

В — рядовых и групповых при проходке штрека: *1* — полосчатые сульфидные руды, обогащенные сфалеритом и халькопиритом; *2* — неясно-полосчатые медьсодержащие сульфидные руды; *3* — массивные серноколчеданные руды; *4* — вмещающие породы: кремнистые сланцы (*а*) и кварцево-серицитовые сланцы (*б*); *5* — в числителе номера рядовых (секционных) проб, в знаменателе — групповых;

Г — рядовых и групповых по разведочной линии в пределах одного геологического разреза (магнетитовые руды скарнового типа): *1* — сплошные магнетитовые руды доменные (*а*) или пиритсодержащие (*б*); *2* — вкрапленные магнетитовые руды балансовые (*а*) и забалансовые (*б*); *3* — пироксено-плагиоклазовые андезитовые порфириты; *4* — плагиоклазовые андезитовые порфириты; *5* — полифировые пироксеновые андезитовые порфириты; *6* — мраморизованные известняки; *7* — рядовые пробы (слева) и групповые (справа)

ценность определяется суммарной ценностью всех полезных компонентов (главных, второстепенных, элементов-примесей и элементов-спутников). Установление амортизационного срока и производительности рудника, а также строгое планирование добычи руд и металлов производятся по главным, а иногда и второстепенным полезным компонентам. Вероятная добыча элементов-примесей и элементов-спутников планируется менее точно, ритмичность получения этих элементов может быть менее устойчивой. В период поисков и разведки рудных месторождений запасы главных и второстепенных полезных компонентов могут быть отнесены к разным категориям от C_2 до А, тогда как запасы элементов-примесей и особенно элементов-спутников обычно относятся к более низким категориям — от C_2 до C_1.

Различная роль компонентов разных групп в определении запасов руд, их промышленных сортов и промышленной ценности месторождений предопределяет различие в отборе проб, анализируемых на разные компоненты. Для решения задач, стоящих перед опробованием, можно выделить следующие виды проб: рядовые, объединенные, групповые, комбинированные и мономинеральные.

1. Рядовые пробы. При малой мощности рудной залежи одна рядовая проба характеризует всю мощность последней, при средней и большой мощности — только часть рудной залежи, т. е. тот или иной природный тип. В последнем случае рядовые пробы отбирают с учетом строения рудных залежей, т. е. секционно (рис. 1, *А*). Рядовые пробы обычно являются линейными, их анализируют только на главные полезные и вредные компоненты (исключая поиски). Назначение таких проб — выявление зон минерализации, рудопроявлений, границ рудных залежей с учетом минимальных бортовых содержаний, исследование природных типов и выделение промышленных сортов руд, выяснение характера распределения компонентов по мощности рудных залежей (рядовые пробы используются и для выяснения распределения компонентов по простиранию и падению рудных залежей), изучение процессов рудоотложения, экспериментальные исследования по усовершенствованию методов опробования. Рядовые пробы позволяют определить среднее содержание главных компонентов в природных типах и промышленных сортах руд, а также в любой части или в пределах всего рудного тела, кроме того, они используются для учета потерь и разубоживания. Рядовые пробы в отличие от других проб освещают минимальный объем рудных тел.

2. Объединенные пробы. Каждая объединенная проба представляет собой несколько рядовых и анализируется на главные компоненты. Материал этой пробы получается объединением взятых, а иногда и обработанных, но не анализированных рядовых проб. Нередко объединенные пробы могут быть взяты без предварительного отбора рядовых, т. е. объединение как бы происходит непосредственно при отборе объединенных проб из керна или горной выработки.

Основное назначение объединенных проб — сокращение числа проб и анализов и как следствие — снижение затрат, связанных с опробованием, без снижения достоверности опробования. Объединенная проба освещает в несколько раз больший объем рудного тела, чем рядовая. Объединение рядовых проб может производиться в любом из трех направлений — по мощности, простиранию и падению рудных залежей с учетом строения последних или в комбинации — по мощности и простиранию, по мощности и восстанию. В зависимости от этого целесообразно различать линейные и площадные объединенные пробы (рис. 1, *А*). По мощности рудной залежи длина борозды или керна

объединенной пробы может ограничиваться только полной мощностью рудного тела (при простом строении) или полной мощностью односортных руд (при сложном строении). Однако, если мощность рудных тел или промышленных сортов руд превышает 10 *м*, то целесообразно в пределах всей мощности рудных залежей или односортных руд объединение ограничить какой-то максимальной длиной (10—20 *м*) борозды (керна), учитывая при этом особенности распределения главных компонентов и возможную систему разработки месторождения. По восстанию и простиранию отбор объединенных проб производится только в тех случаях, когда рудное тело непрерывно вскрывается горными (подземными) выработками. В этом направлении объединение рядовых проб производится в пределах двух-пяти пересечений, а при очистной выемке руд — иногда в пределах всей длины блока. Каждая объединенная проба должна представлять отдельный природный тип или промышленный сорт руды. Исследованием объединенных проб решаются в основном те же задачи, что и исследованием рядовых проб, за исключением распределения компонентов по мощности рудных залежей, определения границ рудных залежей, иногда изучения природных типов руд и характера рудоотложения. При нечетких границах рудных залежей для опробования последних можно применять объединенные пробы в комбинации с рядовыми. При этом необходимо учитывать распределение соответствующих компонентов, строение и мощность рудных залежей. Отбор объединенных проб можно производить после того, как на месторождении установлены природные типы руд и по возможности их промышленные сорта, а также в первом приближении выяснено распределение компонентов в рудной залежи и ее строение. Иначе, опробование объединенными пробами может широко применяться в период детальной и эксплуатационной разведки, особенно в период разработки месторождения.

3. Групповые пробы. Групповая проба представляет значительное число рядовых или объединенных проб, или тех и других вместе. Групповая проба в отличие от объединенной не отбирается самостоятельно, а объединяется, как правило, из дубликатов рядовых или объединенных, или рядовых и объединенных проб. Она освещает в несколько раз больший объем, чем объединенная. Назначение групповых проб — детальное исследование вещественного состава промышленных сортов и отдельных рудных залежей. Пробы анализируются на все группы компонентов (главные и второстепенные, элементы-примеси и элементы-спутники). Групповые пробы позволяют выяснить наличие и содержание в исходных рудах всех полезных и вредных компонентов, определяющих их промышленную ценность.

Исследование групповых проб с целью выяснения промышленной ценности элементов-примесей и элементов-спутников в зависимости от характера руд может проводиться двумя вариантами: 1) если упомянутые элементы представлены только промышленно ценными рудными минералами, а их содержание в исходных рудах превышает предельную погрешность анализа, то такие руды следует называть простыми, а анализ их проводить по исходному материалу; 2) сложные руды, в которых рассматриваемые элементы, кроме промышленно ценных рудных минералов, рассеиваются и в других (в частности, в нерудных минералах) или если их содержание в рудах ниже предельной погрешности анализа, должны предварительно обогащаться. В этом случае следует анализировать соответствующие коллективные или даже селективные концентраты. Оба варианта анализа групповых проб обеспечат необходимую достоверность полученных данных, которые

могут быть использованы при подсчете запасов и оценке месторождения по элементам-примесям и элементам-спутникам [1].

Анализы групповых проб позволяют получить некоторое представление о технологических свойствах руд.

Следует различать линейные, площадные и объемные групповые пробы в зависимости от того, какую часть рудной залежи они освещают: в линейные пробы материал берется с отдельных пересечений, в площадные — из ряда пересечений, ориентированных по простиранию или падению, а в объемные — из ряда пересечений, ориентированных по простиранию и падению одновременно. При отборе следует стремиться расположить групповые пробы так, чтобы результаты анализа можно было использовать и при разработке месторождения, и для характеристики изменения вещественного состава в направлении простирания и падения рудного тела. В процессе разведки месторождения подземными горными выработками эта задача обычно решается сама собой, так как отдельная проба нередко берется в пределах одного блока. При разведке наклонно залегающих месторождений скважинами, расположенными по разведочным линиям, целесообразно групповые пробы отбирать из разных разрезов, характеризующих части одних и тех же горизонтов. Нецелесообразно их отбирать в пределах отдельных профилей, характеризующих рудную залежь на разных горизонтах.

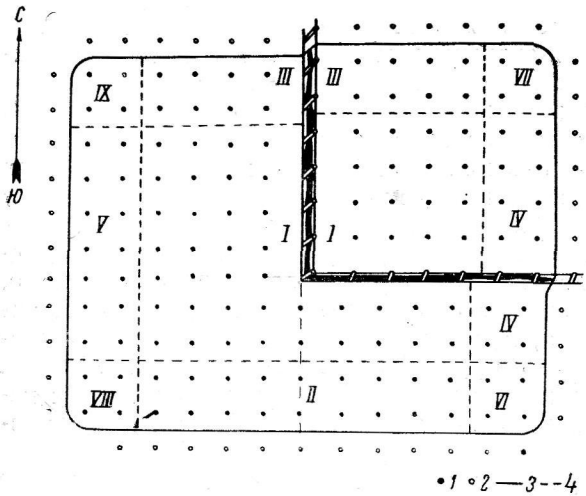


Рис. 2. Расположение комбинированных проб при детальной разработке железорудного месторождения пластового типа (план):

1 — скважины, пересекшие рудное тело; *2* — скважины безрудные; *3* — внешний контур рудного тела; *4* — контуры влияния комбинированных проб; *I* — *IX* — номера комбинированных проб

Материал в групповые пробы необходимо отбирать с таким расчетом, чтобы его объем (а не вес [2]) был прямо пропорционален длине керна (борозды) рядовых и объединенных проб. Групповые пробы должны полностью представлять генеральную совокупность рядовых и объединенных проб. При этом они безусловно будут представительны и пригодны для подсчета запасов второстепенных компонентов, а в ряде случаев элементов-примесей и элементов-спутников. При выборочном, особенно бессистемном, отборе групповых проб их представительность может быть сомнительной, а решение указанных выше задач становится невозможным. Каждая групповая проба должна отбираться с учетом строения рудной залежи, представляя собой тот или иной один промышленный сорт руды (рис. 1, *Б*, *В*, *Г*).

4. Комбинированные пробы. Комбинированная проба представляет значительное число групповых проб и характеризует рудную залежь в пределах отдельного, значительного по размерам участка, горизонта,

[1] Главные и второстепенные компоненты обычно определяются в исходных рудах

[2] Впервые замечено Н. И. Руденко.

фланга или месторождения в целом. Комбинированная проба может представлять как один, так и несколько промышленных сортов руд (рис. 2). Отбор комбинированных проб аналогичен отбору групповых; в отличие от последних первые всегда являются объемными. Назначение комбинированных проб — всестороннее (полное) исследование химического состава руд. Эти пробы подвергаются полным спектральным и химическим анализам.

5. Мономинеральные пробы. В мономинеральную пробу входит материал отдельного рудного или нерудного минерала. Отбор материала в пробу должен производиться с учетом природных типов и промышленных сортов руд, а в отдельных случаях — с учетом минеральных генераций (ассоциаций). Необходимость исследования мономинеральных проб диктуется следующим:

1. Элементы-спутники извлекаются, как правило, только в результате металлургического передела соответствующих концентратов. Исследование мономинеральных проб позволяет установить вероятное содержание элементов-спутников в концентратах.

2. Элементы-спутники и даже элементы-примеси склонны к рассеиванию в различных минералах, в том числе и нерудных. Анализ мономинеральных проб позволяет установить распределение элементов-примесей и их баланс в рудах.

3. Ввиду очень низких и чрезвычайно низких содержаний рассматриваемые элементы в исходных рудах по анализам групповых проб нередко устанавливаются с большой погрешностью. Анализы мономинеральных проб являются надежным контролем, а иногда приобретают значение опорных анализов, позволяющих установить соответствующие поправки. Анализ мономинеральных проб нередко бывает целесообразно заменить анализом соответствующих концентратов (полученных из групповых проб) для решения указанных выше задач. Отбор и анализ мономинеральных проб в ряде случаев могут служить основой для подсчета запасов соответствующих элементов.

Таким образом, виды проб определяются их назначением и детальностью изучения месторождения. Например, в период предварительных и детальных поисков, как правило, применяют только рядовые линейные пробы. При предварительной разведке основным видом проб являются также рядовые, однако в этот период иногда целесообразно производить отбор объединенных и групповых проб, обычно линейных, реже площадных, и как исключение — мономинеральных. В период детальной и эксплуатационной разведок и в период разработки месторождений следует широко применять комбинацию рядовых и объединенных проб, а нередко только объединенные площадные, групповые площадные и объемные, комбинированные объемные и мономинеральные пробы. В период эксплуатационной разведки и разработки месторождения следует почти полностью отказаться от отбора рядовых проб, заменив их объединенными площадными. Отбор рядовых проб обычно носит массовый характер. В направлении от рядовых проб к групповым и комбинированным[1] число проб резко сокращается, а объем участков рудных тел, характеризуемых отдельной пробой, в той же пропорции возрастает, так как каждый последующий вид проб должен представлять генеральную совокупность предыдущего вида. Только в этом случае будет обеспечена высокая представительность и достоверность исследования. Таким образом, от начальных стадий исследования

[1] Отбор мономинеральных проб часто преследует решение ряда специфических задач, и в этой схеме им не отводится определенного места.

месторождения к последующим имеет место переход от рядовых линейных проб к групповым площадным и объемным и к комбинированным объемным пробам. Такой переход не произволен, а диктуется изменением задач, стоящих перед исследованием, и объективными данными о вещественном составе руд, распределении компонентов, их ценности и строении рудных залежей.

Отсутствие четкой систематики компонентов и видов проб приводило геологов к разному и подчас механическому подходу к выбору компонентов для анализа рядовых проб. Например, по данным М. А. Шибакова, на одном из железорудных месторождений каждая рядовая проба, представляющая балансовые, забалансовые руды и даже пустые породы (с содержанием железа ~ 1—2%), анализировалась не только на содержание железа, но и на марганец, закись железа, кремнезем, фосфор, серу и потери при прокаливании [15]. При этом длина отдельной бороздовой пробы составляла нередко 0,2—0,3 *м*, тогда как минимальная мощность рудной залежи, подлежащей отработке, — 2 *м*.

Условия, определяющие систему отбора проб

Расположение проб в отдельном пересечении и в пределах всей рудной залежи не должно носить случайный характер. Схема отбора проб, длина борозды (или керна) отдельной пробы и как следствие — число проб в каждом пересечении и в рудной залежи в целом зависят от: 1) вещественного состава руд; 2) распределения полезных и вредных компонентов в рудных залежах в трех направлениях (особенно по мощности); 3) наличия взаимосвязи их содержания с какими-либо особенностями руд или рудных тел; 4) наличия макроскопически наблюдаемых границ рудных залежей; 5) мощности и строения рудных залежей; 6) условий их разработки (нередко предполагаемых).

Однозначный прием отбора рядовых (и других) проб имеет место при простом вещественном составе руд и строении рудных тел, наличии четко выраженных границ рудных тел и небольшой их мощности (~2—2,5 *м*). Так же обстоит дело с отбором проб при сложном вещественном составе руд и строении рудных тел, но при четких границах рудных тел малой мощности (~1,0 *м*) и устойчивом распределении компонентов в направлении простирания и падения рудных тел. В рассматриваемых условиях в каждом пересечении рудных тел в пределах всей их мощности берется по одной рядовой пробе; упрощается также схема отбора объединенных и групповых проб.

При сложном вещественном составе, сложном строении рудных тел (несколько природных типов и промышленных сортов руд), скачкообразном распределении компонентов по мощности рудных тел возникает необходимость отбора секционных проб. При относительно устойчивом по простиранию и падению содержании полезных компонентов в пределах типов или сортов руд, наличии отчетливо выраженных границ между типами и сортами руд и большой их мощности следует производить отбор объединенных линейных и площадных проб или комбинировать объединенные и рядовые пробы в зависимости от мощности природных типов или промышленных сортов руд и от стадии изучения месторождения.

На стадии эксплуатационной разведки и разработки одного из медноколчеданных месторождений Урала нами проведены экспериментальные исследования по выбору рациональной схемы отбора проб [7].

Экспериментальные работы проводились в горноподготовительных и очистных выработках. Пробы брались с учетом системы разработки

(рис. 3): в горноподготовительных, разведочных и очистных выработках при разработке рудных тел горизонтальными слоями — рядовые и объединенные линейные пробы (первый вариант), а при разведке наклонными слоями с закладкой выработанного пространства — объединенные площадные пробы (второй вариант).

Экспериментальные исследования показали, что комбинация рядовых и объединенных линейных проб позволяет сократить число проб и анализов в 2,6 раза, а число объединенных площадных проб — в 4,4 раза[1]; при этом результаты равноточны полученным при опробовании по схеме, принятой на руднике.

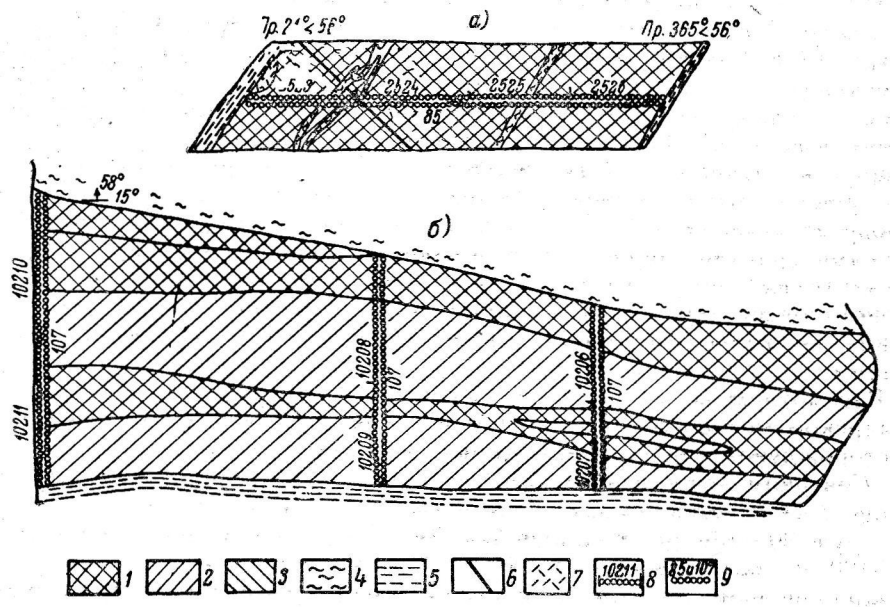


Рис. 3. Расположение рядовых и объединенных проб:

а — разрез забоя блока; *б* — план кровли блока; *1* — богатые сплошные колчеданные медьсодержащие руды; *2* — сплошные колчеданные медьсодержащие руды; *3* — богатые вкрапленные медьсодержащие руды; *4* — кварцево-хлоритовые сланцы; *5* — кварцево-серицитовые сланцы; *6* — зеркало скольжения; *7* — кварцевая линза; *8* — расположение и номер рядовых проб; *9* — расположение и номер объединенных проб

В период эксплуатационной разведки брались объемные групповые пробы — по одной пробе с каждого эксплуатационного блока — и анализировались на второстепенные компоненты и элементы-спутники. Комбинированные пробы отбирались с каждого эксплуатационного горизонта с учетом промышленных сортов руд.

Несмотря на очевидные достоинства отбора объединенных проб и систематизации компонентов для анализа, это еще не нашло должного применения на практике. В. В. Богацкий [2] указывает, что в период разведки Абаканского, Ирбинского и Тейского магнетитовых месторождений применялась борозда правильного сечения длиной 1—2 *м*. Для месторождений мощностью, превышающей 20 *м*, такая дробность опробования не нужна, она ведет к неоправданному расходу средств. М. А. Шибаков [15] сообщает, что одна из геологоразведочных партий при разведке железорудного месторождения запроектировала в 1949 г. 126 тыс. индексов анализов при стоимости почти в 1 млн. руб.

[1] К сожалению, второй вариант исследования проведен в основном на участках с малой мощностью рудных тел.

(в старых ценах). При утверждении проекта сумма была уменьшена на 300 тыс. руб.

Наиболее трудным условием для отбора проб является отсутствие границ у рудных залежей, что, как правило, характерно для бедных, крупных месторождений.

При определении границ рудных залежей возникают трудности и на месторождениях малой мощности. Бессистемный отбор проб в таких условиях всегда неоправданно громоздок. Например, на очень крупном (735 млн. *т* руды категорий $A + B + C_1$) Сарбайском железорудном месторождении (мощность Восточного рудного тела 25—180 *м*, Юго-Восточного — 140—160 *м*, Западного — 23—190 *м*) было отобрано 22 680 проб со средней длиной керна отдельной пробы 1,9 *м*; на аналогичном Соколовском (381,6 млн. *т* руды категории $B + C_1$) месторождении (мощность рудных тел на северном участке 10—70 *м*, а разделяющих прослоев скарна 5—50 *м*; средняя мощность рудной залежи южного участка 170—200 *м*) было взято 21 507 проб при средней длине керна отдельной пробы 1,6 *м* [14]. Очевидно, что при таких больших мощностях рудных залежей дробный отбор проб неоправдан, тем более что минимальная мощность отдельного рудного тела, включаемого в подсчет запасов, принята 2 *м*, а границы между сплошными и вкрапленными рудами легко устанавливаются макроскопически; сплошные магнетитовые руды легко разделяются на почти не содержащие пирит и пиритсодержащие. Грубо устанавливается вероятная граница даже между вкрапленными балансовыми и забалансовыми магнетитовыми рудами.

Рассмотрим возможную систематику отбора проб на магнетитовом Качарском месторождении (880 млн. *т* руды категории $A_2 + B + C_1$). Месторождение представлено двумя участками — Южным и Северным. На Северном установлены два очень крупных рудных тела[1] длиной свыше 2 *км* и шириной 1200 *м*. В первом рудном теле мощность сплошных руд 30—130 *м*, вкрапленных 50—120 *м*, во втором — сплошных 10—120 *м*, вкрапленных 20—90 *м*. Рудные тела сложены сплошными и вкрапленными рудами с преобладанием (в контуре балансовых) сплошных (57,4%). Обычно сплошные руды расположены в асимметричном чехле вкрапленных руд с наибольшей мощностью последних в висячем боку. Оба рудных тела состоят из отдельных слоев пластообразной и реже линзообразной формы. Сплошные магнетитовые руды имеют четкую границу с вмещающими их вкрапленными рудами, наблюдаемую макроскопически в керне скважин. Вкрапленные балансовые руды ($Fe \geqslant 30\%$)[2] постепенно переходят в забалансовые ($Fe \geqslant 20\%$), а последние — в слабооруденелые метасоматиты.

Руды месторождения многосортные; среди них есть мартеновские (мартитовые из зоны окисления), доменные (тоже мартитовые из зоны окисления, иногда наиболее чистые по содержанию фосфора и серы разности первичных руд), пиритсодержащие сплошные магнетитовые руды, вкрапленные балансовые и забалансовые магнетитовые руды. Границы между промышленными сортами руд, кроме границы между вкрапленными балансовыми и забалансовыми, устанавливаются макроскопически[3]. В Качарской ГРП в период предварительной и детальной

---

[1] Вскрыто и третье рудное тело, но оно мало изучено (счет рудных тел сверху вниз).

[2] Дается минимальное бортовое содержание.

[3] Руды зоны окисления (мартитовые) легко отличаются по вишнево-бурой черте на фарфоровой пластинке, пиритсодержащие руды — по вкрапленности пирита. По скоплению апатита иногда удается выделить фосфорсодержащие руды.

разведки было принято секционное опробование с длиной керна отдельной пробы 5 *м* для балансовых руд и 10 *м* для забалансовых руд и слаборуденелых скарнов. Несмотря на то, что бо́льшая часть рудных залежей имеет мощность односортных руд более 20 *м*, геологам Качарской ГРП не удалось выдержать принятую ими же схему опробования: средняя длина керна отдельной пробы по всему месторождению была равна 2 *м* [14].

Исходя из большой мощности односортных руд, особенностей строения рудных залежей и распределения в них железа, следовало принять максимальную длину керна отдельной пробы для сплошных магнетитовых руд равной высоте эксплуатационного уступа, т. е. около 10—20 *м*, а для вкрапленных магнетитовых балансовых и забалансовых руд и оруденелых скарнов — до 20 *м*. Схема расположения проб в пределах сплошных магнетитовых руд легко устанавливается на основании геологической документации керна. Вероятное положение границ между вкрапленными балансовыми и забалансовыми рудами, а также между последними и оруденелыми метасоматитами наиболее эффективно может быть определено интерполяцией, основанной на использовании закономерности изменения содержания железа (убывания) от сплошных магнетитовых руд к бедным вкрапленным и оруденелым метасоматитам. Для интерполяции в характерных участках по мощности рудной залежи необходимо брать и анализировать на железо рядовые пробы, положение которых можно назвать опорными точками (рис. 4). Расстояние между опорными точками зависит от мощности залежи

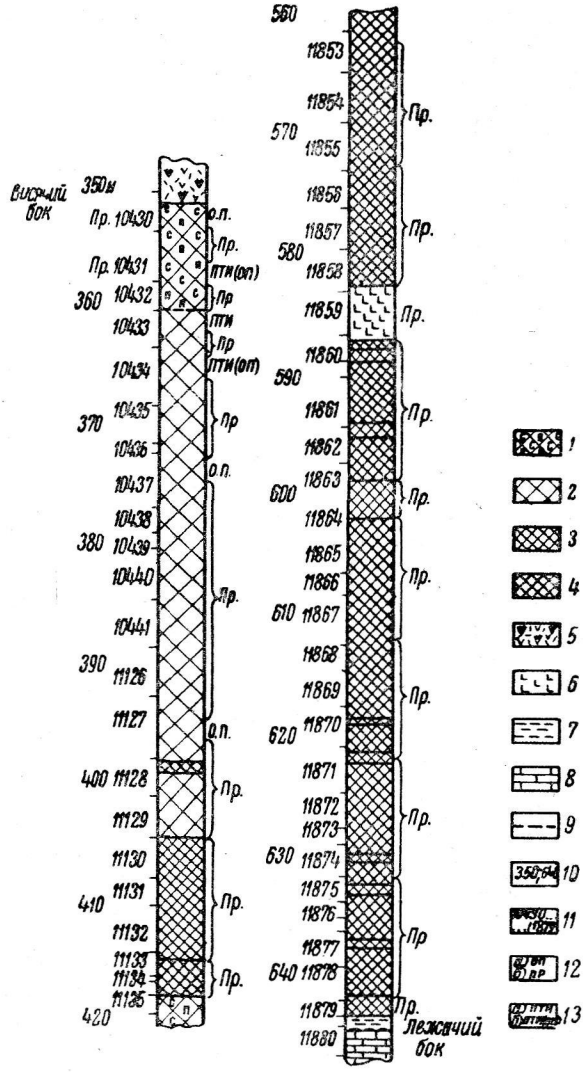


Рис. 4. Рекомендуемое расположение проб (скв. 334, разведочная линия 50):

1 — вкрапленные магнетитовые забалансовые руды; *2* — вкрапленные магнетитовые балансовые руды; *3* — сплошные магнетитовые руды; *4* — сплошные магнетитовые пиритсодержащие руды; *5* — туфы кристаллокластические (андезитовых порфиритов); *6* — диабазовые порфириты; *7* — туффиты; *8* — известняки; *9* — граница между балансовыми и забалансовыми рудами; *10* — интервалы глубин по скважине; *11* — номер проб Качарской ГРП; *12* — опорные (*а*) и рядовые (*б*) пробы; *13* — пробы в точках интерполяции (*а*) и в точках интерполяции, превращенные в опорные пробы (*б*)

и скорости изменения содержания в ней железа. Длина рядовых проб в опорных точках определяется наличием и величиной случайных отклонений содержания железа от среднего, отражающего общую закономерность. Для Качарского месторождения, имеющего бо́льшую мощность рудных залежей, максимальное расстояние между опорными точками целесообразно принять 20 *м*, а длину рядовой пробы в опорной точке — 3 *м*, хотя приводимые ниже результаты исследования получены при длине пробы 2 *м*. Положение опорных точек определяется на основании геологической документации керна скважин, но может быть успешно определено по данным магнитного каротажа скважин[1]. Необходимость в опорных точках возникает, когда в пределах вкрапленных магнетитовых руд ожидается граница балансовых или забалансовых руд. В точке интерполяции, где ожидается вероятное положение границы, в соответствии с предельной схемой должна быть взята рядовая проба с длиной керна 2 *м* и проанализирована на железо. Если расчет не подтвердится, тогда проба в точке интерполяции будет принята за опорную, а из новой точки интерполяции, найденной расчетом, будет взята следующая проба. Таким образом устанавливаются границы между балансовыми и забалансовыми рудами, а также между забалансовыми рудами и оруденелыми скарнами. Установление указанных границ позволяет наметить схему отбора проб при максимальной их длине до 20 *м* при колебаниях от 2 до 20 *м* (см. рис. 4). Отбор проб из керна во всех случаях следует производить при помощи фрезерного станка конструкции М. Н. Альбова и В. Л. Челышева [1], так как такой отбор высокопроизводителен. В процессе отбора материал измельчается и почти не требует дробления, не образуется пыли; при этом почти весь керн сохраняется без каких-либо нарушений. Все пробы должны анализироваться на железо. Сера, фосфор, элементы-примеси и элементы-спутники должны определяться в групповых пробах[2]. Прежде всего следует обратить внимание на то, что тонкие (мощностью $\leqslant 2{,}0$ *м*) слои различных руд, а иногда и оруденелых скарнов при отборе проб не выделяются. Такие слои включаются в пробу, представляющую какой-либо промышленный сорт руды, и, естественно, будут или обогащать, или разубоживать его. Однако влияние тонких прослоев очень невелико вследствие большой мощности промышленных сортов руд. Выделение при опробовании тонких слоев различных руд нецелесообразно, так как при массовой добыче магнетитовых руд (особенно открытым способом) они практически не могут быть выданы раздельно, в то время как выделение их при опробовании будет сопровождаться неоправданными затратами.

Геологи Качарской ГРП, как это видно из рис. 4, тоже очень часто включали тонкие прослои в пробы других промышленных сортов руд, но не проводили эту линию строго, в результате чего длина керна отдельной пробы нередко составляла менее 2 *м*, иногда достигала 0,4 *м*.

Наши предварительные исследования показывают (см. таблицу), что на Качарском магнетитовом месторождении можно широко применять интерполяцию при определении границ между балансовыми и забалансовыми вкрапленными магнетитовыми рудами, а также между забалансовыми рудами и оруденелыми скарнами. Оправдывается также применение секционного опробования сплошных магне-

[1] В зонах пострудного нарушения магнетитовые руды окисляются. В результате нарушается зависимость магнитной восприимчивости руд от содержания в них железа.

[2] Вследствие необходимости обогащения вкрапленных руд определение серы и фосфора в рядовых пробах нецелесообразно.

титовых руд с увеличением длины керна отдельной пробы до 10 *м*. Освоение предложенной схемы взятия проб на магнетитовых месторождениях типа Качарского позволит сократить число проб при опробовании: а) сплошных руд в 2,6 раза; б) вкрапленных — балансовых в 1,8 раза и забалансовых в 1,2 раза и в) оруденелых метасоматитов в 2 раза (см. таблицу)[1]. Наибольший эффект, естественно, ожидается

Сравнительные данные по отбору проб

Руды	№ скважины	По данным ГРП				По данным предрасчета				относительная погрешность
		суммарная мощность, *м*	число проб	среднее		суммарная мощность, *м*	число проб	среднее		
				длина пробы, *м*	содержание Fe, %			длина пробы, *м*	содержание Fe, %	
		Сплошные магнетитовые руды								
Мартеновские и доменные	526	137,75	53	2,6	57,56	140,15	17	8,2	57,20	+1,0
	334	67,20	19	3,5	55,37	66,2	9	7,4	55,05	—2,1
	137	109,50	37	3,0	59,70	106,8	17	6,3	59,76	—2,7
	338	164,6	60	2,7	55,11	164,9	22	7,5	54,65	—0,6
		479,05	169	2,8	56,85	478,05	64	7,4	56,70	—2,1
Пиритсодержащие	526	35,15	16	2,2	52,05	34,7	4	8,7	52,00	—1,6
	334	113,7	40	2,8	56,00	114,6	13	8,8	55,96	+0,6
	137	61,45	24	2,6	62,00	69,75	11	6,3	58,10	+6,2
	338	52,4	19	2,8	56,82	54,5	10	5,4	56,07	+2,6
		262,7	99	2,7	56,90	273,55	38	7,2	56,07	+2,2
		Вкрапленные магнетитовые руды								
Балансовые	526	37,7	17	2,2	37,40	36,55	7	5,2	37,60	—2,6
	334	86,5	29	3,0	36,72	87,2	19	4,6	37,20	+1,9
	137	119,4	42	2,8	35,15	128,5	20	6,4	34,12	+4,6
	338	84,9	20	4,2	32,78	95,5	14	6,8	32,42	+11,3
		328,5	108	3,0	35,18	347,75	60	5,8	34,77	+4,4
Забалансовые	526	55,9	16	3,5	24,42	58,3	11	5,3	24,06	+3,1
	334	24,5	8	3,1	26,42	24,5	10	2,4	26,42	0,0
	137	41,0	15	2,7	26,30	36,0	12	3,0	26,52	—11,6
	338	111,0	24	4,6	24,53	104,65	17	6,2	24,22	—6,6
		232,4	63	3,8	25,00	223,45	50	4,5	24,81	—4,4
		Оруденелые метасоматиты								
	526	41,2	8	5,2	18,03	38,4	7	5,5	17,95	—6,9
	137	4,4	1	4,4	17,76	4,4	2	2,2	17,76	0,0
	334	167,8	40	4,2	16,00	164,85	15	11,0	16,06	—1,4
		213,4	49	4,4	16,43	207,65	24	8,6	16,42	—2,5

Примечания. 1. Все скважины взяты по геологическому разрезу разведочной линии 50.
2. В скважине 334 оруденелые метасоматиты практически отсутствуют.

[1] По отношению к фактической средней длине керна отдельной пробы, равной 2 *м*, на всем месторождении число проб сократится: в сплошных рудах — в 3,6 раза; во вкрапленных балансовых — в 2,9 раза; в забалансовых — в 2,2 раза; в оруденелых метасоматитах — в 4,3 раза.

при опробовании сплошных магнетитовых руд, имеющих обычно большие мощности и легко макроскопически разделяющихся на малосернистые (почти не содержащие пирита) и сернистые (содержащие пирит). Опробованием малосернистые руды разбиты на два сорта — мартеновские и доменные. Такое деление, как уже отмечалось, предварительно может быть осуществлено и при геологической документации. Наименьший эффект ожидается при выделении и опробовании вкрапленных забалансовых магнетитовых руд, так как границы этих руд полностью определяются интерполяцией, что увеличивает число опорных проб и проб в точках интерполяции. При опробовании вкрапленных балансовых магнетитовых руд и оруденелых метасоматитов ожидается значительный эффект в сокращении числа проб. Это положение объясняется тем, что у них одна граница, как правило, легко определяется макроскопически: у первых — со стороны сплошных магнетитовых руд, а у вторых — со стороны слабооруденелых вмещающих пород.

Взятие проб по предложенной схеме, естественно, сопровождается некоторым изменением положения границ между различными сортами руд и оруденелыми метасоматитами по сравнению с принятыми в ГРП. В сплошных магнетитовых рудах подавляющее количество расхождений границ не превышает 2 *м*, причем почти в половине случаев границы полностью совпадают. Такие расхождения несущественны и обусловлены тем, что в Качарской ГРП, как уже отмечалось, иногда выделялись различные сорта руд мощностью от 0,5 *м*, а нами они выделялись при мощности более 2 *м*. Таким образом, при отборе проб по предложенной схеме сплошные пиритсодержащие магнетитовые руды мощностью менее 2 *м* попадают в «бессернистые» сплошные магнетитовые руды, и наоборот. В те и другие руды могут попадать аналогичные по мощности прослои вкрапленных магнетитовых руд (балансовых, очень редко забалансовых) и как исключение — тонкие прослои оруденелых скарнов, что и определяло изменение в положении границ.

Значительно бóльшие расхождения наблюдаются при определении границ между вкрапленными магнетитовыми балансовыми и забалансовыми рудами и между этими рудами и оруденелыми метасоматитами. Здесь, кроме указанной выше причины, оказывает большое влияние закономерный и обычно постепенный переход одной руды в другую и во вмещающие породы с соответствующим изменением содержания железа. Во время разведки по результатам опробования устанавливают искусственные технико-экономические границы. По предложенной схеме положение рассматриваемых границ определяется геологической документацией или каротажной кривой, или тем и другим вместе и интерполяцией, использующей закономерное изменение в рудах содержания железа, тогда как при обычном отборе проб (что имело место и в Качарской ГРП) оно определяется только по данным химического опробования. Количество запасов вкрапленных магнетитовых (балансовых) руд, по данным рекомендуемого опробования, возросло без существенного изменения содержания в них железа. Например, по скважине 338 линейные запасы увеличились на 11,3%, а содержание железа уменьшилось только на 0,36% абсолютной величины (или на 1% определяемой величины). Линейные запасы в сумме по сплошным магнетитовым рудам возросли на 0,23% при уменьшении содержания железа на 0,4% абсолютной величины. Таким образом, предложенная схема отбора проб обеспечивает снижение числа проб более чем в два раза при сохранении принятой точности результатов опробования руд. При этом точность определения границ между различными рудами

особенно для вкрапленных магнетитовых как балансовых, так и забалансовых руд) возрастает. В результате эффективность опробования существенно увеличивается.

Предложенную схему отбора проб на железорудных месторождениях типа Качарского следует применять после того, как намечены промышленные сорта руд, т. е. в период детальной эксплуатационной разведки и разработки месторождений.

На примере Качарского месторождения видно, что на отбор проб оказывает большое влияние распределение компонентов вообще и осо-

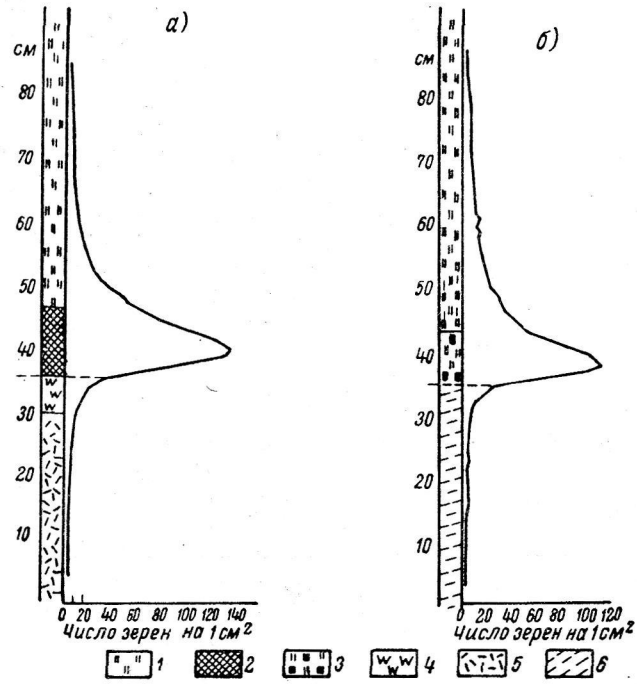


Рис. 5. Сводные эмпирические кривые распределения ценного минерала по мощности рудных залежей: *а* — по данным 103 сечений; *б* — по данным 64 сечений:

1 — покрывающие бедные и убогие руды; *2* и *3* — богатые руды рудных залежей (соответственно *а* и *б*); *4* — подстилающие бедные руды рудной залежи (*а*); *5* — подстилающие убогие руды рудной залежи (*а*); *6* — подстилающие бедные и убогие руды рудной залежи (*б*)

бенно по мощности рудных залежей. Этот же фактор по существу определяет и строение рудных залежей. Благоприятным условием для эффективного отбора проб и опробования в целом является закономерное распределение минералов (особенно рудных).

Закономерности распределения нами использованы для разработки трех методов опробования: по типам руд [9], типам разрезов [8] и эмпирическим кривым [11]. Наиболее наглядно роль распределения рудного минерала проявлена при опробовании по эмпирическим кривым. Основные положения этого метода следующие. Опробование по эмпирическим кривым основано на зависимости содержания в руде полезных компонентов от их закономерного распределения по мощности рудной залежи. На одном из редкометалльных месторождений (магматического генезиса) установлено плавное беспрерывное и закономерное распределение промышленно ценного минерала. Эта закономерность иллюстрируется сводной эмпирической кривой (рис. 5), которая

без каких-либо существенных отклонений наблюдается в любом пересечении рудной залежи, что показано на примере частных эмпирических кривых (рис. 6).

Установлено, что сводные эмпирические кривые позволяют определить содержание минерала в любом отрезке мощности рудной залежи выше и ниже максимума (который хорошо выделяется макроскопически) как функцию распределения. Наши исследования и математический анализ З. Ф. Булановой показали, что выше и ниже максимального скопления рудный минерал распределяется по кривой типа гиперболы. Расчету не поддается только богатая часть залежи. Установлено, что различие в содержании рудного минерала в разных пересечениях обусловливается изменением: а) расстояния между осью ординат и эмпирической кривой, т. е. изменением содержания минерала выше и ниже максимума; б) содержания минерала в максимуме; в) мощности части рудной залежи с максимальным скоплением рудного минерала. Таким образом, установленное закономерное распределение рудного минерала не только позволяет с большой точностью определить границы рудной залежи и ее мощность, но и резко сократить число проб при опробовании каждого пересечения.

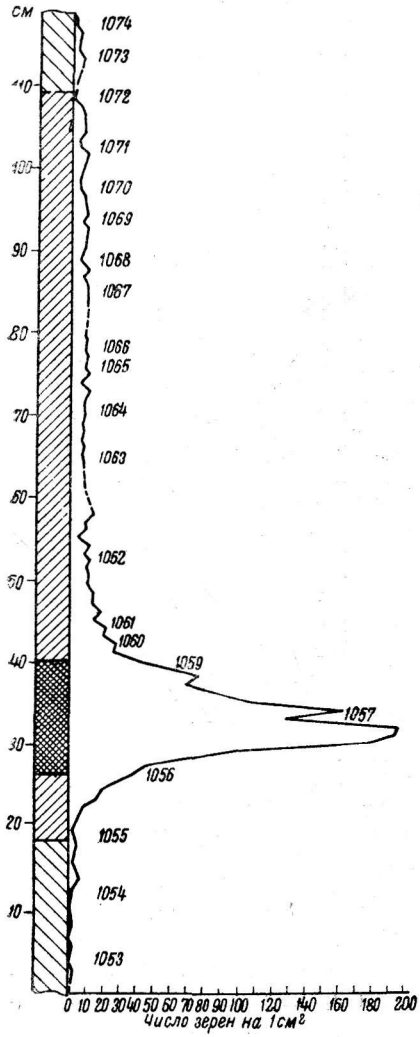


Рис. 6. Частная эмпирическая кривая (сечение 43)

Опробование по эмпирическим кривым сводится к следующему. Отбирают по одной пробы выше и ниже максимума (опорные точки *а* и *б* рис. 7). Содержание минерала в опорных точках наносят на график. Отбирают несколько проб в участке максимального скопления рудного минерала, и строится кривая его распределения. Затем накладывают сводную эмпирическую кривую на опорные точки и совмещают ее с кривой, построенной для богатой части. Часто такое наложение производят раздельно выше и ниже максимума. Определение границ залежи с учетом минимального бортового содержания, ее мощности и содержания рудного минерала или компонентов производится по эмпирической кривой (рис. 7). Среднее содержание рудного минерала (компонентов) в отдельном пересечении определяется как сумма отрезков вдоль оси X (расстояний от оси ординат до эмпирической кривой), деленной на число отрезков.

Как показали экспериментальные исследования, число проб при опробовании по эмпирическим кривым может сократиться (даже при

изучении рудных залежей малой мощности) минимум в четыре раза. Граница рудной залежи и ее мощность нередко могут быть установлены с точностью до 1 *см*. Этот метод характеризуется исключительно высокой точностью: действительная погрешность опробования равна 0,6% определяемой величины (при минимальном числе вариант 25). Например, среднее содержание промышленно ценного минерала (по 164 пересечениям) по эмпирическим кривым равно 3,63%, а по контрольному опробованию 3,61%. Коэффициент корреляции, характеризующий представительность опробования, равен +0,98%.

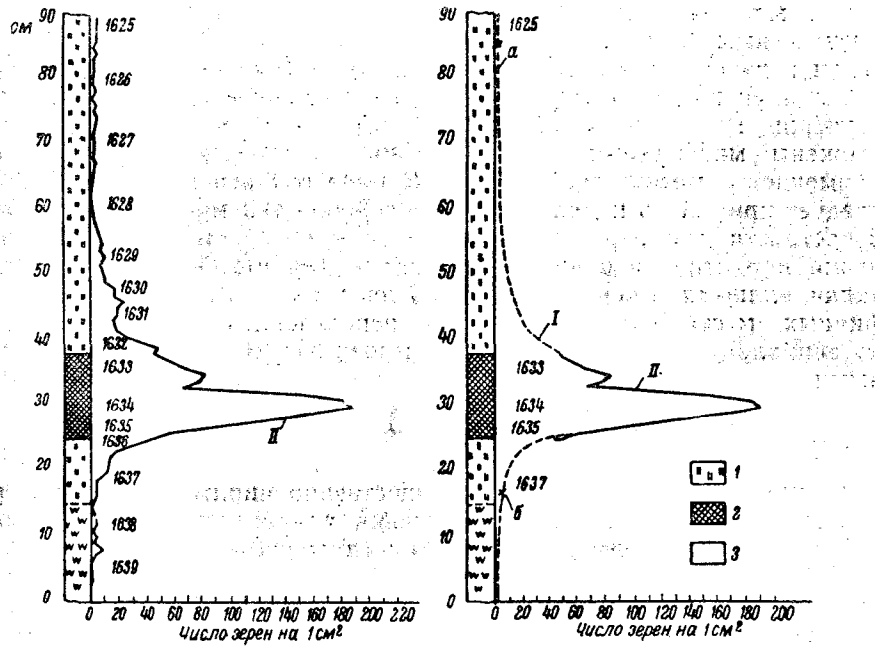


Рис. 7. Определение содержания ценного минерала по мощности рудной залежи при помощи эмпирических кривых: *I* — сводной (3,85 услови. един.); *II* — частной (3,74 услови. един.)

1 — покрывающие и подстилающие бедные руды и покрывающие убогие руды; *2* — богатая руда; *3* — подстилающие убогие руды; *1632* — номера проб. Относительная погрешность определения по частной кривой 2,9%

Потеря керна или его избирательное истирание на участках со строгим закономерным распределением интересующего минерала не окажет влияния на точность опробования. Кроме того, в пределах указанного распределения могут быть опробованы и не полностью вскрытые пересечения.

Из рассмотренного видно, насколько велика роль распределения минералов (компонентов) для решения рассматриваемых вопросов. Наиболее быстро, просто и нередко с большой степенью достоверности распределение суммы рудных минералов, а иногда одного минерала или металла (например, радиоактивного) устанавливается различными методами каротажа. Результаты каротажных исследований следует широко использовать как для определения схемы отбора проб и определения границ рудных залежей, так и (в ряде случаев) для определения содержания полезных (вредных) компонентов в руде.

Геофизики могут использовать большое число различных методов каротажа, которые позволяют (с разной степенью достоверности) фиксировать те или иные физические, а иногда и физико-химические

свойства геологических тел, в том числе и рудных залежей. Методы каротажа позволяют решать важные задачи: 1) выявлять положение рудной залежи; 2) устанавливать границы залежи (для сплошных руд) или вероятное их положение (вкрапленных руд); 3) выяснять строение рудных залежей; 4) отмечать особенности минерального состава руд; 5) определять концентрацию минералов или металлов в рудных залежах и выяснять особенности их распределения (вплоть до выявления закономерностей распределения).

Первые две задачи можно решить в соответствующих условиях всеми методами каротажа. Первые три задачи успешно решаются плотностным гамма-гамма-каротажем; в сульфидных рудных залежах (если в разрезе отсутствуют породы повышенной электропроводности) эти задачи надежно решаются методом скользящих контактов, а при изучении месторождений, руды которых включают или в основном сложены минералами с повышенной магнитной восприимчивостью, применяется магнитный каротаж. В ряде случаев магнитный каротаж следует применять и для изучения особенностей минерального состава, в частности для определения наличия и пространственного распределения пирротина в сульфидных рудах. Для решения первых четырех задач, включая выяснение особенностей минерального состава, на сульфидных месторождениях можно использовать метод электродных потенциалов, так как сульфидные минералы характеризуются различными «нормальными» электродными потенциалами. Так, на Березовском месторождении (Рудный Алтай), по данным В. А. Мейера [13], для пирита величина электродного потенциала (электролит — водопроводная вода) составляет 1270—1295 *мв*, а для галенита — не более 975 *мв*. В результате можно выделить существенно пиритовые руды и руды, обогащенные галенитом. При решении аналогичных задач, вероятно, найдет широкое применение и метод гальванических пар.

Для решения пяти перечисленных задач при изучении радиоактивных руд и минералов в современных условиях широко применяется гамма-каротаж, так как он в ряде случаев позволяет надежно определить содержание радиоактивных элементов в руде. Для аналогичных целей в ближайшее время, по-видимому, займут видное место селективный гамма-гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж, который по данным И. А. Бобер, Н. И. Драгомощенко и других [4], позволяет с практически допустимой погрешностью (от 4—5 до 20%) определить в рудах содержание окиси бора (B_2O_3). По данным И. П. Кошелева, А. Х. Мухаметгалиева и других [12], при опробовании месторождений бериллия, вероятно, найдет широкое применение гамма-нейтронный каротаж.

В заключение следует подчеркнуть, что выбор эффективной схемы отбора проб при разведке месторождений полезных ископаемых обусловлен вещественным составом руд, строением рудных залежей, их мощностью и особенно характером распределения компонентов в рудных залежах.

Успех отбора проб и опробования в целом зависит от правильного использования данных геологической документации и результатов геофизических исследований, в частности каротажа скважин. Очень часто каротажем скважин с большой достоверностью определяют ведущие факторы, которые предопределяют схему отбора проб и опробования месторождения в целом. Следует вести решительную борьбу с механическим подходом к отбору проб при постоянной длине керна (борозды) отдельной пробы и к шаблонным назначениям элементов для производства химических анализов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбов М. Н., Челышев В. Л. Бороздовое механическое опробование кернов при разведочном бурении. «Разведка и охрана недр», 1959, № 6.

2. Багацкий В. В. К вопросу о сокращении числа проб при разведке рудных месторождений. «Разведка недр», 1948, № 2.

3. Барышев Н. В. Об объединении проб. «Разведка недр», 1949, № 2.

4. Бобер И. А., Драгомощенко Н. И., Кошелев И. П., Старцев Ю. С., Шмонин Л. И. О возможности количественного определения бора в породах с помощью нейтрон-нейтронного каротажа. Тр. Каз. НИИМСа, 1959, вып. 1.

5. Галкин Б. И. Выбор компонентов при анализе проб. «Разведка недр», 1950, № 6.

6. Дахнов В. Н. Современное состояние и перспективы дальнейшего развития радиометрии скважин. «Разведка недр», 1956, № 6.

7. Иванов Н. В. О сокращении числа проб. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXX, вып. 2

8. Иванов Н. В. Новый метод опробования по типам разрезов. Зап. ЛГИ, 1958, т. XXXIII, вып. 2.

9. Иванов Н. В. Опробование по типам руд. Зап. ЛГИ, 1959, т. XXXVI, вып. 2.

10. Иванов Н. В. К вопросу об отборе проб. Сб. «Труды по опробованию». Госгеолтехиздат, 1961.

11. Иванов Н. В. Метод опробования по эмпирическим кривым. Сб. «Труды по опробованию». Госгеолтехиздат, 1961.

12. Кошелев И. П., Мухаметгалиев А. Х., Шишакин О. В., Шмонин Л. И. О применении фотонейтронного метода исследования скважин (ГНК) при поисково-разведочных работах на бериллий. Тр. Каз. НИИМСа, 1959, вып. 1.

13. Мейер В. А. Каротаж скважин при разведке полиметаллических месторождений. Изд. ЛГУ, 1960.

14. Топорков Д. Д., Воробейчик А. А., Шадрин Л. П. Об опробовании и химических анализах при разведочных работах на железные руды. Тр. Каз. НИИМСа, 1959, вып. 1.

15. Шибаков М. А. Об излишних химических анализах при разведке железорудных месторождений. «Разведка недр», 1950, № 6.