

В.В. Авдонин

**Технические
средства
и методика
разведки
и сторожки
полезных
ископаемых**



В.В. Авдонин

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
И МЕТОДИКА РАЗВЕДКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ

Издательство Московского университета
1994

ББК 26.325
А46
УДК 550.83/84

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук Н.И. Еремин,
кандидат геолого-минералогических наук Н.Н. Шатагин

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

Федеральная программа
книгоиздания России на 1994 г.

Авдониин В.В.

А46 Технические средства и методика разведки месторождений полезных ископаемых. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 208 с.

ISBN 5-211-03066-4.

Учебное пособие в соответствии с вузовской программой одноименного курса знакомит с принципиальными схемами, технологическим режимом и методами комплексного рационального использования технических средств при решении различных поисково-разведочных задач.

Для студентов-геологов.

А $\frac{1804060000(4309000000) - 014}{077(02) = 94}$ 86 – 94

ISBN 5-211-03066-4

© Издательство Московского
университета, 1994

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено в соответствии с программами двух курсов: "Техника геологоразведочных работ" и "Разведка месторождений полезных ископаемых", которые изучаются студентами инженерно-геологической и геохимической специальностей. Основной целью пособия является ознакомление студентов с современными техническими средствами и методиками, которые используются при проведении различных видов геологоразведочных работ и знание которых необходимо при изучении в последующем специальных (гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, геохимических, минералогических и др.) методов исследования геологических объектов.

Учитывая специфику университетского образования и задачи курсов для указанных специальностей, пособие в отличие от курсов, предназначенных для технических вузов, акцентирует внимание на особенностях использования технических средств разведки, характере и достоверности получаемой информации. В связи с этим принят несколько нетрадиционный подход к отбору и освещению материала: при существенном сокращении технических сведений основное внимание уделяется изложению принципиальных схем, технологических режимов, обсуждению возможностей комплексного, рационального использования технических средств для решения различных поисково-разведочных задач, оценки получаемых материалов. В главах, посвященных методике разведки, учтены вопросы, в первую очередь относящиеся к выпускникам геохимических и инженерно-геологических специальностей.

В основу книги положены лекции, прочитанные автором в последние годы для студентов геологического факультета МГУ. При составлении пособия использованы фундаментальные работы В.И. Смирнова, М.Н. Альбова, А.Б. Каждана, В.М. Крейтера, А.П. Прокофьева, Б.И. Воздвиженского, А.С. Волкова, Н.И. Куличихина, Л.И. Четверикова и другие.

Часть I

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Все средства разведки полезных ископаемых, обеспечивающие возможность получения информации о залегании тел полезных ископаемых, их размерах, форме, качестве минерального сырья, принято подразделять на три вида: 1) горные разведочные выработки; 2) буровые разведочные скважины; 3) геофизические исследования.

Горные выработки дают наиболее разнообразную и достоверную информацию благодаря тому, что в них геолог может непосредственно наблюдать тела полезных ископаемых, вмещающие породы, их взаимоотношения и проводить разнообразные замеры, исследования, отбор материала для многочисленных испытаний. Вместе с тем горные выработки являются наиболее трудоемкими и дорогостоящими средствами разведки. Буровые скважины значительно дешевле, проведение их требует меньше времени, они могут быть пройдены практически в любых условиях, но получаемая информация ограничена и менее достоверна. Геофизические работы широко применяются в разведочном деле благодаря возможности относительно простыми способами (с точки зрения организации работ, их стоимости, оперативности) получить разнообразные, хотя и весьма приближенные сведения о размерах, условиях залегания и качестве минерального сырья.

В соответствии с задачами данного курса ниже рассматриваются основные вопросы, связанные с проходкой горных выработок и бурением разведочных скважин при разведке месторождений твердых полезных ископаемых.

Глава 1. ПРОХОДКА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

ТИПЫ РАЗВЕДОЧНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Для вскрытия тел полезных ископаемых, получения доступа к различным их частям и проведения наблюдений, замеров и отбора каменного материала создаются разнообразные искусственные обнажения путем проходки горных выработок. Таким образом, горная выработка представляет собой полость на поверхности Земли или в ее недрах, созданную в результате проведения

горных работ. В зависимости от назначения и характера использования горных выработок они могут иметь различное оснащение, инженерные устройства и крепь. Горные выработки разделяются на *разведочные*, которые проходят для поисков и разведки месторождений, и *эксплуатационные*, предназначенные для отработки (добычи) полезных ископаемых. Кроме этого проходятся горные выработки *вспомогательные*, специального назначения, для проводки различных коммуникаций, транспортные, вентиляционные и др.

По углу наклона к поверхности различают горизонтальные, наклонные и вертикальные горные выработки.

Горные выработки, проведенные на поверхности Земли, называются *открытыми*, а в ее недрах — *подземными*. Подземные горные выработки могут иметь два выхода на поверхность — тоннели; один выход — стволы шахт, шурфов; не иметь выхода — квершлаг, штреки, орты. По форме поперечного сечения подземные горные выработки могут быть круглыми, прямоугольными, трапециевидными, сводчатыми и др.

Открытые выработки. К открытым выработкам относятся закопущки, канавы, расчистки, карьеры.

Закопущки (копуши) — горные выработки изометричной формы, небольшого поперечного сечения (0,5–0,6 м) и глубины (0,4–0,8 м). Они проходятся в основном в рыхлых отложениях для отбора металлометрических, шлиховых проб и др.

Канавы — узкие протяженные выработки трапециевидного или прямоугольного сечения. Глубина канав 1–3 м, иногда до 4–5 м, ширина по дну 0,4–1,0 м, ширина в верхней части 2–2,5 м. Канавы предназначены для вскрытия коренных пород, тел полезных ископаемых, разрывных нарушений и др. Нередко канавы углубляют в коренные породы до 0,5 м и более для отбора образцов и проб из менее измененных пород. Различают канавы магистральные и прослеживающие. Магистральные проходят вкрест простирания пород с целью вскрытия представительных разрезов, контактов горных пород, тел полезных ископаемых. Такие канавы имеют большую протяженность, достигая нескольких сотен метров. Иногда проходят так называемые пунктирные канавы, представляющие собой отдельные отрезки длиной 10–20 м, разделенные такими же интервалами целиков. Прослеживающие канавы, предназначенные для прослеживания тел полезных ископаемых, разрывных нарушений, контактов пород и др., также ориентированы вкрест простирания, но у них небольшая длина (5–20 м, в зависимости от мощности тела) и располагаются они на меньших расстояниях друг от друга (20–40 м). При малой мощности разведываемого объекта (менее ширины канавы) канавы иногда проходят по его простиранию для получения сплошного вскрытия и более детального изучения. Такие канавы

называются пройденными по голове жилы и протяженность их зависит от протяженности изучаемого тела. В местах раздува или расщепления тела канава расширяется или из нее проходят короткие поперечные каналы.

На крутых склонах иногда проходят так называемые однобортные каналы.

Канавы большого сечения и глубины, используемые для вскрытия тел, залегающих под наносами на глубине 3–8 м, называются траншеями. Они предназначены также для вскрытия месторождений в качестве эксплуатационных, дренажных выработок и др.

Расчистки — это выработки в виде уступов, своего рода однобортные каналы, в которых длина соизмерима с высотой уступов. Расчистки представляют собой наиболее распространенный вид искусственных обнажений, проходимых на относительно крутых склонах для вскрытия коренных пород.

Карьер — наиболее крупная открытая выработка, служащая для вскрытия тел полезных ископаемых на большей площади и значительной глубине. В большинстве случаев карьеры используются как эксплуатационные выработки для массового извлечения полезных ископаемых, залегающих на сравнительно небольшой глубине. В разведочных целях карьеры используются для отбора больших объемов минерального сырья для технических и технологических испытаний.

Подземные горные выработки подразделяются на вертикальные, горизонтальные и наклонные.

К **вертикальным выработкам** относятся шурфы, дудки, стволы шахт, гезенки, восстающие (рис. 1).

Шурф — вертикальная выработка небольшого сечения, имеющая выход на поверхность. Сечения шурфов квадратные и прямоугольные, обычно стандартных размеров: 1,25; 1,5; 2,0 м². Шурфы круглого сечения называются дудками, их диаметр от 0,8 до 1,2 м. Начало шурфа на поверхности называется устьем, дно шурфа — забоем, а все расстояние между устьем и забоем — стволом. Обычная глубина шурфов 5–10 м, максимальная 40–50 м. Шурфы проходят в поисковых и разведочных целях для вскрытия, прослеживания и опробования тел полезных ископаемых в тех случаях, когда они перекрыты наносами значительной мощности и не могут быть вскрыты канавами. Шурфы широко используются при разведке россыпных месторождений. Иногда из шурфов проходятся дополнительные, горизонтальные выработки — рассечки, квершлагы, штреки, орты. В редких случаях проходятся наклонные шурфы.

Разведочная шахта — вертикальная, реже наклонная горная выработка подобная шурфу, но отличающаяся более крупными размерами. Глубина ее достигает нескольких десятков и сотен метров, площадь сечения в зависимости от глубины и назначения

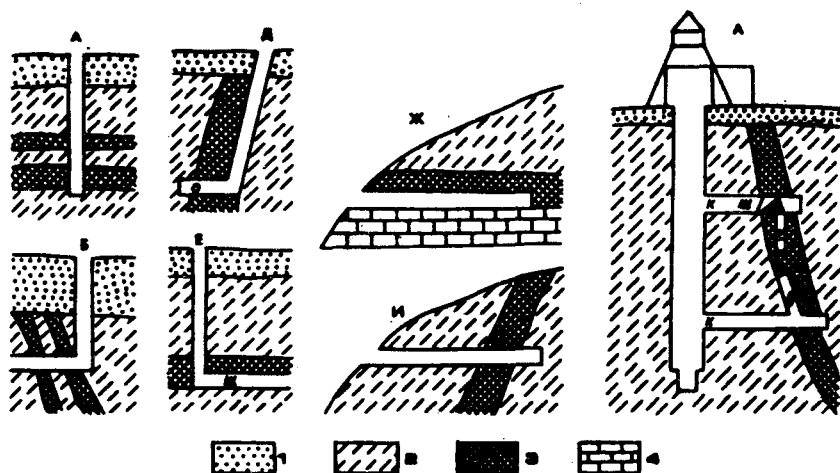


Рис. 1. Подземные горные выработки. А — шурф, Б — шурф с квершлагом, В — шурф с ортом (о), Ш — шурф со штреком (ш), Ж — штольня прослеживающая, И — штольня поперечная, Л — шахта с квершлагами (к), штреком (ш), гезенком (г) и восстающим (в).

1 — суглинки, 2 — сланцы, 3 — тело полезного ископаемого, 4 — известняк

изменяется от 4 до 11–12 м². В некоторых случаях шахты проходятся из горизонтальных подземных выработок, они не имеют выхода на поверхность и называются “слепыми”. В отличие от шурфов стволы шахт не имеют самостоятельного разведочного назначения: предназначены для обслуживания подземных работ по проходке горизонтальных и других выработок на одном–двух и более разведочных горизонтах. Разведочные шахты проходят при разведке глубокозалегающих тел, глубоких горизонтов крутопадающих залежей сложного строения и других целей.

✓ *Гезенками* называют вертикальные или наклонные подземные выработки, не имеющие выхода на поверхность, пройденные с верхнего горизонта на нижний для прослеживания рудных тел или вспомогательных целей.

✓ *Восстающими* называются вертикальные или наклонные выработки, пройденные с нижнего горизонта на верхний по восстанию рудного тела для его прослеживания или для вентиляции, спуска руды, других вспомогательных целей. Протяженность гезенков и восстающих измеряется расстоянием между горизонтами (обычно 40–100 м), площадь сечения 2–2,5 м² при квадратной и прямоугольной форме.

Горизонтальные подземные горные выработки — это штольни, квершлаг, штреки, орты, рассечки.

Штольня — горизонтальная горная выработка, имеющая выход на земную поверхность, проводимая для разведки или выполняющая вспомогательную роль. Штольня служит для подхода к рудному телу или прослеживания его по простиранию; из штольни могут быть пройдены другие выработки. Штольни проводят только в условиях расчлененного рельефа, обычно с небольшим подъемом ($0-3^\circ$) для обеспечения стока воды и облегчения откатки груженных вагонеток. При относительно небольшой площади поперечных сечений ($1,8-5 \text{ м}^2$) разведочные штольни достигают в некоторых случаях значительной длины, измеряемой километрами. Штольни, имеющие два выхода на поверхность, называются тоннелями.

Квершлаг — горизонтальная подземная выработка, не имеющая выхода на поверхность, проводимая по вмещающим породам под углом к телу полезного ископаемого, преимущественно вкрест простирания с целью его вскрытия.

Штрек — такая же, как и квершлаг горизонтальная выработка, не имеющая выхода на поверхность, но проходящая по простиранию рудного тела. При горизонтальном залегании тел горизонтальные выработки, заданные в любом направлении, являются штреками. Штреки, проводимые не по полезному ископаемому, а по пустым породам, называются полевыми штреками.

Размеры поперечных сечений квершлагов и штреков, как и штолен, колеблются от $1,8$ до $5,0 \text{ м}^2$; длина этих выработок бывает различной, достигая нескольких километров.

Орт — горизонтальная выработка, которую проходят обычно из штреков вкрест простирания рудного тела с целью вскрытия его на полную мощность в тех случаях, когда мощность тела превышает ширину штрека. Длина ортов таким образом определяется горизонтальной мощностью наклонно и круто залегающих рудных тел.

Рассечка — горизонтальная выработка, не имеющая выхода на поверхность, проводимая из шурфов, штолен и других выработок для поисков рудных тел, их смещенных частей и др. Иногда рассечками называют орты.

К **наклонным выработкам** относятся наклонные шахты, шурфы, квершлагы, а также бремсберги, уклоны, скаты и т.д., являющиеся в основном вспомогательными.

При разведке месторождений обычно проходит большое число горных выработок. Поверхностные, открытые выработки — копуши, канавы, а также неглубокие шурфы, которые служат в основном для вскрытия коренных пород, прослеживания тел полезных ископаемых и других геологических элементов по поверхности, составления геологических карт и планов, располагаются обычно в соответствии с особенностями геологического строения

(залеганием пород, направлением контактов и т.д.) по определенной системе, образуя разведочные линии, сети и др.

Подземные горные выработки, большая часть которых вообще не является самостоятельными, образуют обычно довольно сложные системы связанных между собой разведочных и вспомогательных выработок, расположенных таким образом, чтобы при минимальном объеме проходческих работ получить наиболее полную информацию об особенностях строения и залегания тел полезных ископаемых на глубине.

СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Горные породы для геолога являются не только объектом изучения их геологических особенностей — минерального и химического состава, структуры, генезиса, взаимоотношений друг с другом, полезных свойств и возможностей использования в народном хозяйстве и т.д., — но и средой, в которой необходимо проходить горные выработки. С этой точки зрения основную роль приобретают такие свойства горных пород, которые определяют успешность прохождения горных выработок, выбор необходимых механизмов и инструментов, оптимальной технологии и организации работ, способов оборудования и инженерного оснащения выработок для того, чтобы их можно было использовать по назначению. К этим свойствам в первую очередь относятся: плотность, пористость, твердость, упругость, хрупкость, пластичность, устойчивость, абразивность, взрываемость, разрыхляемость, плыучесть и др.

По прочности и устойчивости горные породы принято разделять на три группы: рыхлые, связные и скальные.

Рыхлые, или сыпучие, породы, примером которых могут служить песок, галечник, гравий, характеризуются отсутствием сил сцепления между частицами. Прочность и устойчивость этих пород незначительны.

Связные — это в основном глинистые породы, в которых силы сцепления между частицами могут сильно изменяться в зависимости от влажности и восстанавливаться после нарушения сплошности, особенно после некоторого увлажнения и сдавливания. Связные породы дают большие остаточные деформации; в большинстве случаев сильно увеличиваются в объеме при увлажнении, что вызывает нежелательный эффект пучения горных пород в подземных выработках и скважинах, существенно осложняющий их проходку.

В то же время связные породы в большинстве характеризуются как мягкие, легко проходимые и буриемые, часто достаточно устойчивые.

Скальные породы, к которым относятся изверженные, метаморфические и большая часть литифицированных осадочных пород,

характеризуются наличием между частицами значительных ионных и молекулярных сил сцепления, которые после разрушения уже не восстанавливаются. По прочностным характеристикам они довольно разнообразны.

Для более конкретной оценки пород необходима характеристика отдельных физических и механических свойств.

Плотность — масса единицы объема породы со всеми содержащимися в ее порах жидкостями и газами.

Пористость — суммарный относительный объем пор, содержащихся в горной породе.

$$P_p = \frac{V - V_1}{V} 100\%,$$

где V — полный объем образца, V_1 — объем образца за вычетом пор и пустот.

Различают пористость: открытую — суммарный относительный объем пор в породе, сообщающихся с атмосферой; закрытую — суммарный относительный объем пор, не сообщающихся с атмосферой; эффективную — пористость, при которой возможно течение в породе жидкости или газа под воздействием природных градиентов давления.

Твердость — это свойство твердого тела оказывать сопротивление проникновению в него другого, не получающего остаточных деформаций тела, другими словами, это местная механическая прочность. Твердость определяется различными методами, которые позволяют получить числовые характеристики этого свойства.

Прочность — способность горных пород сопротивляться разрушению при сжатии, скалывании, растяжении и других видах деформации. Прочность пород зависит от многих факторов и колеблется в широких пределах.

Упругость — способность тела восстанавливать свою форму и объем после прекращения воздействия на нее нагрузки или других внешних сил.

Хрупкость — свойство горных пород разрушаться без заметной пластической деформации. Большинство скальных пород при обычных условиях деформаций относятся к телам хрупким.

Вязкость характеризуется сопротивлением, оказываемым породой при отделении от массива некоторой его части. Степень вязкости зависит от состава и структуры породы.

Пластичность — способность твердого тела претерпевать остаточную деформацию без микроскопических нарушений сплошности. Пластичность увеличивается с ростом температуры и давления.

Устойчивость — способность пород стоять без обрушения стенок и кровли при вскрытии их горными выработками без дополнительного крепления.

Абразивность — способность породы изнашивать работающий на породе режущий и разрушающий ее инструмент. Абразивность зависит в основном от твердости породообразующих минералов. Для оценки абразивности используются различные методы, основанные на принципе истирания эталонного предмета.

Взрываемость — характеристика сопротивляемости горной породы разрушению действием взрыва; определяется количеством эталонного ВВ (удельного расхода ВВ); необходимого для разрушения породы в определенных условиях.

Разрыхляемость — свойство породы занимать в разрыхленном состоянии больший объем, чем тот, который она занимала в массиве. Показателем служит коэффициент разрыхляемости — отношение объема добытой породы к ее объему в целике.

Водопроницаемость — способность породы пропускать воду при некотором перепаде давления; влияет на потерю промывочной жидкости при бурении скважин, этой способностью обладают обломочные, зернистые, трещиноватые породы. Показателем служит коэффициент фильтрации.

Слоистость, сланцеватость и трещиноватость, обуславливающие разделение породы по отдельным плоскостям, облегчающие в связи с этим разрушение пород при проходке горных выработок, но часто вызывающие обрушение пород и необходимость крепления выработок.

Угол естественного откоса — максимальный угол, при котором порода не обрушается и не скатывается по обнаженной поверхности. Он характеризует устойчивость обнаженных горных пород, в том числе разрыхленных при взрывах, что имеет большое значение при открытых карьерных работах.

Все перечисленные свойства оказывают непосредственное влияние на условия проходки выработок, скорость и стоимость этих работ. При проектировании и проведении горнопроходческих и буровых работ необходимо учитывать совокупность свойств горных пород. Для этого создаются классификации горных пород, т.е. подразделение их на группы с близкими свойствами, характеризующими одинаковую сопротивляемость породы разрушению, следовательно, одинаковые условия ведения работ, скорости проходки и т.д. Одна из первых и наиболее удачных классификаций была предложена М.М. Протоdjяконовым в 1926 г. и используется в настоящее время, претерпев соответствующие усовершенствования и дополнения. В основу этой классификации положена концепция о том, что сопротивляемость горной породы различным видам разрушения, а также ее устойчивость при проходке горных выработок могут быть выражены одним показателем —

коэффициентом крепости породы f . Таким образом, коэффициент крепости — это величина, приближенно характеризующая относительную сопротивляемость породы разрушению при проходке. Обычно принимается, что коэффициент крепости равен частному от деления величины предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ на 100, т.е. $f = \frac{\sigma_{сж}}{100}$. Все типичные породы подразделены на 10 категорий по величинам коэффициента крепости (табл. 1). Этот принцип и созданная на его основе классификация широко используются для различных расчетов, а также для создания других классификаций горных пород, предназначенных для различных видов работ. Так, при вращательном механическом бурении скважин используется классификация, в общем соответствующая вышеприведенной и предусматривающая выделение 12 категорий пород (табл. 2). При проходке горных выработок буровзрывным способом расчеты, связанные с проходкой шпуров, и нормирование работ осуществляются на основе единой классификации горных пород по буримости бурильными молотками, в которой горные породы подразделены на 20 категорий. В отличие от приведенной классификации М.М. Протодяконова во всех современных классификациях нарастание крепости и устойчивости идет от первых категорий к высшим.

Т а б л и ц а 2

Классификация горных пород по буримости для вращательного механического бурения скважин

Категория пород по буримости	Механическая скорость бурения, м/ч	Коэффициент крепости, по М.М. Протодяконову
I	23,0	0,3-1
II	11,0	1-2
III	5,7	2-4
IV	3,35	4-6
V	2,25	6-7
VI	1,5	7-8
VII	1,89	8-10
VIII	1,28	11-14
IX	0,76	14-16
X	0,48	16-18
XI	0,32	18-20
XII	0,15	20-25

Примечание. I-VI категории — твердосплавное бурение, VII-XII — алмазы

Классификация горных пород по крепости

Категория крепости породы	Степень крепости породы	Породы	Коэффициент крепости породы
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитовые породы. Кварцевый порфир; очень крепкий гранит; кремнистый сланец; менее крепкие нежелезистые кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки.	10
IIIa	То же	Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	8
IV	Довольно крепкие	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор, доломит. Колчеданы	6
IVa	То же	Обыкновенный песчаник. Железные руды	5
V	Средней крепости	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк; мягкий конгломерат	4
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированная галька, каменистый грунт	2
VIa	То же	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень. Крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь, крепкий нанос, глинистый грунт	1,0
VIIa	То же	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля. Торф. Легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Пылуучие	Пылуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	0,3

СПОСОБЫ ПРОХОДКИ И КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Проходка горных выработок осуществляется разнообразными способами: 1) с использованием специальных машин и механизмов; 2) вручную; 3) с использованием нетрадиционных способов; 4) с применением буровзрывных работ.

Механизированный способ проходки горных выработок предусматривает использование разнообразной техники. Во-первых, это машины, специально предназначенные для горнопроходческих работ, — разнообразные экскаваторы (одноковшовые — прямая и обратная механические лопаты, драглайн, грейфер; многоковшовые — цепные, траншейные, роторные и др.), скреперы (стационарные и прицепные), — широко используемые при проходке открытых горных выработок — канав, траншей, карьеров. Для шурфопроходческих работ применяются разнообразные типы шурфокопателей, специальных буровых установок, шурфопроходческих комплексов и др.

Во-вторых, широко используются механизмы многоцелевого назначения, в первую очередь дорожные машины — бульдозеры, самоходные скреперы и др.

В-третьих, это механизированный инструмент: пневматическая лопата, отбойный молоток, пневмолот и др. Механизированные способы проходки горных выработок могут применяться лишь в породах относительно невысоких категорий крепости, как правило, не выше IV–V категорий.

Проходка выработок вручную предпринимается (несмотря на, казалось бы, разнообразные возможности использования техники) в тех случаях, когда работы проводятся в труднодоступных районах, ограничены по масштабам и отсутствует возможность использования каких-либо специальных способов. Ручные работы используют так же как вспомогательные и подсобные при механизированной проходке. Работы выполняются с помощью ручного инструмента: лопаты, кайла, клина, молота или лома. Ручные работы также могут производиться лишь в породах, относящихся по крепости к первым четырем категориям и в некоторых разновидностях пород пятой категории.

Проходка выработок с использованием различных вспомогательных способов. В ряде случаев помимо обычных способов механизации для проходки выработок, особенно поверхностных, применяют различные приемы, облегчающие работу, ускоряющие проведение выработок. Все подобные методы невозможно перечислить — здесь в полную меру проявляется изобретательность горняков, умение использовать подручные средства и благоприятные природные условия.

При проходке канав, траншей, расчисток нередко используется гидромониторный способ, позволяющий достаточно эффективно размывать рыхлые породы, обнажая коренные образования.

Описан оригинальный способ проходки канав на крутых склонах. Он заключается в том, что предварительно производится трассирование канав, направленных по линии падения склона путем разрыхления пород небольшими зарядами ВВ по оси канавы. Затем по разрыхленной трассе направляется водный поток либо от резервуаров специально созданного водопровода, либо из заранее устроенных на склонах водосборников, накапливающих весеннюю талую воду. Таким образом, формируются искусственные селевые потоки, интенсивно разрушающие делювиально-аллювиальные отложения, обнажающие коренные породы, нередко к тому же хорошо промытые.

Оригинально производится проходка поверхностных горных выработок и неглубоких шурфов в мерзлых породах. Мерзлые рыхлые породы (пески, суглинки, глины и др.) предварительно оттаивают разнообразными способами. Проходку канав и неглубоких шурфов осуществляют иногда методом "на пожар", т.е. с помощью костра, разведенного на забое выработки. При этом достигается оттаивание породы на глубину 0,3–0,5 м, после чего породы проходятся ручным инструментом и снова повторяют разведение костра. Этот способ разрешается до глубины не более 5 м, что связано с необходимостью постоянного тщательного проветривания выработок перед спуском в них рабочих, а также с тем обстоятельством, что при пожаре одновременно с забоем и даже в большей степени происходит оттаивание стенок шурфа, что ведет к их осыпаниям, обвалам и т.д.

Наряду с пожегом часто используют ботовый способ: крупные камни (бут) нагреваются на костре и в раскаленном состоянии укладываются на забой и прикрываются экраном — обычно листом железа. После остывания бута его убирают, а оттаявшие породы проходят с помощью кайла и лопаты. Глубина каждой тайки составляет 0,4–0,8 м. Таким способом шурфы можно проходить до глубины 15–30 м.

Кроме указанных способов для оттаивания пород применяют иногда паровую тайку. Для этого из небольшого парового котла пар по трубопроводам и шлангам подается к рабочим инструментам — пойнтам — металлическим трубкам длиной 1–1,5 м, заостренным на концах и вставляемым в мерзлые породы. После оттаивания примерно на 0,5 м породы извлекают из выработки, а проходка продолжается.

Иногда приходится прибегать к прямо противоположным методам. В водоносных породах, обильно насыщенных водой, проходка выработок оказывается возможной лишь при условии их предварительного промораживания. Поэтому выработки проходят в

зимнее время при температуре на поверхности — 10°C и ниже. При проходке проморозкой забой и стенки выработки выдерживаются в течение некоторого времени в зависимости от крепости мороза, а затем углубляются на глубину, несколько меньшую промерзания породы. Таким способом оказывается возможной проходка шурфов сквозь толщу воды в озерах и реках при тщательном соблюдении требований безопасности.

Проморозка используется и при ведении более масштабных работ. Так, метростроители в Ленинграде, Баку и других городах при проходке тоннелей метро по “плынунам” — насыщенным водой пескам и другим неустойчивым, подвижным породам используют предварительную, опережающую проморозку. Это осуществляется путем бурения по трассе будущего тоннеля сети скважин, в которых по герметичной системе труб циркулируют переохлажденные (до -30 — -35°C) растворы солей, что и вызывает промерзание грунта и возможность успешной проходки в нем тоннелей. В этих условиях замороженные породы надежно предохраняют свободное пространство выработок от проникновения в них воды и насыщенных водой плынунов.

Буровзрывные работы

Проходка выработок в скальных породах практически любых категорий твердости осуществляется с применением буровзрывных работ. Этим способом проходят открытые и подземные выработки. Существо метода заключается в том, что разрушение пород производится под действием взрывов взрывчатых веществ, помещенных в специально пробуренных по определенной системе шпурах — небольших буровых скважинах.

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Взрыв — это чрезвычайно быстрое разложение (сгорание) взрывчатого вещества (ВВ), сопровождающееся образованием большого количества газов с высокой температурой, что обуславливает практически мгновенное выделение энергии, направленной на разрушение окружающей среды.

При взрывчатом превращении различают три рода взрывов: 1) детонацию, при которой ВВ разлагается со скоростью от 1000 до 8500 м/с и более; 2) взрывное горение, при котором ВВ разлагается со скоростью от 400 до 1000 м/с; 3) взрывное горение (дефлаграция), при котором ВВ разлагается более медленно; иногда процесс переходит в выгорание, не сопровождаемое разрушительным действием.

Взрывчатое вещество (ВВ) — это твердое, жидкое или газообразное вещество, которое под действием внешнего импульса

(нагревания, искры, удара) способно практически мгновенно разлагаться с образованием большого количества газов и выделением значительного количества тепла. ВВ характеризуются работоспособностью и бризантностью.

Работоспособность, или фугасность, — это способность ВВ производить при взрыве дробление среды, а также отбрасывание раздробленной массы, что составляет только часть полной работы взрыва. Фугасными, или метательными, являются ВВ, характеризующиеся относительно медленным разложением.

Бризантность — способность ВВ производить при взрыве измельчение, пробивание или дробление среды, соприкасающейся с зарядом. Бризантность обусловлена ударным действием продуктов детонации и представляет собой только часть работы взрыва. Бризантные (дробящие) ВВ характеризуются высокими скоростями сгорания (детонацией).

Промышленные взрывчатые вещества обладают различными показателями работоспособности и бризантности. По составу промышленные ВВ делятся на аммиачноселитренные, нитроглицериновые, нитросоединения. Другие группы при ведении буровзрывных работ существенной роли не играют.

Аммиачноселитренные ВВ — механические смеси аммиачной селитры с нитросоединениями, горючими и разрыхляющими добавками. Среди них выделяют аммониты, аммоналы и динафталиты.

Аммонитами называются аммиачноселитренные ВВ, в состав которых помимо аммиачной селитры входят взрывчатые нитросоединения и горючие добавки. В качестве взрывчатого нитросоединения почти во все сорта аммонитов входит тротил; аммониты повышенной мощности могут содержать гексоген или тэн. Аммониты выпускаются в порошкообразном виде или в форме прессованных патронов. Они мало чувствительны к внешнему механическому и тепловому воздействию (удару, искре), врываю-ются лишь от детонации и поэтому относительно безопасны в обращении.

Аммоналами называются смеси аммиачной селитры с нитросоединениями, содержащие алюминий или ферросилиций. Динафталиты — аммиачноселитренные ВВ, в состав которых входит динитронафталин. Они в отличие от аммонитов не гигроскопичны и не слеживаются.

Нитроглицериновые ВВ содержат нитроглицерин или нитроглицоль и подразделяются на динамиты, детониты и победиты.

Динамиты — это смеси нитроглицерина и нитроглицоля с древесной мукой, калиевой, натриевой или аммиачной селитрой. В качестве стабилизаторов в их состав вводятся в небольших количествах мел или сода. Динамиты характеризуются высокой работоспособностью, бризантностью, хорошей водоустойчивостью.

Недостатками являются повышенная чувствительность к механическому воздействию, старение и экссудация. Старение приводит к снижению или полной потере взрывчатых свойств в результате повышения плотности в процессе хранения. Экссудация — выделение на поверхности патрона нитроглицерина, что представляет большую опасность вследствие высокой чувствительности этого вещества. Кроме этого, динамит замерзает при положительной температуре (+8 — 10°C). Динамит применяют при проходке капитальных выработок в весьма крепких и обводненных породах.

Детониты — это промышленные ВВ, в состав которых входят аммиачная селитра и нитроглицерин. Детониты выпускаются трех типов: содержащие 6, 10 и 15% нитроглицерина. Они предназначены для подземных взрывных работ в различных условиях, кроме шахт, опасных по газу и пыли.

Победитами называются ВВ, содержащие небольшие количества нитроглицерина, аммиачной селитры, тринитротолуола и соли плазмегасителя. Победиты являются предохранительными ВВ, допущенными для работы в шахтах, опасных по газу и пыли.

Нитросоединения представляют собой ВВ, образующиеся в результате взаимодействия органических соединений с азотной кислотой в присутствии серной или уксусной кислоты. Некоторые ВВ этой группы используют в качестве составных частей для изготовления аммонитов (тротил, гексоген), другие применяются в качестве промежуточного (вторично инициирующего) ВВ в капсюлях-детонаторах (тетрил).

Тротил — мощное ВВ, скорость детонации 6800 м/с, температура взрыва 2950°C. При взрыве выделяет много ядовитых газов, поэтому в чистом виде применять его можно только на поверхности. Мало чувствителен к удару и трению, легко загорается, спокойно горит; взрывается от капсюля-детонатора.

Гексоген — мощное, высокочувствительное ВВ. Используется в качестве вторично инициирующего ВВ при изготовлении капсюлей-детонаторов.

Тетрил — негигроскопичен, нерастворим в воде, малочувствителен к внешнему воздействию. Также используется в качестве вторичноинициирующего ВВ.

Тэн — вторичноинициирующее ВВ со скоростью детонации 8200 м/с используется для снаряжения детонирующего шнура.

Кроме перечисленных отдельную группу составляют так называемые инициирующие ВВ, которые благодаря способности легко детонировать от искры или удара, используются в качестве инициаторов взрыва. Они делятся на две группы: первичные, наиболее чувствительные, и вторичные. К первичным относятся гремучая ртуть, азид свинца и тенерес. Эти вещества чрезвычайно опасны в обращении. Вторичные инициирующие вещества — выше упомянутые тетрил, тэн и др.

Взрывчатые вещества, применяемые для проходки горных выработок, должны отвечать требованиям безопасности. Основное требование к ВВ для открытых работ — безопасность в обращении. ВВ остальных групп, кроме того, не должны выделять при взрыве много ядовитых газов, чтобы избежать отравления людей в подземных выработках. Кроме того, необходимы и так называемые предохранительные ВВ, которые помимо указанных требований должны обладать пониженной воспламеняющей способностью, чтобы взрыв заряда не вызывал взрыва метана или угольной пыли (воздух в подземных выработках, содержащий определенное количество угольной или сульфидной пыли, становится взрывоопасным). Предохранительные ВВ содержат специальные добавки — пламегасители, в качестве которых используются различные соли, в том числе хлористый калий и хлористый натрий. Согласно существующим правилам установлены отличительные цвета оболочек или полос на патронах и упаковках ВВ: *белый* — не предохранительные ВВ только для открытых работ; *красный* — не предохранительные ВВ, допущенные для шахт, не опасных по газу и пыли; *синий* — предохранительные ВВ для работы по породе; *желтый* — предохранительные ВВ, допущенные для работы по углю и породе.

СРЕДСТВА ВЗРЫВАНИЯ

Промышленные ВВ, используемые для взрывных работ в горных выработках, выпускаются в виде сыпучего, гранулированного материала, а также в виде патронов — брусков, цилиндров и др. Для того чтобы вызвать взрыв заряда ВВ, используют специальные средства — капсюли-детонаторы, непроводный шнур, электродетонаторы, детонирующий шнур и др.

Капсюль-детонатор состоит из бумажной или металлической гильзы стандартного размера: диаметр около 7 мм, длина 45,5–51 мм. Нижняя часть гильзы примерно на 2/3 заполняется вторичным инициирующим ВВ, затем помещается металлическая чашечка с отверстием вверху, содержащая первичное инициирующее ВВ. В нижней части гильзы имеется сферическое или коническое кумулятивное углубление (рис. 2). Для взрыва детонаторов обычно используют горящий огнепроводный шнур. Он состоит из слабо спрессованной пороховой сердцевинки, направляющей нити, проходящей сквозь сердцевину и предохраняющей порох от высыпания, и нескольких хлопчатобумажных или льняных оплеток, покрытых водоизолирующим материалом. По скорости горения огнепроводные шнуры бывают двух видов: нормально горящие (скорость 0,86–1,0 см/с) и медленно горящие (0,48–0,56 см/с). Диаметр огнепроводного шнура немного меньше внутреннего диаметра гильзы капсюля-детонатора (5–6 мм).

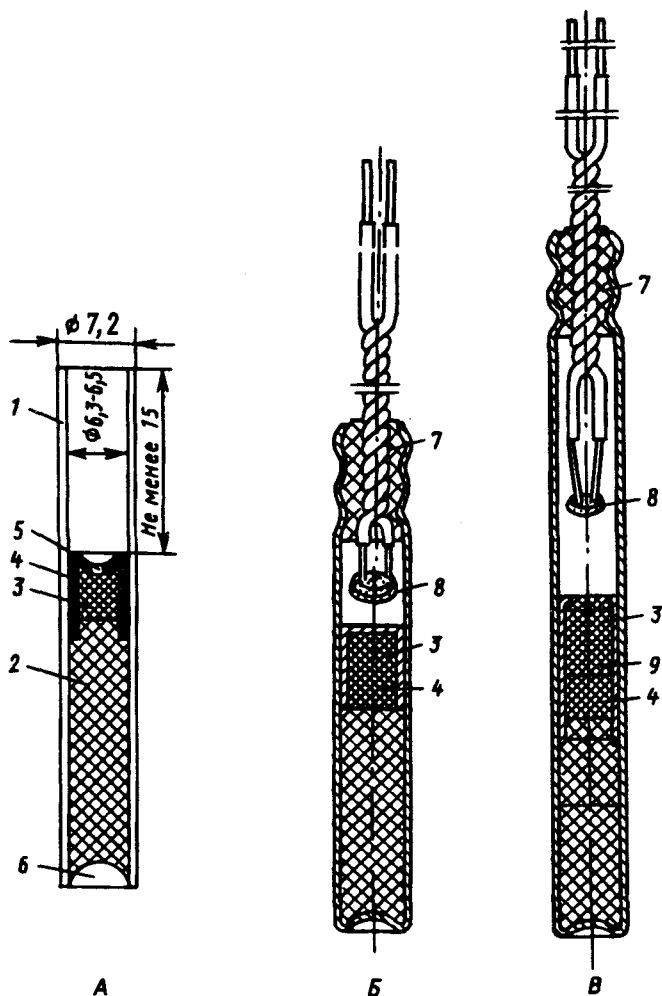


Рис. 2. Капсюль-детонатор (А) и электродетонаторы мгновенного (Б) и замедленного (В) действия.

1 — гильза, 2 — вторично инициирующее ВВ, 3 — первично инициирующее ВВ, 4 — чашечка, 5 — отверстие в чашечке, 6 — кумулятивное углубление, 7 — пластиковая пробка, 8 — воспламенители, 9 — гильза замедления

Электродетонаторы применяются при электрическом способе взрывания и представляют собой капсюли-детонаторы, соединенное в одно целое с электровоспламенителем. В гильзу детонатора вводятся два проводника, соединенные нихромовой или константановой провололочкой (мостик накаливания), покрытой каплей легко воспламеняющегося состава (см. рис. 2). В отличие от таких

детонаторов мгновенного действия, которые взрываются сразу как только по проводникам проходит электрический ток, бывают электродетонаторы замедленного действия. В них между воспламеняющимися составом и чашечкой капсюля-детонатора вставляется специальная гильза с особым горючим замедляющим составом (см. рис. 2). Пламя горящего воспламеняющего состава зажигает замедляющий состав, время горения которого определяется длиной гильзы замедлителя. Выпускаются электродетонаторы со ступенями замедления 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2; 4; 8 секунд. Изготавливаются также электродетонаторы короткозамедленного действия с замедлением в 25, 50, 75, 100, 150, 250, 500, 700, 1000, 1500 и 2000 миллисекунд. Электродетонаторы замедленного и короткозамедленного действия используют для повышения эффективности взрыва группы шпуров: последовательное их взрывание повышает коэффициент использования шпуров, обеспечивает более равномерное дробление породы и кучный отброс от забоя. В качестве источников электрического тока при электрическом способе взрывания применяются специальные взрывные машинки (динамоэлектрические и конденсаторные), осветительная или силовая электрическая сеть. В редких случаях используются батареи или аккумуляторы.

Детонирующий шнур предназначен для передачи детонации начального импульса к зарядам промышленного ВВ. Он состоит из оплетки и сердцевины высокобризантного ВВ (тёна) со скоростью детонации не ниже 6500 м/с. Детонирующий шнур взрывается (детонирует) от капсюля-детонатора или электродетонатора и применяется для одновременного взрывания нескольких групп зарядов.

МЕТОДЫ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Для разрушения горных пород с целью проходки выработок используются различные способы взрывных работ, различающихся размещением зарядов. Выделяют следующие способы взрывных работ: 1) шпуровой заключается во взрывании зарядов, помещенных в специально пробуренные шпуры глубиной от 2–3 до 4–5 м и диаметром 32, 50 и 75 мм; 2) скважинный предусматривает помещение заряда ВВ в скважинах глубиной до 50–60 м, диаметром до 300 мм. Этот способ обычно используется при работах на уступах карьеров; 3) котловых зарядов применяется для увеличения мощности взрыва и сокращения объема буровых работ. С этой целью забой шпура или скважины расширяют до образования камеры (котла) путем многократной прострелки — взрывания небольших зарядов ВВ. В образовавшийся котел после его очистки помещают крупный заряд ВВ для основного взрыва. Котловые заряды также применяются на карьерах; 4) камерных зарядов

используется при разработке месторождений открытым способом, на строительстве крупных карьеров, при проходке траншей и др. В этом случае заряды массой до нескольких десятков и даже сотен тонн помещают в специальные камеры большого объема, которые проходятся из шурфов, штолен и других выработок, которые называются соответственно минными шурфами, минными штольнями и т.д.; 5) накладных зарядов применяется для взрывания и дробления крупных глыб, валунов и др. Иногда его используют при проходке неглубоких шурфов и канав. Этот способ не требует подготовительных работ: заряд ВВ накладывается непосредственно на объект взрывания. Это наименее эффективный способ: расход ВВ в 5–10 раз больше, чем при шпуровом способе.

Наиболее распространенным способом, особенно при проходке подземных выработок, является шпуровой.

БУРЕНИЕ ШПУРОВ

Шпур — цилиндрическая полость в горной породе глубиной до 5 м и более, диаметром 32, 50, 75 мм, предназначенная для размещения заряда ВВ. Бурение шпуров осуществляется ударным или вращательным способом. В редких случаях шпуры бурят ручным способом при помощи стальных буров, по которым наносят удары молотком, поворачивая бур после каждого удара. Шпур после каждой углубки на несколько сантиметров очищают от разбуренной породы особым инструментом — чищалкой.

Механическое ударное бурение производится специальными бурильными машинами — пневматическими перфораторами в породах любой крепости, целесообразнее в наиболее крепких (IX–XX категорий). Перфораторы, работающие на сжатом воздухе, осуществляют бурение шпура при помощи бура, по которому наносятся частые удары (от 400 до 3900 ударов в 1 мин); после каждого удара бур поворачивается на определенный угол.

Бур — инструмент для бурения шпуров, представляет собой стальной стержень с заостренной головкой, разрушающей поверхность забоя. Иногда буры имеют съемную коронку, армированную твердым сплавом. Вдоль стержня проходит канал, через который подается вода для промывки, или воздух для продувки шпура.

Перфораторы бывают ручные, колонковые, телескопные, а также с установкой на буровых каретках.

Ручные перфораторы предназначены для бурения шпуров глубиной до 4 м. Колонковые тяжелые перфораторы используют при бурении шпуров различного направления глубиной до 6–9 м. Они укрепляются на колонках и снабжены специальным механизмом, обеспечивающим передвижение перфоратора вперед по мере пробуривания шпура. Благодаря подвижности колонки и возможности

перемещения перфоратора по ней с одной позиции можно пробурить несколько шпуров. При проходке горизонтальных выработок большого сечения колонковые перфораторы устанавливают на передвижные буровые каретки по 2, 4 или 5 штук. Одновременное бурение нескольких шпуров резко сокращает время проходки.

Телескопные перфораторы применяют при бурении восстающих шпуров. Они состоят из двух частей: верхняя — собственно перфоратор, нижняя — пневматическая раздвижная колонка (телескоп), под действием сжатого воздуха выдвигающаяся вверх и поднимающая перфоратор вслед за проходкой шпура.

Очистка шпура от шлама (измельченной разбуренной породы) производится промывкой шпура водой, которая подается от насоса и нагнетается в шпур через перфоратор и пустотелый бур. Вода вместе с измельченной породой вытекает из шпура. Очищать шпур можно и продувкой сжатым воздухом.

Механическое вращательное бурение шпуров в породах IV–IX категорий производится с помощью электросверл, которые также бывают ручными и колонковыми. Рабочим инструментом являются стальные сверла, стержень которых имеет винтообразную форму или снабжен выпуклыми витками (такие сверла называются шнеками), что обеспечивает перемещение выбуриваемой породы к устью шпура и таким образом очистку его от шлама. Сверла имеют стальные резцы, армированные твердыми сплавами.

Для бурения шпуров в крепких породах используют шарошечные долота.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ШПУРОВ В ЗАБОЯХ

Шпуры в забоях выработок должны располагаться таким образом, чтобы обеспечить отрыв породы по проектному контуру с наибольшим коэффициентом использования шпуров, равномерное дробление ее и максимально удобный для последующей уборки взорванной породы отброс ее от забоя. Принципиальную схему расположения шпуров можно рассмотреть на примере забоев горизонтальных горных выработок. По назначению шпуры разделяют на врубовые, вспомогательные и оконтуривающие (рис. 3).

Врубовые шпуры предназначены для предварительного образования вруба (углубления), создания тем самым дополнительных плоскостей обнажения в массиве породы, что способствует большему эффекту взрыва. Врубовые шпуры взрываются первыми.

Вспомогательные (отбойные) шпуры служат для расширения пространства, образованного подрывом врубовых шпуров. Они располагаются равномерно в забое, в выработках большого сечения по нескольким замкнутым concentрическим контурам и

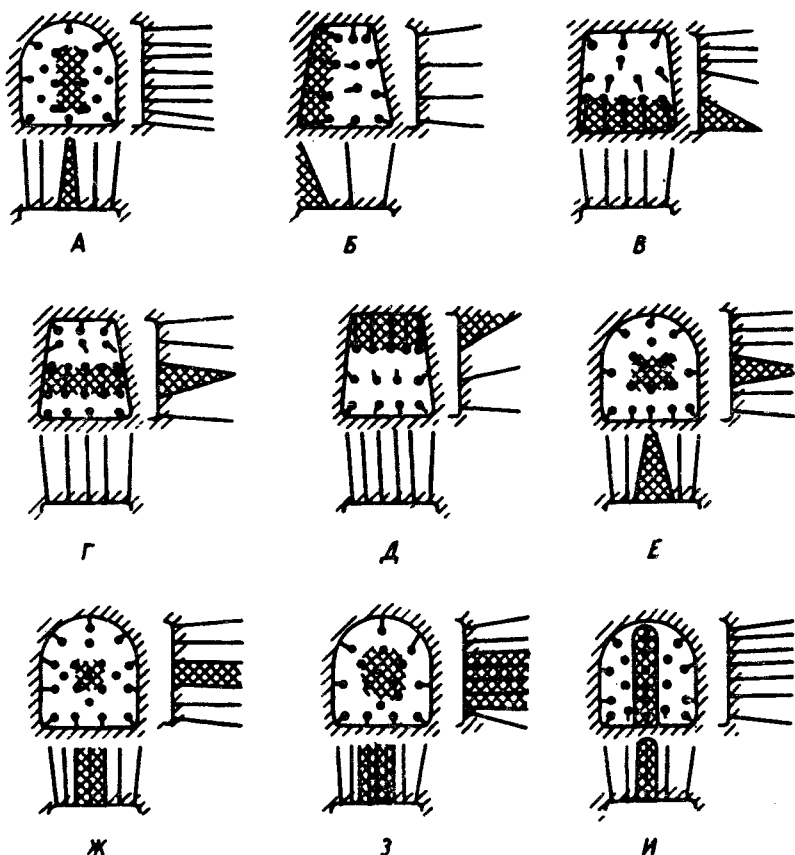


Рис. 3. Типовые комплекты шпуров. А, Б, В, Г, Д — с клиновым врубом; Е — с пирамидальным врубом; Ж, З — с призматическим врубом; И — со щелевым врубом.

подрываются вслед за врубовыми. Оконтуривающие шпурь располагаются по периметру выработки, служат для отбойки породы до установленного контура и взрываются в последнюю очередь.

Схемы расположения шпуров, называемые шпуровыми комплектами, бывают различными и зависят в основном от характера пород: свойственной им крепости, слоистости, трещиноватости, устойчивости. В первую очередь этими особенностями определяется форма вруба. Различаются комплекты с пирамидальным, щелевым и клиновым врубами. В последнем случае бывают горизонтальные, вертикальные, верхние, нижние, правые и левые. Иногда используют спиральный призматический вруб, образованный параллельными шпурами, расположенными по спирали от центра выработки. В этом случае врубовые шпурь взрываются

последовательно. В особо трудновзрываемых породах применяются комбинированные врубы.

Глубина шпуров зависит от типов применяемых бурильных машин, сечения выработки, условий уборки породы. Оптимальной глубиной является такая, при которой суммарные затраты времени и материалов на проведение 1 м горной выработки будут наименьшими. Глубина шпуров определяется специальными расчетами.

Число шпуров в забое зависит от физико-механических свойств пород (твердости, вязкости, трещиноватости и др.), типа применяемого ВВ, поперечного сечения выработки и других факторов. Чаще всего оптимальное число шпуров рассчитывается по формуле М.М. Протодьяконова:

$$n = 2,7\sqrt{\frac{f}{S}},$$

где n — число шпуров на 1 м² площади забоя; f — коэффициент крепости породы; S — поперечное сечение выработки, м².

Рассчитанные или определенные экспериментально параметры шпуров, их число, порядок их взрывания, необходимые буровые механизмы и ВВ, средства взрывания указываются в паспорте буровзрывных работ, необходимом документе, который составляется для каждой горной выработки и регламентирует эти работы. В паспорте указываются также радиус опасной зоны, места укрытия рабочих во время взрыва, время для проветривания забоя и т.д.

ЗАРЯЖЕНИЕ И ВЗРЫВАНИЕ ШПУРОВ

После пробуривания и очистки шпуров в них помещают заряды ВВ в виде цилиндрических патронов, располагая их вплотную один к другому. Последним или предпоследним в шпур вводится патрон-боевик, который представляет собой патрон ВВ с введенной в него зажигательной трубкой. Зажигательная трубка состоит из капсюля-детонатора и введенного в него отрезка огнепроводного шнура. Длина этого отрезка определяется глубиной шпура и временем горения, достаточным для соблюдения всех мероприятий по безопасности работ. Длина самого короткого отрезка не может быть менее 1 м. При электрическом взрывании патрон-боевик изготавливается путем введения в патрон ВВ электродетонатора с выведенными наружу детонаторными проводниками.

После введения в шпур патрона-боевика остальная часть шпура заполняется забойкой (смесью глины с песком), которая препятствует свободному выходу газов при взрыве и тем самым повышает его эффективность. Длина забойки составляет от 0,25

до 0,4 глубины шпура. При электрическом взрывании электродетонаторы соединяются в сети последовательно, параллельно или комбинированным способом. По окончании заряжения шпуров производится их отпалка, т.е. взрывание с соблюдением соответствующих правил безопасности.

Уборка и транспортировка породы

При проведении горных выработок уборка и транспортировка породы является весьма трудоемкой производственной операцией. По оценкам специалистов, она занимает до 50%, а при проходке вертикальных выработок до 70% общего времени, затрачиваемого на проходку. Кроме того, эти работы требуют организации достаточно сложного в ряде случаев хозяйства, включающего рельсовые пути, подвижной состав (вагонетки, электровозы), систему сигнализации, подъемные механизмы, породопогрузочные машины и т.д. Разумеется, все это зависит от характера проводимых работ: чем крупнее и глубже выработки, чем более разветвлена их сеть, тем мощнее применяемая техника и транспорт.

При проходке и эксплуатации горизонтальных подземных выработок для откатки породы используются рельсовый, самоходный и другие виды транспорта. После очередной откатки взорванная порода при помощи породопогрузочных машин, скреперных установок, вручную или с использованием ленточных перегружателей грузится в вагонетки. При штольневой системе разведки порода в вагонетках с помощью электровозов, автосамосвалами, иногда с применением конвейеров, транспортируется на поверхность, где вблизи устья выработки обычно сваливается в отвал. На шахтах процесс перемещения пород более сложен. Сначала взорванная порода доставляется до откаточного штрека, затем по рельсовым путям до шахтного ствола; по стволу с помощью подъемных установок (клетевых или скиповых) поднимается на-гора и уже на поверхности транспортируется в отвалы, которые могут находиться на значительном расстоянии от шахты.

Вентиляция и освещение выработок

Как известно, сухой атмосферный воздух при нормальном давлении содержит по объему около 77% азота, 21% кислорода, 0,9% аргона, 1% паров воды, 0,1% углекислого газа, водорода и др. Воздух, заполняющий горные выработки, называется шахтным, или рудничным, и по составу отличается, иногда существенно, от нормального атмосферного. Атмосферный воздух, попадая в горные выработки, загрязняется рудничной пылью, газами, выделяющимися из пород и руд, вредными веществами, образующимися при взрывах. Изменяются также температура, влажность и давле-

ние. Краткая характеристика основных компонентов рудничного воздуха сводится к следующему.

Кислород (O_2) — один из важнейших компонентов воздуха: потребление человеком кислорода в зависимости от выполняемой работы составляет от 1 до 3,5 л/мин. Снижение содержания кислорода до 17–18% вызывает одышку и учащенное сердцебиение, до 12% — приводит к обморочному состоянию и возможно смертельному исходу. По правилам безопасности содержание кислорода в рудничном воздухе не должно быть ниже 20%.

Азот (N_2) — химически инертен, но при взрывных работах может окисляться, образуя ядовитые газы. Содержание его в рудничной атмосфере не нормируется, но повышение его концентрации приводит к снижению содержания кислорода.

Углекислый газ (CO_2) — токсическое действие проявляется при 3–4% его содержания в воздухе и выражается в головокружении, головной боли и других неприятных ощущениях, при повышении его концентрации до 5% наступает одышка, при 10% — обморочное состояние, при дальнейшем увеличении содержания человеку угрожает смерть. Углекислый газ тяжелее воздуха и скапливается у почвы выработок, а также в глубоких, долго не проветриваемых выработках. По правилам безопасности содержание углекислого газа у рабочих мест не должно превышать 0,5%.

Оксид углерода (CO) — образуется при взрывных работах, пожарах, работе двигателей внутреннего сгорания. Сильно ядовит. Легкое отравление вызывает уже концентрация 0,02–0,05%, при содержании 1% смерть наступает после нескольких вдохов. Предельно допустимая концентрация 0,0016%. Газ легче воздуха, поэтому скапливается в верхних частях выработок.

Диоксид азота (NO_2) — газ красно-бурого цвета с резким запахом, очень ядовит: при содержании 0,025% смертельно опасен. Наряду с ним при взрывах образуются другие оксиды NO, N_2O . Максимально допустимая концентрация оксидов азота в пересчете на NO_2 равна 0,00025%.

Диоксид серы (SO_2) — сернистый газ, бесцветный с резким запахом, вызывающий раздражение дыхательных путей, отек легких. Предельно допустимое содержание в воздухе 0,00035%.

Сероводород (H_2S) — бесцветный с резким запахом, ядовит. При содержании 6% образует с воздухом взрывную смесь. Максимально допустимая концентрация 0,00066%.

Акролеин (CH_2CHCHO) и формальдегид ($HCHO$) — ядовитые продукты, содержащиеся в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания. Максимально допустимая концентрация их соответственно 0,000009 и 0,00004%.

Метан (рудничный газ — CH_4) — при содержании 5–16% образует с воздухом взрывчатую смесь. Взрывные работы даже

с предохранительными ВВ можно проводить при содержании метана не выше 1%.

Рудничная пыль — образуется при буровзрывных работах, погрузке, транспортировке горной массы и других работах, находится во взвешенном состоянии (пылевой аэрозоль); осевшая пыль называется пылевым аэрогелем. Концентрация пыли измеряется или количеством миллиграммов пыли в 1 м^3 , или числом пылинок в 1 см^3 . (200 пылинок размером от 0 до 2 нм, в 1 см^3 приравняется к 1 мг/м^3 .) Чистый воздух в горах содержит 200–1000 пылинок в 1 см^3 ; воздух в городах — от 50 000 до 200 000; концентрация пыли при горных работах достигает 50–350 мг/м^3 и выше.

Рудничная пыль является причиной профессиональных заболеваний, называемых пневмокониозами. Нормы запыленности рудничного воздуха установлены в зависимости от вредности пыли. Например, при содержании свободной SiO_2 более 70% предельная запыленность не выше 1 мг/м^3 , при содержании SiO_2 от 10 до 70% она не должна превышать 2 мг/м^3 . При отсутствии свободной SiO_2 и токсических веществ норма запыленности повышается до 10 мг/м^3 . Угольная и сульфидная пыль при определенной концентрации взрывоопасна.

Рудничный воздух, не отличающийся или почти не отличающийся от нормального атмосферного, называется свежим, в остальных случаях — загрязненным. Контроль состава рудничного воздуха осуществляется химико-аналитическим методом, путем химического анализа проб воздуха, или экспресс-методом с помощью переносных газоанализаторов.

Вентиляция подземных выработок осуществляется потоком воздуха, поступающего с поверхности земли либо вследствие естественной тяги (в некоторых случаях неглубоких выработок), либо по специально организованной схеме искусственной вентиляции.

Для искусственного проветривания применяют центробежные и осевые вентиляторы. Для обеспечения движения воздуха по выработкам в нужном направлении помимо вентиляторов устанавливают различные вентиляционные устройства: перемычки, вентиляционные двери, шлюзы, трубы и др. Тип используемых вентиляторов, характер оборудования и схема проветривания зависят от длины выработки, ее назначения, количества газов и т.д. При проходке разведочных выработок применяют три схемы вентиляции призабойного пространства: нагнетательную, всасывающую и комбинированную.

В нагнетательной схеме подача свежего воздуха производится по системе трубопроводов вентилятором, установленным близ устья выработки. Загрязненный взрывом воздух перемещается от забоя к устью. При такой схеме призабойное пространство очищается быстро, но вся выработка в целом проветривается

тем дольше, чем она длиннее. Поэтому нагнетательный способ применяют при длине выработок до 300–500 м.

При всасывающей схеме загрязненный воздух всасывается в забое и удаляется по трубопроводу, не распространяясь по выработке. Такая система предпочтительнее в протяженных выработках и используется при длине проветривания 400–1000 м. При комбинированной системе вентиляции призабойное пространство отделяется от основной части выработки парусиновой перемышкой; в это пространство вводятся концы всасывающего и нагнетательного трубопроводов. Забой быстро очищается от продуктов взрыва. Комбинированный способ применяется также для проветривания очень протяженных выработок.

Освещение горных выработок

Все работы в подземных горных выработках производятся при искусственном освещении стационарного и переносного типов. Стационарное электрическое освещение с использованием ламп накаливания или люминесцентных светильников оборудуется в основных горных выработках. В соответствии с требованиями Правил безопасности установлены нормы минимальной освещенности (в люксах): в основных откаточных выработках — 5; в действующих забоях — 10–15; в подземных камерах — 75.

Переносные и индивидуальные светильники разнообразны: электрические, аккумуляторные, ацетиленовые, бензиновые.

Водоотлив

В процессе горнопроходческих работ выработки пересекают водоносные горизонты, трещинные структуры, карстовые полости, из которых поступает вода. Степень обводненности участка зависит от географического положения, климатических условий, глубины, литолого-петрографического состава пород, водопроницаемости их, гидрогеологической обстановки и др. Водоприток в горные выработки, измеряемый кубическими метрами в час или сутки, изменяется в широких пределах от единиц до нескольких тысяч кубических метров в час. Относительный водоприток характеризуется коэффициентом водообильности — отношением количества откаченной воды к количеству извлеченной за тот же срок породы ($\text{м}^3/\text{т}$). Эта величина изменяется от долей кубометра на 1 т до 20 м^3 и более.

Успешная проходка разведочных выработок возможна при правильной организации водоотлива. При небольшом притоке воды она удаляется вместе с породой в бадьях. При более обильном поступлении воды (более 5 л/мин) используют различные насосы. Особенности водоотлива при проходке разведочных

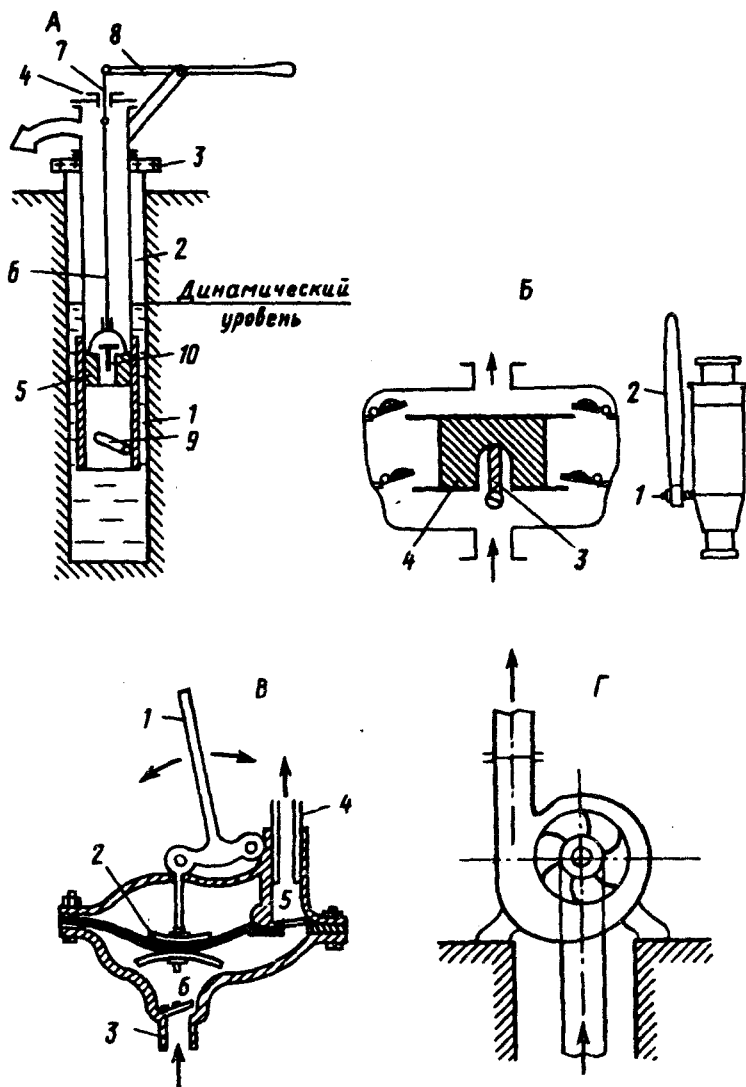
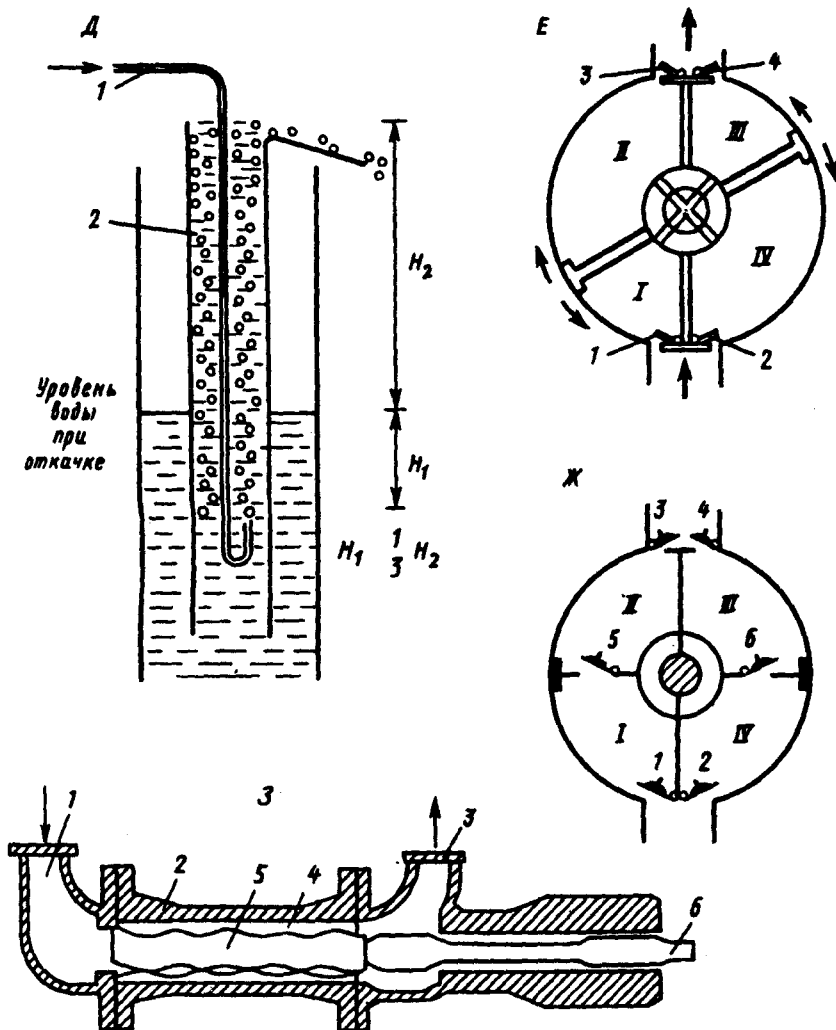


Рис. 4. Насосы

выработок являются: относительная кратковременность работ, потребность в легких насосах и системах, пригодность насосов для откачивания разных вод (агрессивных, минерализованных, рассолов, содержащих песок, и др.). Для этих целей применяют насосы различных типов и систем. Кроме этого насосы широко используются и при проходке скважин для их промывки и для эксплуатационных целей — добычи подземных вод, рассолов и др.



Поэтому ниже будут рассмотрены принципиальные схемы разных типов насосов с указанием областей их применения.

Конструкции насосов разнообразны, как и принципы их действия (рис. 4).

Штанговый насос простого действия (А) состоит из цилиндра с всасывающим клапаном в нижней части и помещенного на штангах поршня, также имеющего клапан. При подъеме поршня вода через всасывающий клапан поступает в цилиндр, при опускании

всасывающий клапан закрывается и вода через нагнетательный клапан в поршне заполняет свободное пространство над поршнем. При подъеме поршня вода, находящаяся над ним, поднимается по нагнетательной трубе и изливается через выпускное отверстие. Насосы этого типа бывают ручные и механические, они используются для откачки чистой и загрязненной воды.

Горизонтальный поршневой насос двойного действия (Б). В его корпусе находятся всасывающее и нагнетательное отверстия, которые соединяются с соответствующими шлангами или трубами, располагается цилиндр с поршнем, шток которого выходит из корпуса насоса и посредством специального механизма соединяется с двигателем. Таким образом, в корпусе образуются три полости, соединенные между собой двумя парами клапанов — всасывающих и нагнетательных (см. рис. 4). При движении поршня вправо в левой части цилиндра образуется вакуум, который компенсируется открытием левого всасывающего клапана и поступлением через него воды из нижней полости корпуса и всасывающей трубы. Одновременно открывается правый нагнетательный клапан и вода, находящаяся в правой части цилиндра, выдавливается поршнем в верхнюю полость и поступает в нагнетательную трубу. При движении поршня назад, влево происходят аналогичные действия, но при этом открываются правый всасывающий и левый нагнетательный клапаны. Таким образом, при каждом движении поршня происходит и всасывание и нагнетание воды.

Во многих поршневых насосах вместо обычного поршня устанавливают плунжер (скалку), который имеет форму стакана с толстым дном и уплотнительные сальники. Обычно поршневые насосы бывают сдвоенными: состоят из двух цилиндров, смонтированных на общей раме и работающих попеременно (в одном происходит всасывание, в другом в это же время — нагнетание). Плунжерные насосы пригодны для перекачивания и загрязненной воды.

Сдвоенные поршневые насосы используются при промывке скважин, обеспечивая при довольно большой производительности (до 200 л/мин) необходимое для этих целей высокое давление до $(4-5)10^6$ Па.

Диафрагмовый насос (В) состоит из округлой коробки, разделенной на две части эластичной диафрагмой (кожаной или резиновой). Диафрагма соединена со стержнем, конец которого выходит из корпуса насоса и прикреплен либо к рукоятке, либо к механическому приводу. Движение стержня обеспечивает подъем и опускание диафрагмы: при подъеме под ней увеличивается объем и жидкость под действием атмосферного давления проходит через всасывающий клапан; при опускании диафрагмы поступившая в корпус жидкость вытесняется через нагнетательный клапан в нагнетательную трубу. Благодаря отсутствию

трущихся частей насос может откачивать воду со значительным содержанием песка. Диафрагмовые насосы бывают ручные и с механическим приводом, применяются при проходке неглубоких шурфов, канав и др.

Крыльчатый насос (Е) представляет собой небольшой цилиндр, внутри которого расположены неподвижная вертикальная перегородка и подвижные крылья, способные поворачиваться на оси в одну и другую стороны. Таким образом, внутренний объем цилиндра разделен на четыре камеры (I, II, III, IV); противоположные соединены отверстиями, проходящими через металлическую ось насоса. Внизу имеется два всасывающих клапана, сверху — два нагнетательных. При повороте крыльев, например, по часовой стрелке, вода всасывается в I и III камеры вследствие увеличения их объема и выталкивается из II и IV. При повороте крыльев в обратную сторону вода выталкивается из наполнившихся I и III камер и всасывается во II и IV. В насосе одновременно работают все четыре камеры, поэтому он называется насосом четверного действия.

Известна и другая модификация крыльчатых насосов — двойного действия. В них камеры соединены попарно посредством клапанов, расположенных в крыльях. Поэтому схема действия насоса иная. При повороте крыльев по часовой стрелке вода всасывается в I камеру, выталкивается из II; а в правой части происходит лишь перемещение воды из IV камеры в III. При повороте крыльев в обратную сторону работают III и IV камеры, а в другой половине насоса вода перемещается из нижней (I) камеры в верхнюю (II).

Производительность крыльчатых насосов невелика — 20–40 л/мин. Они предназначены для откачки чистой воды без примеси песка.

Центробежный насос (Г) по конструкции напоминает вентилятор и представляет собой цилиндр, внутри которого помещается ось с насаженными на нее лопатками. При вращении этого рабочего колеса насоса, соединенного с электромотором, находящаяся в насосе жидкость центробежными силами отбрасывается к периферии и выталкивается в напорную трубу. Благодаря этому создается пониженное давление вблизи оси рабочего колеса, куда под действием атмосферного давления через всасывающий трубопровод поступает жидкость. В силу того что действие центробежной силы непрерывно, подача воды тоже происходит непрерывно, без толчков, как в поршневых насосах. Для повышения давления центробежные насосы выполняют с несколькими последовательно расположенными колесами (ступенями). Такие насосы называются многоступенчатыми или многотурбинными. Давление в зависимости от конструкции может достигать $(1-2)10^6$ Па и

более. Центробежные насосы широко используют для водоотлива при эксплуатационных и гидрогеологических работах.

Винтовой насос (3). В цилиндрической рабочей камере насоса расположен резиновый статор, в котором вращается ротор, имеющий форму однозаходной спирали. При этом между ротором и статором образуются свободные полости, куда засасывается перекачиваемая вода, перемещаемая далее к полости нагнетания. Во всасывающей части насоса образуется область пониженного давления, что обеспечивает всасывание воды. Насосы такой конструкции могут перекачивать не только чистую, но и загрязненную воду, характеризуются достаточно высокой производительностью.

Гидроэлеваторная установка служит для подъема воды с использованием напора, создаваемого другим насосом. Принцип работы гидроэлеватора состоит в следующем. Подающаяся под давлением вода в виде мощной струи выходит из сопла со скоростью 30–60 м/с, в результате чего во всасывающей трубе ниже сопла создается область пониженного давления, обеспечивающая подъем воды. В смесителе вода смешивается с водой, поступающей из сопла, смесь проходит через обратный конус и диффузор в нагнетательный трубопровод. Гидроэлеваторные установки просты, надежны, могут работать с загрязненной водой.

Насос эрлифт (Д) — устройство, обеспечивающее подъем жидкости или гидросмеси сжатым воздухом. Насос представляет собой конструкцию из двух труб, опущенных в жидкость. По трубе малого диаметра подается сжатый воздух, благодаря чему внутри насосной трубы образуется смесь жидкости и пузырьков воздуха. Этот столб смеси, более легкий, чем жидкость вне трубы, поднимается (по закону сообщающихся сосудов) вверх, где изливается из отверстия. Насос может подавать жидкость любой степени загрязнения. Глубина погружения насоса в жидкость должна составлять не менее половины высоты напора. Эрлифт применяется для откачки воды из горных выработок, затопленных шахт, при откачивании нефти из скважин и др.

Крепление выработок

Для обеспечения устойчивости горных выработок, безопасного ведения горнопроходческих работ и возможности использования выработок в течение продолжительного времени производится их крепление. Не крепятся только выработки, пройденные в особо прочных породах. Конструкции и способы крепи горных выработок зависят от типа и их назначения, формы и размеров поперечного сечения, величины горного давления, крепости пород, срока службы крепи. Для крепления горных выработок используют различные материалы: дерево, металл, бетон, железобетон,

камень и др. Различают постоянную крепь, установленную на весь срок использования выработки, и временную, применяемую для поддержания выработки до возведения постоянной.

Основные способы крепления разведочных выработок целесообразно рассмотреть на примере наиболее распространенных случаев крепления канав, шурфов, разведочных шахт и подземных горизонтальных выработок.

Крепление разведочных канав в основном не производится: сразу после проходки они документируются, опробуются и засыпаются. Однако в тех случаях, когда канавы проходят в сыпучих породах (песках, галечниках) или при необходимости сохранения выработки на более длительный срок, стенки канавы приходится закреплять. В зависимости от устойчивости пород, глубины канавы применяется крепление трех видов: 1) распорная крепь, используемая при устойчивых, но сильно трещиноватых породах; 2) крепление вразбежку путем укладки вдоль стенок отдельных досок или горбылей, расклиненных распорками (иногда доски устанавливаются вертикально); 3) сплошное крепление из уложенных вдоль стенок досок, прижатых к стенкам распорными рамами. Вместо деревянных иногда применяют металлические каркасные рамы.

При проходке мощных наносов канавы часто проходят с бермами (закраинами) шириной 0,15–0,20 м, которые предохраняют дно от осыпания пород со стенок.

Крепление шурфов. Разведочные шурфы прямоугольного сечения в большинстве случаев крепятся деревом. Основным элементом деревянного крепления является венец — прямоугольная рама, изготовленная из круглого леса, брусьев или пластин. Различают основные (опорные) и промежуточные (нормальные) венцы. Основные венцы со стороны коротких брусьев имеют выступы — пальцы длиной 0,3–0,8 м, которые заводятся в лунки — углубления в стенках шурфа. Таким образом, опорные венцы закрепляются в стенках шурфа и могут держать на себе звенья крепи, составленные из промежуточных венцов.

Обычно на устье шурфа укладывается первый венец — направляющая рама, имеющая пальцы со всех четырех сторон. Рама служит шаблоном, по которому направляется проходка шурфа, на ней устанавливают ручной вороток или лебедку для спуска и подъема людей и пород.

В зависимости от устойчивости пород используют различные виды крепления: 1) сплошное (на пальцах и подвесное); 2) несплошное (на бабках, венцами и распорами без бабок); 3) забивное (вертикальное и наклонное) (рис. 5).

Различные виды крепления выработок для геолога имеют особое значение. От того как ведется крепление выработки зависят особенности ее документации: когда и как геолог может проводить

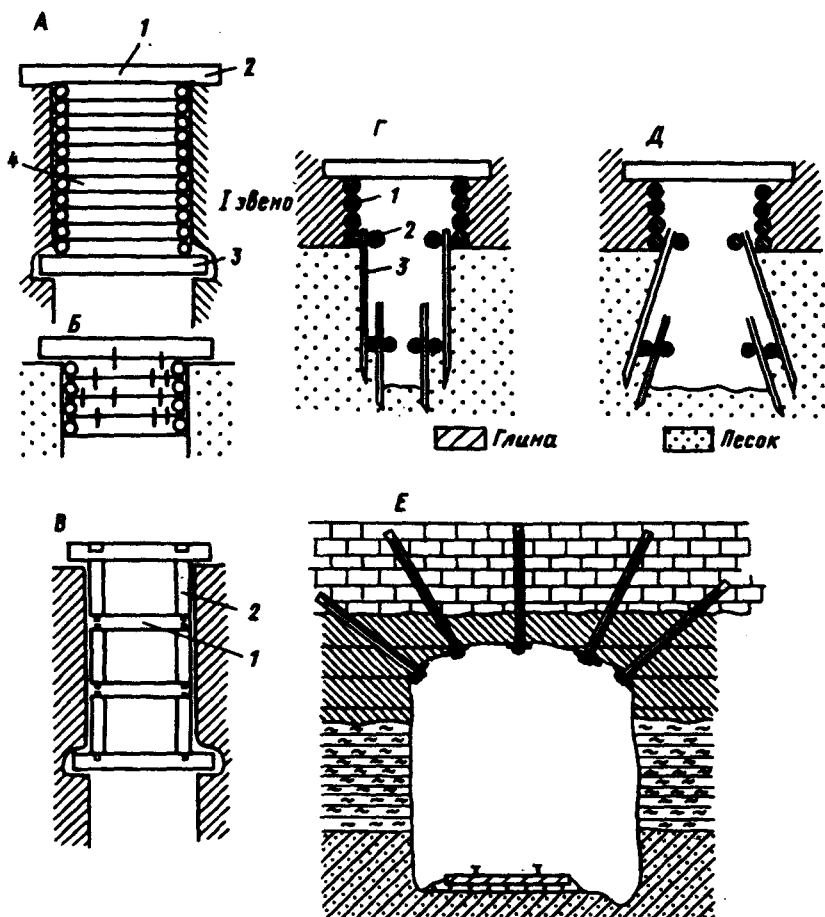


Рис. 5. Способы крепления горных выработок. А — сплошное крепление на пальцах; Б — сплошное подвесное крепление шурфа; В — крепление на бабках; Г, Д — забивное крепление с вертикальной и наклонной забивкой крепи; Е — штанговое крепление штольни

наблюдения, каким способом отбирать материал для образцов и проб, может ли рассчитывать на повторные наблюдения.

Сплошное венцовое крепление на пальцах применяется в тех случаях, когда породы достаточно устойчивы и позволяют углубить шурф на 1,5–2,0 м без немедленного осыпания. В этом случае после проходки указанного интервала в углах шурфа делают лунки, в которые и заводят пальцы опорного венца. На него снизу вверх укладывают один за другим обычные венцы до направляющей рамы или до предшествующего опорного венца. Элемент крепи между опорными венцами, состоящий из нескольких обычных венцов,

лежащих на основном, называется звеном. При креплении шурфов указанным способом в каждом звене укладка венцовой крепи ведется снизу вверх. Такой способ дает возможность геологу спускаться в шурф перед укладкой очередного звена и проводить документацию еще не закрепленного участка шурфа. После установки сплошного крепления стенки шурфа практически навсегда становятся недоступными для наблюдения и опробования.

Сплошное венцовое крепление подвесное используют при проходке неустойчивых, осыпающихся пород, когда приходится закреплять стенки почти одновременно с углублением шурфа. Подвесное крепление ведется сверху вниз: по мере углубления на 0,2–0,3 м наращивается очередной венец, который на железных скобах подвешивается к предыдущему. Самым верхним венцом подвесного звена является или направляющая рама (если эта крепь устанавливается прямо от устья) или опорный венец верхнего звена (если сыпучие неустойчивые породы вскрыты на более глубоком интервале). Таким образом, крепь является висячей: она подвешена к опорному венцу, поддерживается скобами и силами трения венцов о породы стенок.

Подвесное крепление исключает возможность последовательной документации стенок шурфа. Поэтому геолог ограничивается тем, что изредка спускается в шурф, чтобы осмотреть доступный наблюдению участок, а образцы и пробы приходится отбирать из того материала, который подается в бадьях на поверхность по мере проходки. При вскрытии шурфом особо важных с геологической точки зрения пород геологу следует непрерывно наблюдать за проходкой.

Несплошное крепление венцами на бабках ведется снизу вверх в достаточно устойчивых породах — плотных глинах, песчаниках, известняках и т.д. После проходки интервала 2–5 м в забое укладывается основной венец на пальцах. Затем на него в углах шурфа ставят (укрепляя их “в шип”) четыре стойки (бабки) высотой 0,7–1 м, на которые кладут обычный венец. На него ставят очередные стойки, кладут очередной венец и повторяют эти операции до конца звена. Таким образом, венцовая крепь представляет собой установленные вразбежку венцы, между которыми стенки шурфа остаются незакрепленными. Если встречаются отдельные участки неустойчивых (например, трещиноватых) пород, то они закрепляются досками или горбылем с внешней или внутренней стороны установленной венцовой крепи.

Такой способ крепления не препятствует документации, и геолог может выполнять ее даже после установки крепи.

Несплошное крепление венцами и распорами без бабок используют при проходке неглубоких шурфов в устойчивых породах. В этих случаях отдельные участки шурфа закрывают досками или горбылями, прижав их к стенкам простыми венцами. Последние

размещают один от другого на расстоянии 0,6–1 м. Для придания крепи соответствующей прочности размеры венцов выдерживаются строго по величине сечения и в случае необходимости венцы укрепляются клиньями.

Иногда при проходке шурфов используют металлическое каркасное крепление, в котором металлический каркас (в виде венцов, соединенных стойками) закрепляет и удерживает расположенные вдоль стенок “затяжки” из досок и горбылей.

Забивное крепление. При проходке водонасыщенных песков — плывунов или сыпучих, подвижных песчано-гравийных и песчаных грунтов применяют опережающее крепление, когда элементы крепи продвигаются впереди забоя, препятствуя постоянному осыпанию стенок и непрерывному поступлению в забой подвижного грунта. Одной из разновидностей опережающего крепления является забивное (см. рис. 5). Оно осуществляется следующим образом. В устойчивых породах, перекрывающих плывун, когда он еще не вскрыт забоем, устанавливается основной опорный венец. Внутри этого венца кладут на забой и подвешивают на скобах внутренний венец меньшего сечения. В зазоре между внешними и внутренними венцами по всему периметру шурфа забивают плотно сомкнутые одна с другой доски с заостренными концами, так называемые пали длиной 1–1,5 м, шириной 15–20 см. Пали образуют своеобразные щиты; по мере их забивания производится выемка породы в забое, но так, чтобы концы палей постоянно на 0,2–0,3 м опережали углубление забоя. После того как пали забиты на всю их длину, в забой шурфа вновь кладут внешний венец, прикрепляя его к палям, внутри его помещают внутренний венец и начинают забивать очередной интервал палей — второе звено забивной крепи. Звенья забивной крепи наращиваются одно за другим до тех пор, пока не будет пройден весь пласт водоносных или сыпучих пород. Если пали забиваются вертикально, то с каждым звеном уменьшается сечение шурфа. При необходимости избежать сокращения сечения пали забивают наклонно — под некоторым углом в сторону от шурфа. Иногда для придания крепи большей устойчивости и надежности после установки наклонной забивной крепи, данный интервал закрепляется еще сплошной венцовой крепью по внутренним венцам. Иногда при забивном креплении используются металлические или деревянные щиты.

Использование забивной крепи, как видно, полностью исключает возможность документации выработки в привычном понимании осмотром стенок. Документация в данном случае сводится к наблюдению за поступающими на поверхность породами и их сменой.

Следует отметить, что и другие вертикальные горные выработки, по масштабу соизмеримые с шурфами (гезенки и восстающие), крепятся теми же способами, что и шурфы.

Помимо перечисленных способов крепления шурфов следует упомянуть о ледяном креплении, которое применяется при проходке выработок на проморозку, что было отмечено выше.

В тех случаях, когда проходят шурфы круглого сечения — дудки — их крепят обычно звеньями, состоящими из металлического каркаса в виде железных колец с укрепленными на нем досками, расположенными вдоль оси шурфа. Дощатая часть звена может быть сплошной или несплошной в зависимости от конкретных условий. Звенья крепи (длина которых 3–3,5 м) опускаются в шурф при помощи специально установленного над устьем шурфа копра и лебедки. Каждое последующее звено крепи имеет меньший диаметр, поэтому обычно глубина дудок не превышает 10–15 м. Шурфы такой глубины проходят с тремя звеньями крепи длиной 4–4,5 м и диаметрами колец 1,2; 1,0; 0,8 м. После проходки и документации дудок при их ликвидации каркасную крепь извлекают для повторного использования.

Крепление стволов разведочных шахт. Обычно при проходке разведочных шахт, когда применяется деревянная крепь, используют три вида крепи: сплошную венцовую (иногда подвесного типа), венцовую на бабках с затяжкой стенок, а также забивную. В отличие от шурфов ствол шахты делится на два отделения: подъемное и лестничное. Каждое отделение закрепляется по углам продольными вертикальными брусками — вандрутами, между которыми через 0,5–0,6 м закрепляют поперечные распорки — расстрелы. Лестничное отделение оборудуется лестницами, длина каждого звена которых 2–3 м, между звеньями устраиваются полки.

В сложных условиях проходки и при необходимости длительно-го использования ствола шахты применяют каменное, бетонное и железобетонное крепление. Звенья крепи высотой 10–60 м сооружаются снизу вверх, образуя сплошной цилиндр. В этих случаях стволы шахт имеют круглое или эллипсовидное сечение. В последние годы для крепления стволов шахт используют сборный железобетон в виде тюбингов и колец.

Горизонтальные выработки, пройденные в устойчивых породах, обычно не крепятся, им для большей устойчивости кровли придают сводообразную форму.

При использовании деревянной крепи горизонтальные выработки крепятся полными или неполными дверными окладами. Полным дверным окладом называется элемент крепи, состоящий из двух стоек и двух переключков (верхнего и нижнего); в неполном дверном окладе отсутствует нижний переключок. Полные дверные оклады используют в тех случаях, когда возможно выпучивание почвы выработок.

В зависимости от величины давления горных пород и их устойчивости дверные оклады устанавливаются либо вплотную один

к другому, образуя сплошную крепь, либо на расстоянии друг от друга от 0,5–2,0 м, — такая крепь называется “вразбежку”. В последнем случае иногда применяют затяжку стенок и кровли досками или горбылями.

В условиях высокого горного давления и для продления срока службы выработок применяют металлическое каркасное крепление. Элементы его представляют собой металлические сборные полные или неполные дверные оклады трапециевидной, как и деревянные, или арочной сводчатой формы. Рамы арочной крепи устанавливаются вразбежку на расстояниях 0,6–1,2 м.

Иногда в устойчивых породах возникает необходимость закрепления только кровли выработки. Для этих целей часто используют штанговую (анкерную) крепь (см. рис. 5). Суть ее состоит в том, что породы кровли крепятся с помощью металлических штанг длиной 0,7–3 м, вставленных и заклиненных в специально пробуренных шпурах. Выступающие из кровли концы штанг представляют собой болты, стягивающие кровлю. Иногда на таких болтах укрепляются металлические верхняки. Нередко используются железобетонные штанги: для этого в шпур вставляется арматурный стержень и нагнетается вязкий быстротвердеющий цемент.

В ряде случаев при проходке выработок в скальных крепких и средней крепости породах для создания плотных покрытий, уплотняющих трещиноватые породы, предупреждающие отслаивание, для создания гидроизоляционных и антикоррозийных покрытий в качестве временной и постоянной крепи используется торкрет-бетон. Это материал, образующийся в результате нанесения на стенки и кровлю выработки с помощью сжатого воздуха раствора из смеси цемента, мелких фракций заполнителей (до 8 мм) и воды. Используемые цементные растворы характеризуются повышенной прочностью схватывания с поверхностью породы и скоростью твердения, для чего используют добавки — ускорители твердения бетона. Торкрет-бетон наносится с помощью специальных машин.

Иногда для создания несущих конструкций в сочетании с анкерной или металлической арочной крепью используется набрызг-бетон — материал из цемента, крупных заполнителей (до 25 мм) с повышенными прочностными характеристиками. Как и торкрет-, набрызг-бетон наносится специальными машинами с помощью сжатого воздуха.

Как видно из этого краткого обзора, применение того или иного способа крепления выработок ставит перед геологом задачу правильного и своевременного ведения документации. Особые сложности и необходимость оперативной документации возникают при проходке неустойчивых пород, а именно такие условия характерны для рудоносных зон многих видов полезных ископаемых. Во всяком случае, самые интересные и важные для геолога

участки подземных горных выработок часто требуют применения сплошной крепи. Поэтому непрерывное наблюдение за проходкой горных выработок является насущной необходимостью для геолога, ведущего документацию.

ПРОХОДКА И ДОКУМЕНТАЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Проходка и документация канав. Как уже отмечалось, проходка поверхностных горных выработок, достойными представителями которых по распространенности при съемочных, поисковых и разведочных работах являются канавы, может осуществляться различными способами. Не останавливаясь подробно на характеристике каждого из них, ограничимся указаниями ведущих.

1. Механическая проходка канав производится с использованием специальной землеройной техники: экскаваторов различного типа, скреперов, бульдозеров и др. Чаще всего технические средства дают возможность лишь пройти рыхлые породы и только вскрыть коренные. Однако нередко возникает необходимость углубить канаву на 0,5–1,0 м в коренные породы для вскрытия более свежих разностей, улучшения условий отбора проб и т.д. Для этих целей используются буровзрывные работы.

2. И в настоящее время канавы часто проходятся вручную. Правда, при этом всегда используются имеющиеся средства механизации — воротки и транспортеры для подъема пород из глубоких канав, шурфопроходческие краны и др. Нередко применяются и взрывные способы проходки канав: неглубокие шпуры располагаются на близких расстояниях (0,5–1,0 м), после взрыва значительная часть породы выбрасывается из канавы, а окончательная расчистка ее производится вручную. Как указывалось выше, нередко при проходке канав используются гидравлические способы.

Документация канавы, как и любой другой выработки, включает два переменных компонента: зарисовку выработки и подробное ее описание. Как правило, документация канав ведется в специальном журнале. Единой формы таких журналов нет, в каждой геологической организации, ведущей подобные работы, вырабатываются свои требования к документации. Тем не менее есть общие правила и приемы, которые необходимо соблюдать и использовать.

Документация канавы должна содержать достаточно подробную информацию технического характера. Прежде всего в журнале указывается привязка канавы, которой присваивается порядковый номер. Несмотря на то что в подавляющем большинстве случаев канавы имеют инструментальную привязку, в журнале обязательно должен быть указан адрес: краткие сведения о месте расположения выработки. Выбирается начальная точка канавы —

тот ее конец, от которого удобно вести описание (например, если канавой вскрыт фрагмент геологического разреза, целесообразнее описывать его снизу вверх). От выбранной начальной точки компасом определяется азимут направления канавы. Замеряют длину канавы; в том месте, где она меняет направление, определяют точку поворота, ее расстояние от начальной точки, азимут направления следующего участка канавы и протяженность этого участка. Все эти сведения заносятся в журнал, где указывается также ширина дна канавы, ширина ее по верху, глубина (на отдельных интервалах, поскольку обычно она меняется). Глубина канавы замеряется по рыхлым породам и по коренным, а также замеряется угол откоса стенок. В ряде случаев целесообразно в журнале вычертить, соблюдая определенный масштаб, профиль поперечного сечения канавы. Все эти сведения необходимы для подсчета объемов выполненной работы, составления нарядов и других документов, что входит в обязанности геолога.

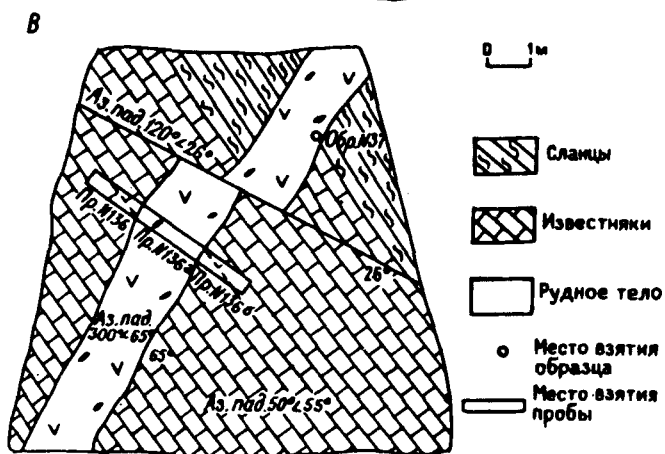
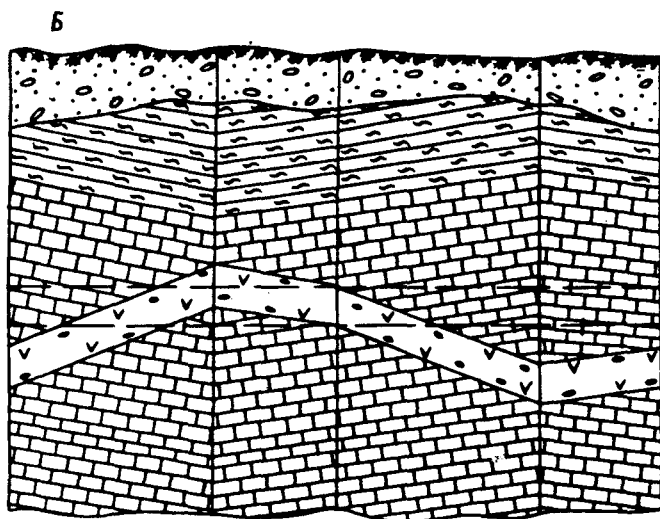
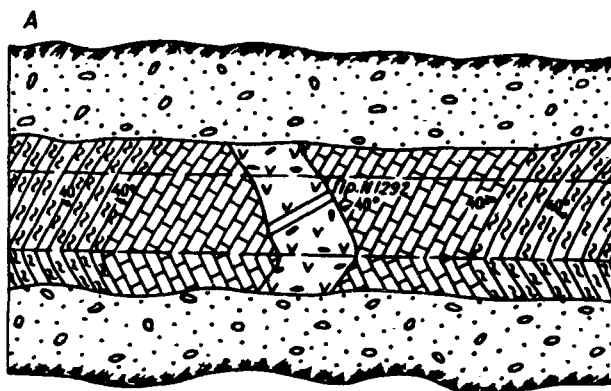
После этой технической части выполняется собственно геологическая документация. Основой ее является план дна канавы (рис. 6). Он вычерчивается в соответствующем масштабе (обычно 1 : 50 — 1 : 200) и обязательно должен быть ориентирован. На план наносятся начальная и конечная точки и в принятых условных знаках изображаются вскрытые породы, все другие элементы: тектонические нарушения, трещины, рудные тела и др. Обычно составление плана и подробное описание пород, их взаимоотношений ведут поинтервально, двигаясь от начальной точки и отмечая по натянутой вдоль центральной линии канавы рулетке положение контактов пород, тектонических нарушений и т.д. Описание пород сопровождается замерами элементов залегания, отбором образцов и различных проб. Места, в которых произведены замеры, взяты образцы и пробы, обязательно указываются на плане.

В тех случаях, когда канавой вскрыта достаточно сложная или особо важная и интересная ситуация, производится зарисовка одной или обеих стенок канавы. Эти зарисовки выполняются в том же масштабе, что и план и располагаются вдоль плана дна, образуя своего рода полную развертку выработки. Графическую документацию выработки рекомендуется сопровождать более крупномасштабными детальными зарисовками наиболее важных и сложных участков.

Проводя документацию канав, как и любых других выработок, необходимо стремиться к максимально полному и всестороннему описанию наблюдаемой ситуации. Возможность повторных наблюдений часто ограничена: поверхностные выработки ликвидируются (засыпаются), подземные иногда крепятся сплошным креплением, поэтому то, что упущено при первичной документации нередко невосполнимо.

Рис. 6. Документация горных выработок.

Зарисовки: А — канавы; Б — шурфа; В — забоя штольни



Проходка и документация шурфов. Проходка шурфов представляет собой более сложный процесс, чем проходка канав и требует более высокой квалификации проходчиков. Весь процесс состоит из последовательно выполняемых операций: 1) собственно проходки (углубка) шурфа; 2) подъем разрушенных и отделенных от забоя пород; 3) крепление ствола шурфа; 4) вентиляция; 5) водоотлив. Последние из указанных операций в основном рассмотрены выше. Что касается собственно проходки, то она осуществляется либо вручную, либо с применением буровзрывных работ. Кроме того, используются и особые приемы, которые кратко охарактеризованы выше: проходка мерзлых пород, проходка плывунов на проморозку и др.

Подъем породы из шурфов (с глубины более 2 м) производится либо с помощью перекидных полков (при глубине шурфа 4–5 м породы с забоя перекидываются на промежуточный полук, а затем с него выбрасываются на поверхность), либо чаще в бадьях на воротке или лебедкой. Наиболее полная механизация работ достигается при использовании шурфопроходческих комплексов, включающих подъемный кран, малогабаритные погрузчики, принудительную вентиляцию и т.д.

Документация шурфов. Основные требования к документации шурфов аналогичны тем, которые указаны для канав. В журнале документации приводятся основные технические сведения: номер шурфа, привязка на местности, время проходки, размеры сечения, ориентировка (азимут) стенок. Для удобства документации углы шурфа обозначают буквами (АВСД). Графическая часть документации включает зарисовку всех стенок шурфа и забоя, выполненную в виде полной развертки с обозначением соответствующих углов. Зарисовка выполняется в детальном масштабе (1 : 50 — 1 : 100) с использованием принятых условных обозначений. На чертеже указываются места отбора проб, образцов с обозначением их номеров, ориентировки и т.д. (см. рис. 6). В журнале приводится подробное описание вскрытых пород, характеристика контактов, тектонических нарушений, всех наблюдаемых особенностей взаимоотношений пород, элементов залегания и др. Особого внимания заслуживают вскрытые выработками рудные тела, зоны окolorудных пород, которые описываются и опробуются с особой тщательностью. Все описание, вся документация шурфов ведется сверху вниз, интервалы отмечаются по одному из углов. В тех случаях, когда вскрывается сложная геологическая ситуация, следует описывать каждую стенку в отдельности.

По более простой схеме ведется документация неглубоких картировочных шурфов, основной целью которых является вскрытие коренных пород. В этом случае можно ограничиться зарисовкой одной стенки и дна шурфа.

Документация подземных вертикальных выработок (восстающих и гезенков) также выполняется в виде полной развертки стенок.

Документация горизонтальных подземных выработок. Все основные операции, выполняемые при проходке горизонтальных выработок, кратко охарактеризованы выше: производство буровзрывных работ, откатка и подъем породы, крепление выработок, вентиляция и освещение.

Документация горизонтальных выработок более сложна, чем канав и шурфов. В данном случае она выполняется с использованием детальных маркшейдерских планов с инструментальной привязкой серии пикетов и отдельных, наиболее важных элементов. В зависимости от особенностей и масштабов месторождения, сложности геологической ситуации, конкретных задач, решаемых проходкой данной выработки или группы выработок, масштаб документации может быть различным: от 1 : 50 до 1 : 500; геологические погоризонтные планы, представляющие собой увязку всех выработок, пройденных на определенном горизонте, геологические разрезы составляются в масштабах от 1 : 100 до 1 : 2000.

Первичная документация горизонтальных выработок выполняется в виде зарисовок кровли и стенок с соблюдением выбранного масштаба с обязательными замерами расположения всех наблюдаемых элементов от маркшейдерских пикетов, нанесенных на план. Особенностью документации, несколько усложняющей работу, является необходимость изображения кровли в проекции "вид сверху". Также рекомендуется изображать и зарисовки стенок — этот способ наиболее удобен для последующего составления погоризонтных планов. С особой тщательностью и повышенной точностью на графическую документацию наносятся места отбора проб, их положение и ориентировка. Эти данные служат основой оконтуривания рудных тел, определения параметров для подсчета запасов. Помимо зарисовок кровли и стенок и обязательного подробного описания пород, их взаимоотношений, элементов залегания и других, в процессе проходки горных выработок, в особенности штреков, производится документация забоев. В месторождениях, характеризующихся сложным строением, документируются и опробуются забои после каждой отпалки, т.е. через каждые 3–5 м (см. рис. 6).

Графическая часть документации помимо зарисовки несет на себе исчерпывающую цифровую информацию: на ней обозначены интервалы расстояний, номера маркшейдерских пикетов, элементы залегания пород, тектонических поверхностей и другие параметры, номера и положение отобранных проб и образцов. Нередко на документацию выносятся и результаты анализов проб в виде значений концентраций основных элементов.

Глава 2. БУРЕНИЕ СКВАЖИН

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БУРОВЫХ РАБОТАХ

Буровые скважины представляют собой цилиндрические выработки, имеющие вертикальную, наклонную или горизонтальную ориентировку. Диаметры скважин колеблются от 26 до 1000–1500 мм; известны случаи проходки буровым способом шахтных стволов диаметром от 2 до 8 м. Глубина скважин разнообразна: от первых метров до нескольких километров. В настоящее время бурятся сверхглубокие скважины глубиной до 15 км, имеются технические возможности проходить скважины глубиной до 25 км.

Скважины можно бурить в разнообразных, практически в любых условиях: с поверхности земли, из подземных выработок, с плавучих и стационарных буровых установок в море, во льдах и др. Буровые работы проведены на Луне и Венере.

Бурение скважин применяется для решения широкого круга вопросов, по назначению скважины можно подразделить на несколько групп: 1) картировочные и структурные, которые проходят в процессе геологической съемки; 2) поисковые, используемые при детальных поисках глубокозалегающих месторождений; 3) разведочные, которые проходят практически на всех стадиях разведки; 4) эксплуатационные, для добычи жидких и газообразных полезных ископаемых, а также для отработки месторождений методами подземного выщелачивания; 5) глубинные, для изучения глубоких горизонтов земной коры; 6) гидрогеологические, предназначенные для изучения подземных вод; 7) инженерно-геологические, с помощью которых проводятся исследования грунтов перед строительством различных сооружений; 8) вспомогательные, или технические, скважины различного назначения: водопонижающие, для уменьшения притока подземных вод в разведочные и эксплуатационные горные выработки; замораживающие, для замораживания неустойчивых водонасыщенных пород при проходке подземных выработок; вентиляционные; взрывные, при открытой и подземной разработке и др.; 9) скважины специального назначения: для подачи заливающего материала при тушении пожаров; для подачи закладочного материала в выработанное пространство; для проведения электрокабелей, водопроводов и других коммуникаций; для подачи воздуха и пищи при авариях в подземных выработках; для создания подземных газонетфехранилищ.

Бурение скважин включает три основных процесса: разрушение породы на забое, извлечение разрушенного материала на поверхность, закрепление стенок скважины.

По способам разрушения породы различают ударное, вращательное и ударно-вращательное бурение (рис. 7).

При ударном бурении горная порода разрушается посредством ударов по забою специальным буровым инструментом (долотами, буровыми стаканами и др.), подвешенным на канате (ударно-канатное бурение) или на штангах (ударно-штанговое бурение). Разрушенная порода удаляется из скважины специальным инструментом — желонкой.

Вращательное бурение подразделяется на бурение сплошным забоем (бескерновое) и кольцевым забоем (колонковое). Разрушение породы производится вращающимся инструментом путем резания, скалывания и истирания; при бурении сплошным забоем используют долота вращательного типа, при колонковом — коронки, армированные твердыми сплавами и алмазами. Вращение бурового снаряда может осуществляться с поверхности с помощью штанг и шпинделя или ротора; могут применяться и забойные двигатели. Разрушенная порода (шлам) выносится на поверхность промывочной жидкостью, сжатым воздухом или другими агентами; при бурении шнеком — транспортируется по виткам реборды; при бурении ложковыми и змеевиковыми бурями — поднимается из скважины вместе с инструментом.

Ударно-вращательное бурение представляет собой вид комбинированного бурения, при котором разрушение породы производится в результате вращения коронки на забое с одновременными частыми ударами, передающимися на коронку от пневмо- или гидроударника, помещенного выше колонкового бурового снаряда.

Вибробурение производится с помощью вибраторов обычно в мягких грунтах.

Кроме перечисленных способов разрушения пород специальными породоразрушающими инструментами используются различные физические методы: огневой, взрывной и др.

КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ

Основным способом бурения скважин при геологическом картировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях является колонковое бурение. Широкое применение этого способа обусловлено в первую очередь тем, что он предназначен для получения керна — цилиндрических столбиков ненарушенных пород практически непрерывно по всему разрезу, пересекаемому скважиной. КERN представляет собой незаменимый материал для составления геологических разрезов, изучения пород, залегающих на различных глубинах, опробования тел полезных ископаемых. Колонковые скважины можно бурить в различных направлениях, можно менять направление скважин в процессе бурения. Сква-

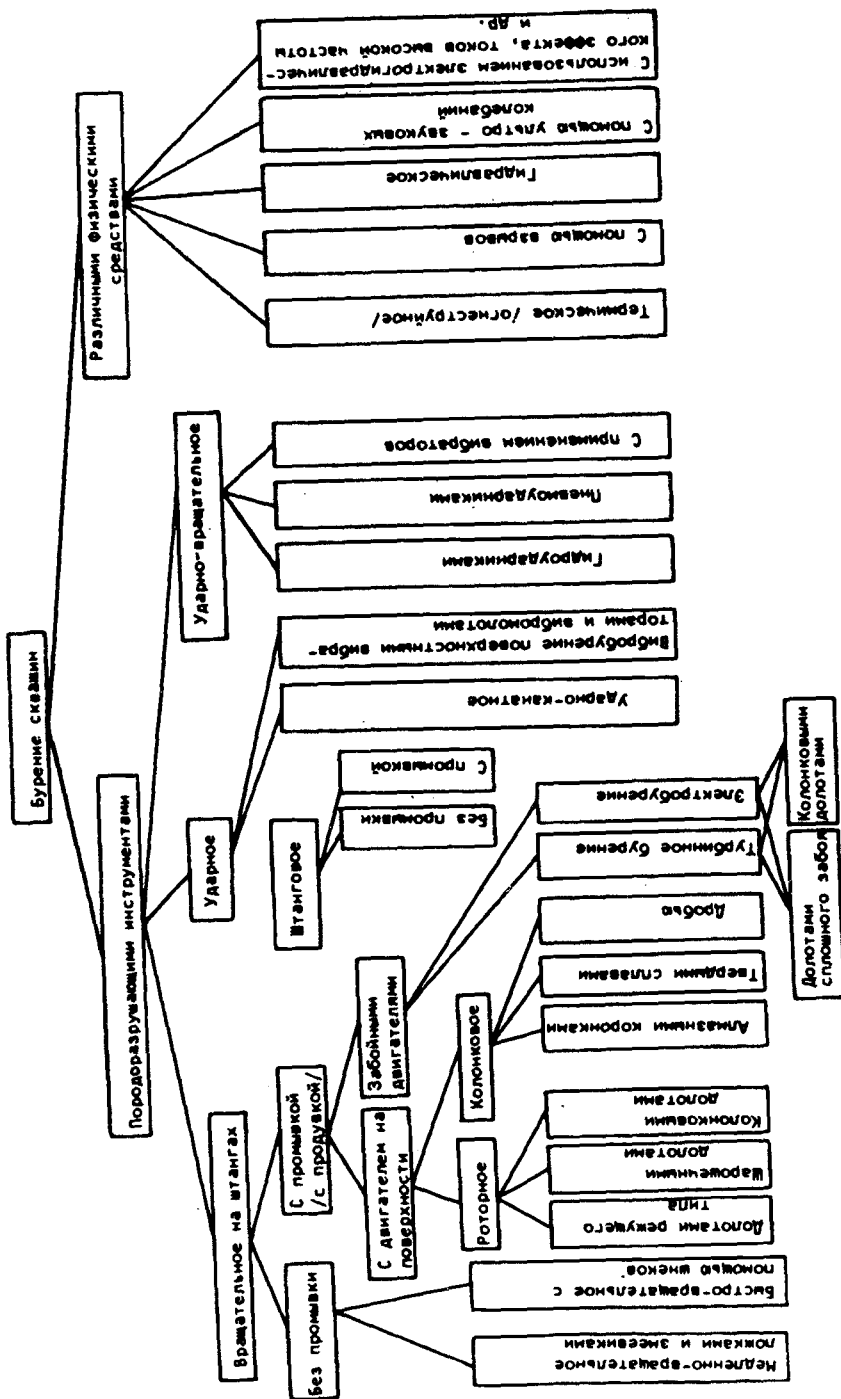


Рис. 7. Классификация способов бурения.

жины проходят в породах любой крепости на большую глубину с использованием относительно легкого оборудования.

Общая схема колонкового бурения выглядит следующим образом (рис. 8).

На месте бурения скважины, на специально оборудованной площадке устанавливаются: буровой станок, буровой насос, электродвигатели или двигатель внутреннего сгорания для привода станка и насоса, вышка или мачта. Выкапывается зумпф, оборудуется система желобов и отстойников для очистки бурового раствора от разбуренной породы (шлама).

При помощи лебедки в скважину опускается колонковый буровой снаряд, состоящий из коронки, колонковой трубы и переходника, позволяющего соединять колонковый снаряд с колонной бурильных труб, имеющих обычно несколько меньший диаметр. Между колонковой трубой и коронкой нередко помещается кернорвательное устройство или кернорватель, предназначенный для отрыва керна от забоя и удержания его в колонковой трубе при подъеме бурового снаряда на поверхность. Все детали бурового снаряда и звенья бурильных труб, соединяются друг с другом при помощи герметичных резьбовых узлов. Колонна бурильных труб (или штанг) завершается верхней ведущей трубой, пропущенной сквозь шпindel и закрепленной в нем при помощи зажимных патронов. Сверху на ведущей штанге закрепляется сальник-вертлюг, посредством которого вращающаяся при бурении колонна бурильных труб соединяется с нагнетательным шлангом бурового насоса.

Буровой станок приводит во вращение колонну бурильных труб и закрепленный на ней буровой снаряд и обеспечивает подачу инструмента на забой по мере углубления скважины, создавая определенное давление. Скорость вращения инструмента и давление регулируются в зависимости от физико-механических свойств пород, диаметра и типа буровой коронки, глубины скважины и других обстоятельств. Благодаря вращению коронки буровой снаряд внедряется в породу, выбуривая кольцевой забой. По мере углубления скважины ненарушенный столбик породы, остающийся в центре забоя, постепенно входит в колонковую трубу.

Для того чтобы обеспечить непрерывный процесс бурения, образующийся при разрушении пород шлам (мелкие частицы породы) выносятся промывочной жидкостью на поверхность. С этой целью производится промывка скважины путем закачивания в нее буровым насосом промывочной жидкости, которая, поднимаясь от забоя вместе со шламом, изливается на поверхность и по системе желобов и отстойников, очищенная от шлама, попадает в зумпф, откуда вновь всасывается насосом. Промывку скважины начинают обычно уже при спуске снаряда и ведут непрерывно в течение всего времени бурения. После того как колонковая труба

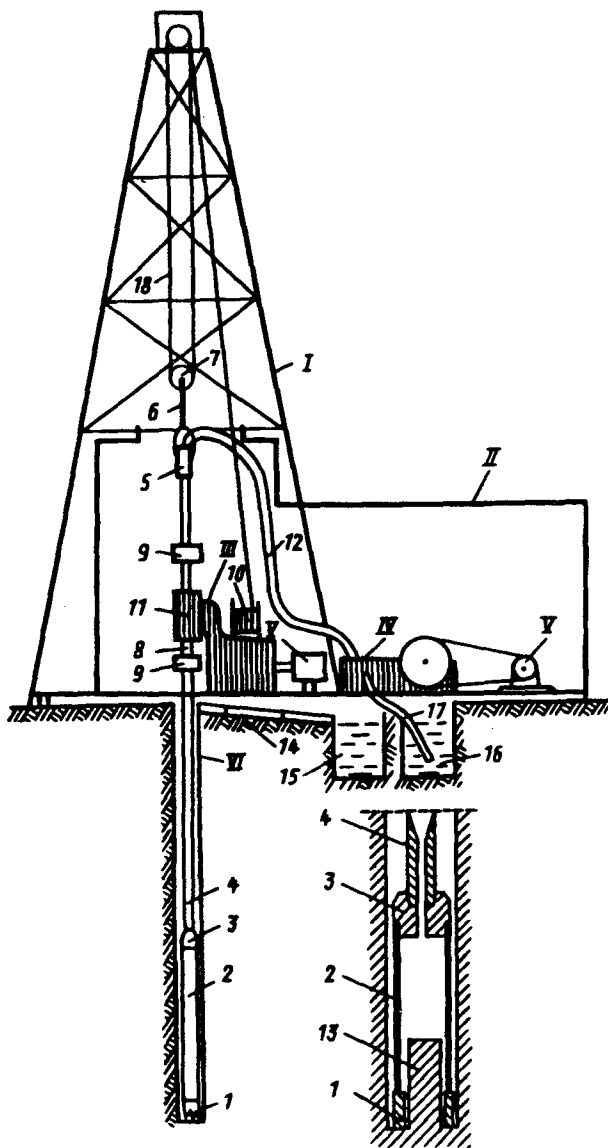


Рис. 8. Установка для колонкового бурения.

I — копер; II — откос; III — буровой станок; IV — насос; Y — электродвигатели; VI — направляющая труба; 1 — коронка, 2 — колонковая труба, 3 — переходник с колонковой трубы на колонну штанг, 4 — колонна штанг, 5 — вертлюг-сальник, 6 — крюк подъемный, 7 — талевой блок, 8 — шпиндель станка, 9 — патроны, зажимающие верх колонны штанг; 10 — подъемная лебедка, 11 — регулятор подачи станка, 12 — шланг нагнетательный, 13 — керн, 14 — отстойные желоба, 15 — отстойный бак, 16 — приемный бак, 17 — всасывающий рукав с хлупом, 18 — канат талевой

заполнится керном, бурение прекращается, керн заклинивается в колонковой трубе, прекращается работа насоса, и буровой снаряд при помощи лебедки поднимается на поверхность. Подъем осуществляется с использованием талевого каната, кронблока с крюком и элеватора, при этом колонна бурильных труб по мере ее подъема развинчивается на отдельные звенья — свечи, длина которых определяется высотой буровой вышки (мачты). После подъема бурового снаряда отвинчивается коронка, керн извлекается из колонковой трубы, очищается, оmyвается и укладывается в специальные керновые ящики. При этом тщательно следят, чтобы отдельные куски керна были уложены в том порядке, в каком они находились в колонковой трубе; очень важно также не перепутать “верх” и “низ” каждого куска керна. Уложенный в ящик керн измеряют и снабжают специальной биркой, на которой указывают глубину интервала, длину керна, дату извлечения и некоторые другие сведения.

После этого вновь собирают колонковый снаряд и опускают его в скважину постепенно наращивая свечу за свечой бурильные трубы, чтобы продолжить бурение следующего рейса.

При забурировании каждой новой скважины, после отбурки первых 5–10 м в скважину опускают обсадную трубу — кондуктор, которая закрепляет устье, фиксирует выбранное направление ствола и обеспечивает возможность проведения многочисленных спуско-подъемных операций. Разумеется, что после установки кондуктора скважину продолжают бурить инструментом меньшего диаметра.

После того как скважина выполнит геологическое задание — достигнет проектной глубины, пересечет тело полезного ископаемого, вскрыет необходимый пласт, контакт, и в ней будут произведены все предусмотренные измерения и наблюдения (замеры кривизны, температуры, уровня подземных вод и др.), — она подлежит ликвидации или консервации. Из скважины извлекают обсадные трубы и производят ликвидационное тампонирование.

Инструмент для колонкового бурения. Как было указано, набор инструментов для колонкового бурения — колонковый буровой снаряд состоит из коронки, колонковой трубы, переходника, соединяющегося с колонной бурильных труб.

Используемые в качестве породоразрушающего инструмента буровые коронки весьма разнообразны. Бурение рыхлых, слабо связанных пород можно производить стальными коронками, имеющими заостренные резцы. Для бурения более прочных, скальных пород используют коронки, в которые вставлены резцы из твердых сплавов. Коронки различного назначения отличаются конструкцией корпуса, формой резцов, их размещением, выходом и другими элементами. Для разрушения пород невысокой твердости используют острые резцы, а в твердых — близкие к

тупым по форме рабочей части. Эффективность работы коронки во многом зависит от угла приострения реза, угла резания и расположения резов относительно друг друга. Выход резов за наружную и внутреннюю поверхности корпуса коронки зависит от твердости пород и устойчивости стенок скважины. Чем тверже и устойчивее породы и чем меньше скорость углубления, тем меньше должны быть выпущены резцы за наружную и внутреннюю боковые поверхности. Известно, что ступенчатая форма забоя наиболее благоприятна для его разрушения, поэтому в ряде случаев используют коронки со ступенчатым расположением резов, образующих на забое уступы размером около 1,5 мм.

Широко используются коронки, армированные алмазами природными и синтетическими, различного размера, качества, прочности, зернистости и др. Алмазная коронка представляет собой стальное короночное кольцо с приваренной к нему матрицей, изготовленной из металлокерамического сплава, в котором размещены алмазы (рис. 9). У коронок разного типа внешний вид матрицы определяется конструкцией, формой и количеством промывочных каналов. Кристаллы алмазов, выполняющие роль породоразрушающих резов, располагаются в матрице в определенном порядке. По рабочему назначению и местоположению в матрице они подразделяются на объемные (торцевые) и подрезные. Объемные располагаются внутри матрицы или на ее торцевой поверхности и выполняют основной объем работы по разрушению породы на забое скважины. Подрезные располагаются на наружной и внутренней боковых поверхностях матрицы и служат для предохранения коронок от преждевременного бокового износа. Для армирования коронок у нас в стране используют якутские и синтетические алмазы.

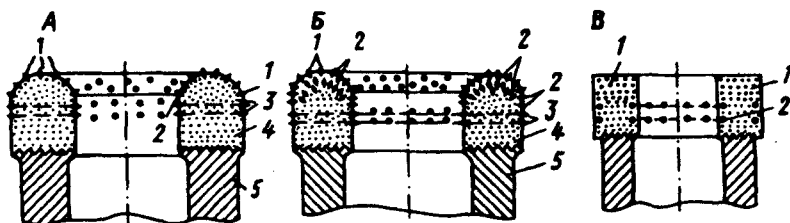


Рис. 9. Типы алмазных коронок.

А — однослойные: 1 и 2 — объемные алмазы, 3 — подрезные алмазы, 4 — матрица, 5 — корпус коронки; Б — многослойные: 1 — алмазы первого слоя, 2 — алмазы последующих слоев, 3 — подрезные алмазы, 4 — матрица, 5 — корпус коронки; В — импрегнированная коронка: 1 — матрица, насыщенная алмазами, 2 — подрезные алмазы

На работоспособность инструмента существенно влияют свойства материала матрицы, величина зернистости алмазов и их

размещение в матрице. В зависимости от размещения и крупности алмазов в матрице различают два основных типа алмазных коронок: 1) однослойные; 2) импрегнированные.

В однослойных коронках алмазы по торцу матрицы располагаются в один слой по определенной, геометрически правильной схеме, которая выбирается в зависимости от размеров используемых алмазов, конфигурации промывочных каналов и насыщенности. В целом выбор той или иной схемы размещения алмазов определяется физико-механическими свойствами горных пород, для бурения которых предполагается данная коронка. Величина алмазов должна соответствовать твердости горной породы. Чем тверже порода, тем более мелкие зерна используются для коронок. В породах VI–VIII категорий по буримости, как правило, применяют коронки с алмазами размером 2–20 шт/кар; в породах VIII–IX категорий — 20–60 шт/кар; в породах IX–XI категорий — 60–150 шт/кар и в очень твердых породах XI–XII категорий — 150–600 шт/кар.

В импрегнированных коронках в качестве основных рабочих камней используются алмазы мелких фракций, размером 400–150 шт/кар и мельче (до 1200–600 шт/кар). Мелкие алмазы равномерно распределены в импрегнированных коронках по всему объему рабочего слоя матрицы. Работа этих коронок основывается на принципе самозатачиваемости.

Общая масса алмазов в коронках различного диаметра и типов колеблется от 4–5 до 20–24 карат в однослойных и от 6–7 до 26–28 карат в импрегнированных.

При бурении алмазными и твердосплавными коронками между коронкой и колонковой трубой помещается кернорватель, состоящий из полого цилиндрического корпуса, имеющего внутреннюю коническую форму, внутри которого помещено разрезанное пружинное кольцо с внутренними выступами. При бурении кольцо не препятствует вхождению керна в колонковую трубу, а при подъеме пружина входит в суженную часть конического корпуса, сжимает керн и срывает его.

Колонковые трубы изготавливаются длиной 1,5; 3; 4,5 и 6 м с резьбой на обоих концах для свинчивания с коронкой и переходником.

Все буровые инструменты соответствуют принятым стандартам. Основные размеры коронок и колонковых труб приведены в табл. 3.

Колонна бурильных труб (штанг), служащая для соединения породоразрушающего инструмента, работающего на забое с буровой установкой на поверхности, составляется из отдельных труб при помощи резьбовых соединений — муфт, ниппелей и специальных бурильных замков.

Основные размеры колонковых наборов, мм

Наружный диаметр коронки по резцам	Наружный диаметр короночного кольца	Внутренний диаметр короночного кольца	Наружный диаметр колонковой трубы	Толщина стенки колонковой трубы	Внутренний диаметр колонковой трубы
151	150	136	146	5,0	136,0
132	130	116	122	5,0	117,0
112	110	96	108	5,0	98,0
93	91	77	89	5,0	79,0
76	75	61	73	5,0	63,0
59	58,5	45	57	4,5	48,0
46	45,5	32,5	44	3,5	37,0
36	35,5	22,5	34	3,0	28,0

Длина отдельных труб 1,5; 3; 4,5; 6 м; наружный диаметр 33,5; 42; 50; 63,5 мм. Колонна бурильных труб является также каналом для подачи на забой промывочной жидкости.

Буровые станки и установки. В зависимости от целевого назначения скважин они характеризуются различными параметрами. Так, для геологической съемки и поисков необходимо бурение скважин на глубины до 50–100 м, реже до 300–500 м в породах различной твердости. В основном используются скважины диаметром 59, 76, 93 мм, а иногда и более мелкими (36, 46 мм). Для бурения таких скважин требуется легкое оборудование с хорошей транспортабельностью, в частности самоходные установки высокой проходимости.

Разведка твердых полезных ископаемых осуществляется в разнообразных условиях и требует бурения скважин глубиной до 3000 м. Основные диаметры в этих случаях 59–93 мм, иногда начальные диаметры достигают 112–132 и даже 156 мм и более.

Для разведки строительных материалов и россыпных месторождений характерны сложные геолого-технические условия, разрезы, представленные рыхлыми неустойчивыми породами с валунно-галечными включениями. При глубинах до 50 м диаметры скважин обычно 152–243 мм и более. При разведке россыпей требуется особо тщательный отбор проб с определенных интервалов, а глубины достигают 100 м и более. Работы ведутся в различных, часто труднодоступных условиях.

Инженерно-геологические изыскания осуществляются главным образом в рыхлых и мягких породах на глубинах до 25–50 м, иногда необходимо бурить также в коренных породах высокой твердости. Диаметр скважин колеблется от 76 до 219 мм. Высокие требования к качеству кернового материала.

Гидрогеологические скважины бурят на глубины преимущественно 100–300, иногда до 500–1000 м. Разрезы представлены обычно мягкими и средней твердости породами, иногда с горизонтами гравийно-галечных образований. Необходимость проведения опытных откачек, установки фильтров, наблюдений и эксплуатации требует бурения скважин большого диаметра — от 176 до 500 мм, крепления их обсадными трубами и надежной изоляции водоносных горизонтов.

Для выполнения таких разнообразных задач используются специальные буровые станки и установки. При этом последние подразделяются на определенные типы по основным параметрам бурения. В стране действуют стандарты на основные типоразмеры станков для бурения при разведке твердых полезных ископаемых и для бурения гидрогеологических скважин. Стандарт на установки колонкового бурения включает восемь типоразмеров буровых станков (табл. 4).

Несмотря на большое разнообразие используемых буровых станков, они характеризуются стандартным набором основных узлов.

Практически каждый буровой станок состоит из главного фрикциона, коробки скоростей, вращателя, механизма подачи, лебедки, пульта управления. Станок оснащен также контрольно-измерительными приборами и некоторыми другими устройствами.

Главный фрикцион служит для плавного включения станка и передает вращение с двигателя на все механизмы станка.

Коробка скоростей (перемены передач) служит для ступенчатого изменения частоты вращения бурового снаряда и барабана лебедки. В некоторых современных станках используется бесступенчатая передача, поэтому в них отсутствуют коробка передач и главный фрикцион.

Вращатель предназначен для передачи крутящего момента буровому снаряду; это осуществляется благодаря тому что ведущая штанга укрепляется во вращателе с помощью механических или гидравлических зажимных патронов.

Механизм подачи производит перемещение бурового снаряда по мере углубления скважины, регулирует и поддерживает заданную осевую нагрузку на инструмент. В различных конструкциях станков используется рычажная, рычажно-дифференциальная, цепная, гидравлическая и другие модификации подачи.

Буровые установки состоят из станка, бурового насоса, двигателя (или двигателей), вышки (или мачты) для выполнения спуско-подъемных операций, и некоторых других механизмов и устройств. Буровые установки бывают стационарные, передвижные и самоходные.

Параметрический ряд бурового оборудования для бурения на твердые полезные ископаемые

Параметры	Класс станков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Номинальная глубина бурения, м	25	100	300	500	800	1200	2000	3000
алмазное	12,5	50	200	300	500	800	1200	2000
твердосплавное								
Грузоподъемность, кН	1,25	6,3	20,0	32,0	50,0	80,0	125,0	200,0
номинальная	2,0	10,0	32,0	50,0	80,0	125,0	200,0	320,0
максимальная								
Диаметр скважины, мм	93	132	132	151	151	151	212	295
начальный (не менее)								
конечный	36	46	59	59	59	59	50	59
при алмазном бурении	76	93	93	93	93	93	93	93
при твердосплавном бурении								
при твердосплавном бурении								
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	250-1200	200-1500	160-1500	160-1500	160-1500	160-1500	160-1500	160-1200
при вращательном бурении								
при ударно-вращательном бурении								
при ударно-вращательном бурении								
Диапазон углов наклона вращателя, градус	70-90	(0-360)						
Скорость подъема бурового снаряда, м/с		0,6	0,55	0,45	0,4	0,32	0,3	0,25
минимальная (не более)		1,2	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
максимальная (не более)		4,7	9,5	9,5	14,0	14,0-18,6	18,6	18,6-24,0
Номинальная длина свечи, м	1,6	3	11	15	22	30	45	55
Мощность приводного электродвигателя, кВт	3							75

ПРОМЫВКА И ПРОДУВКА СКВАЖИН

Промывка (продувка) скважин в процессе бурения является необходимой операцией, которая предусматривает непрерывную циркуляцию промывочной среды в скважине для выполнения следующих задач: 1) очистки забоя от разрушенной породы и выноса продуктов разрушения (шлама) на поверхность; 2) охлаждения породоразрушающего инструмента; 3) закрепления стенок скважины при проходке слабо связных, рыхлых пород; 4) предупреждения возможности прорыва пластовых вод в скважину в процессе бурения. Кроме перечисленного имеется еще ряд требований, которым должны удовлетворять организация промывки и качество промывочного агента в конкретных условиях, определяемых глубиной скважины, характером пересекаемых пород, используемым буровым инструментом, геологическими задачами и др.

Существуют четыре схемы циркуляции промывочной среды: прямая, обратная, комбинированная и призабойная (местная).

При прямой циркуляции промывочная среда принудительно (с помощью насоса) подается с поверхности по колонне бурильных труб к забою, а затем поднимается по кольцевому пространству между стенками скважины и бурильными трубами, вынося на поверхность шлам. Прямая циркуляция легко осуществима и поэтому пользуется наиболее широким распространением.

При обратной циркуляции промывочная среда нагнетается к забою скважины по кольцевому каналу и поднимается на поверхность вместе со шламом по колонне бурильных труб. При использовании этой схемы устье скважины должно быть герметизировано. При бурении по трещиноватым и поверхностным породам, где происходит большая потеря промывочной среды, обратная циркуляция неприменима.

При использовании жидких промывочных сред осуществляется замкнутая циркуляция: буровой раствор и другие промывочные жидкости после выхода из скважины очищаются в системе желобов и отстойников и вновь насосами подаются к забою.

При любой схеме циркуляции возможны потери промывочной среды вследствие поглощения ее породами. Потеря может быть частичной, полной и катастрофической. В первом случае на поверхность выходит меньшее количество жидкости, чем подается в скважину, во втором — жидкость вообще не выходит на поверхность. Катастрофическая потеря происходит при внезапном попадании скважины в крупные полости (трещины, каверны и др.), что обычно сопровождается прихватом снаряда, обрушением стенок скважины и другими осложнениями.

При продувке скважин циркуляция незамкнута: воздух после пылеулавливания выходит в атмосферу, а если для продувки используется природный газ, то после выхода из скважины он сжигается.

Комбинированная схема циркуляции осуществляется путем нагнетания с поверхности по колонне бурильных труб жидкой или газообразной среды как при прямой циркуляции. Однако в призабойной части создается местная, обычно обратная циркуляция, что достигается применением специальных снарядов (пакерных, эрлифтных и др.) или использованием погружных насосов различного типа.

Призабойная местная циркуляция используется при безнасосном бурении, когда имеющаяся в скважине подземная вода или вода, добавляемая в нее в результате специального режима бурения ("расхаживания" бурового снаряда — подъем и опускание его) или применения погружных (чаще эрлифтных) насосов, осуществляет все основные функции промывки, не поступая на поверхность. Шлам при этом скапливается в колонковой трубе.

В зависимости от конкретных условий, в первую очередь от свойств буримых пород в качестве промывочной среды используют капельные жидкости (техническая вода, солевые растворы, жидкие углеводороды), структурные жидкости (глинистые, неглинистые, шламовые растворы, эмульсии), газы и газожидкостные двухфазные смеси (рис. 10).

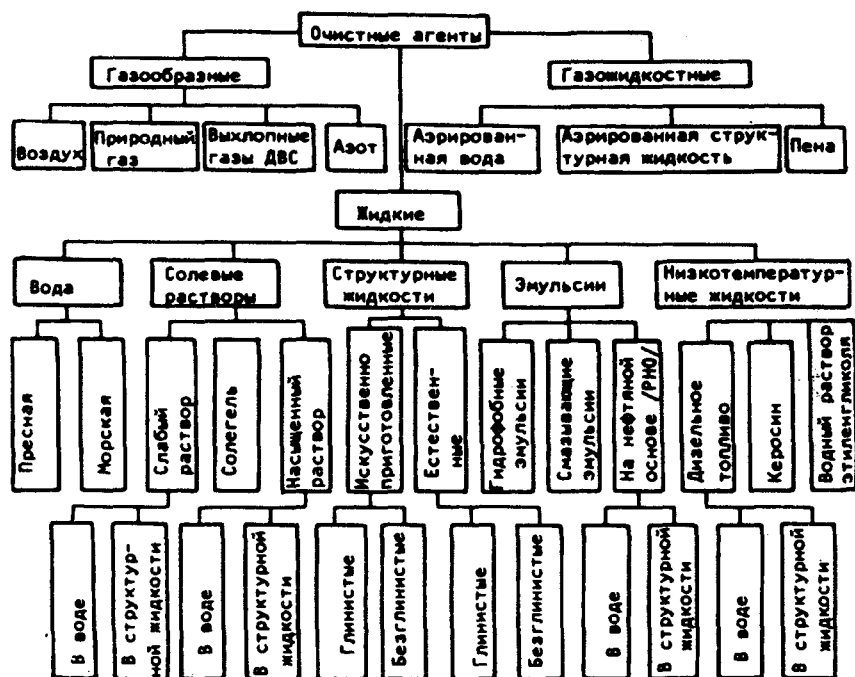


Рис. 10. Классификация видов очистных агентов

При бурении скважин в устойчивых породах можно использовать техническую воду как пресную, так и минерализованную, в том числе морскую. Повсеместному использованию воды препятствуют свойственные ей недостатки: высокая фильтрационная способность; активное размывающее и растворяющее действие; отсутствие способности удерживать шлам при прекращении циркуляции; воздействие на породы, приводящее к их разбуханию, обрушениям; замерзание при отрицательной температуре и др.

Глинистые растворы широко используются при бурении, особенно в малоустойчивых породах. Помимо очистки забоя и охлаждения инструмента они обеспечивают: 1) закрепление стенок скважины в результате образования тонкой глинистой корки; 2) предупреждение оседания шлама на забой при прекращении циркуляции из-за быстрого превращения раствора в гель (застудневания); 3) устранение потерь циркуляции в пористых и трещиноватых породах.

Перечисленные свойства объясняются тем, что глинистый раствор представляет собой коллоидно-дисперсную систему. Для приготовления глинистых растворов используют природные глины, наилучшими из которых являются бентонитовые глины, состоящие в основном из монтмориллонита. Качество глинистых растворов определяется явлениями, происходящими на границе раздела частиц глинистых минералов с водой. Эти частицы окружены гидратной оболочкой, препятствующей слипанию их между собой. Однако на острых гранях и углах частиц оболочка утончается, силы отталкивания ослабевают, и частицы могут слипаться между собой, вызывая коагуляцию. Различают гидрофобную, необратимую коагуляцию, когда частицы полностью лишены защитных оболочек, и гидрофильную, когда частицы образуют пространственную решетку (каркас), пронизывающую весь объем. Вода закупоривается в отдельных ячейках, раствор теряет подвижность, превращается в гель. Это обратимое явление называется структурообразованием, или тиксотропией.

Свойства глинистых растворов можно регулировать, воздействуя на них различными реагентами. В этих целях используются электролиты, защитные коллоиды и поверхностно-активные вещества. Электролиты изменяют кислотность-щелочность среды, воздействуют на ионные оболочки, окружающие глинистые частицы, изменяя их толщину, заряд, и таким образом влияют на коллоидные свойства системы. Защитные коллоиды и поверхностно-активные вещества способствуют созданию на поверхности частиц защитного слоя вследствие адсорбции содержащихся в них веществ; растворы приобретают большую устойчивость и плотность.

Глинистые растворы приготавливают на пресной и минерализованной воде. В ряде случаев для предупреждения обвалов

стенок скважины при проходке ее в неустойчивых породах используют утяжеленные глинистые растворы с удельной массой более 1,3–1,35; это достигается добавлением утяжелителей — тонко размолотых порошков барита или гематита. Для приготовления глинистых растворов обычно используют глиномешалки.

Широко используются для промывки скважин шламовые буровые растворы, образующиеся в процессе бурения вследствие измельчения и перемешивания с водой частиц проходимых скважиной пород. При бурении глин, известняков, аргиллитов, сульфатных отложений образуются естественные растворы, качества которых можно улучшить добавлением в них поверхностно-активных веществ, повышающими стабильность и способность к структурообразованию.

При бурении скважин в соленосных отложениях для предотвращения кавернообразования и растворения керна для промывки используют солевые растворы, приготовленные растворением в пресной технической воде NaCl , CaCl_2 или других солей. При проходке пластов солей применяют насыщенные растворы — рассолы. Солевые рассолы благодаря низкой отрицательной температуре замерзания используют также при бурении скважин в многолетнемерзлых породах. Одной из разновидностей солевых растворов является солегель, получаемый воздействием щелочи и силикатов на рассолы кальция и магния, что приводит к образованию лучистых микрокристаллов и аморфных тел, придающих этому раствору структурные свойства.

При бурении в мерзлых породах и сплошных льдах применяются для промывки жидкие углеводороды — керосин и беспарафинное дизельное топливо. Эти жидкости используются так же, как промывочные агенты-хладоносители при бурении во влагонасыщенных и неустойчивых породах с одновременным их замораживанием: они охлаждаются на поверхности сухой углекислотой до температур -35 — -40°C и подаются насосом к забою скважины, обеспечивая замораживание забоя, стенок и керна.

При алмазном бурении широко применяются специальные эмульсионные промывочные жидкости, которые помимо выполнения основных функций промывки обладают повышенными смазочными и антивибрационными свойствами и активно воздействуют на процесс разрушения горных пород. Эти жидкости готовятся из товарных продуктов нефтеперерабатывающей, химической и лесотехнической промышленности.

В практике геологоразведочного бурения используются также полимерные промывочные жидкости, иногда содержащие бентонит. Полимерные растворы обладают повышенной вязкостью, способностью образовывать прочные изолирующие пленки на поверхностях стенок скважин и бурильных труб. По своим техническим свойствам они превосходят воду и глинистые растворы: по-

выпают устойчивость стенок скважин, обеспечивают смазочный эффект, исключают прихваты бурового снаряда при длительных остановках бурения и т.д.

В сложных геологических и климатических условиях применяется бурение с продувкой скважин сжатым воздухом. Наиболее эффективен этот метод при бурении в льдистых, мерзлых породах, которые при промывке водой оттаивают, оползают; в неустойчивых породах, способных к набуханию и обваливанию при обработке их промывочной жидкостью; а также при бурении в высокогорных и пустынных районах, где имеются трудности с водоснабжением.

Воздух как агент для очистки скважин обладает рядом достоинств. В любом месте он имеется в неограниченных количествах, характеризуется весьма малой вязкостью и плотностью, легко сжимается, имеет низкую теплоемкость и теплопроводность. Эти особенности позволяют получить высокие скорости воздушного потока в затрубном пространстве с высокой турбулентностью, что обеспечивает полноту удаления разбуренной породы. Кроме того, отсутствие столба жидкости в скважине создает благоприятные условия для работы породоразрушающего инструмента и получения керна.

Источником сжатого воздуха служат компрессоры. При работе в многолетнемерзлых породах сжатый воздух перед подачей в скважину охлаждается до -5 — -10°C . Устье скважины оборудуется герметизирующим устройством; для избежания загрязнения атмосферы вредными пылевыми выбросами устанавливают шламоуловители циклонного типа, отделяющие шлам от потока воздуха и собирающие его.

В ряде случаев для повышения эффективности процесса бурения, для предупреждения осложнений, а также при наличии водопритока в скважине в поток воздуха добавляют пенообразователи, поверхностно-активные вещества.

Тампонирувание скважин. При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях для проведения испытаний отдельных горизонтов возникает необходимость изоляции их друг от друга. Для этих целей применяют тампонирувание скважин. Эту операцию выполняют также для изоляции участков, поглощающих промывочную жидкость, при ликвидации скважин и в других случаях. Различают постоянное, временное и ликвидационное тампонирувание.

Постоянное тампонирувание производится для изоляции водопоглощающих участков, закрепления интервалов, пройденных в сыпучих породах; для изоляции горизонтов полезных ископаемых от вышележащих пластов и других целей. Для этого используется глина или цементные тампонажные смеси. Тампонирувание глиной применяют в неглубоких скважинах пу-

тем задавливания башмака колонны обсадных труб в пласт глины или глинистые породы; или забрасыванием в скважину глины с последующей трамбовкой со спуском водозакрывающей колонны обсадных труб и задавливанием башмака в глину. При бурении глубоких скважин для тампонирования используются цементные смеси. Способы цементации могут быть различными. Для укрепления башмака обсадных труб используют башмачную заливку цемента: его спускают в скважину с помощью желонки или через бурильные трубы. Более эффективным и надежным является способ "с двумя пробками", когда цементный раствор доставляется к забою скважины помещенным между двумя деревянными пробками под давлением промывочной жидкости. После застывания цемента оставшиеся на забое пробки разбуриваются.

Наибольшее распространение при ликвидации поглощения промывочной жидкости получили погружные смесители, предназначенные для образования быстросхватывающих смесей непосредственно в зоне поглощения. Для этого используются специальные снаряды, в которых разделенные компоненты цементных смесей на бурильных трубах опускаются в скважину, где при выдавливании из снаряда производится смешивание цемента с жидким ускорителем схватывания. Применяются также снаряды для доставки в скважину смесей на цементной, гипсовой основе и на основе синтетических смол.

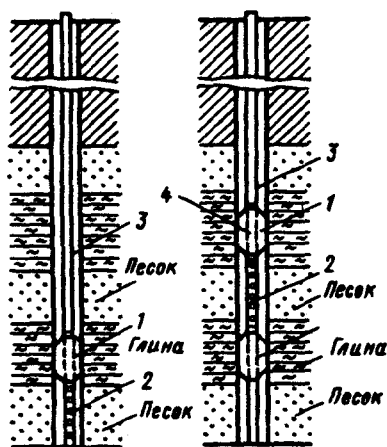


Рис. 11. Схема гидравлических паккеров.

А — паккер простого действия; Б — паккер двойного действия: 1 — резиновая камера, 2 — фильтр, 3 — подъемные трубы, 4 — трубка для подвода воды или сжатого воздуха.

Временное тампони-рование для разделения отдельных участков скважины для откачивания или нагнетания воды в один из вскрытых водоносных горизонтов осуществляется с помощью паккеров (тампонов), которые бывают простого действия (одиночные, разделяющие скважину на две части) и двойного действия (двойные, которые разделяют скважину на три участка). Двойные паккеры позволяют герметизировать скважину выше и ниже исследуемого горизонта, изолируя его от влияния соседних горизонтов. Паккеры имеют резиновые цилиндрические кольца или резиновые трубки (камеры), в которые нагнетаются вода или сжатый воздух, в результате чего они расширяются и плотно прилегают к стенкам скважины (рис. 11).

Ликвидационное тампонирование проводится во всех разведочных скважинах после их проходки и выполнения всех измерений и сопутствующих исследований (скважинных геофизических методов и др.). Оно осуществляется главным образом во избежание нарушения режимов подземных вод: перетекания вод из одного горизонта в другой, что может вызвать в одних случаях нежелательное осушение, в других — обводнение тех или иных участков. Ликвидационный тампонаж производят глиной (в глинистых породах) или бетоном (в скальных и полускальных породах) по всему стволу скважины или только в нижней части ствола.

При тампонировании применяют различные материалы, которые можно подразделить на две группы: нетвердеющие и твердеющие.

В качестве нетвердеющих тампонирующих смесей используют глины с добавлением различных инертных наполнителей: стружки, опилок, соломы, мха и др. Иногда в состав смесей входит дизельное топливо, битумы, гелецементы.

Твердеющие смеси — это специальные цементы, нередко с ускорителями схватывания или инертными наполнителями, смеси на основе синтетических смол и т.д.

Крепление скважин обсадными трубами. Помимо указанных выше способов укрепления стенок скважин (применение специальных промывочных жидкостей, тампонирование) в ряде случаев при проходке скважин в рыхлых и осыпающихся породах для крепления стенок используются обсадные трубы. При колонковом бурении применяют стандартные бесшовные трубы, диаметры которых соответствуют диаметрам буровых коронок. Длина каждой трубы от 2,5 до 4,5 м; они свинчиваются обычно с помощью ниппелей или труба в трубу. Трубы большого диаметра, используемые при бурении глубоких скважин, а также для обсадки скважин механического ударного бурения, соединяются муфтами. Для предохранения нижнего конца колонны обсадных труб от смятия при опускании ее в скважину применяют специальные трубные башмаки — забивные и фрезерные. Во избежание деформаций колонну обсадных труб обычно не ставят на забой, а поддерживают на весу с помощью специальных хомутов — простых и лафетных. Извлечение обсадных труб производится лебедкой бурового станка, а в случае прихвата их породами используют винтовые и гидравлические домкраты.

Конструкция скважины. При забурировании скважины и проходке первых 3–6 м в скважине устанавливается направляющая труба. При наличии значительной по мощности толщи наносов и других неустойчивых и водоносных пород устанавливается кондуктор (на глубину до 20–60 м), тампонируется его башмак с таким расчетом, чтобы наносы были полностью перекрыты и

№ слоя пород	Геологический вынос	Геологическая колонна	Интервал глубины, м		Мощность слоя, м	Краткая характеристика горных пород	Литература по бурению	Диаметр (мм) скважины и глубина (м) бурения	Диаметр обсадных труб и глубина их установки
			от	до					
1			0,00	4,50	4,50	Суглинок	II	82 мм 76 мм 43 м	80 мм 73 мм 43 м цементирования
2			4,50	15,00	10,50	Глина песчаная	III		
3			15,00	40,00	25,00	Песок глинистый воденосный	II		
4			40,00	60,00	20,00	Глина плотная	IV		
5			60,00	110,00	50,00	Известняк плотный доломитизированный	VI	59 мм 320 м	
6			110,00	150,00	40,00	Кремнистые сланцы	VII		
7			150,00	250,00	100,00	Альбитопоры слабо трещиноватые	IX		
8			250,00	290,00	40,00	Железные руды	I		
9			290,00	320,00	30,00	Альбитопоры плотные	IX		

Рис. 12. Типовая схема проектной конструкции скважины

обеспечены нормальные условия бурения скважины. Естественно, что дальнейшая проходка скважины может производиться только инструментом меньшего диаметра, чем первоначально, т.е. таким, который соответствует внутреннему диаметру обсадной трубы. Если затем скважиной будет вскрыт еще один участок, который вследствие неустойчивости пород или по другим причинам необходимо будет закрепить обсадными трубами, в скважину будет опущена еще одна колонна обсадных труб (на всю глубину скважины, с обязательным выходом верхней части колонны над устьем скважины). Это потребует очередной смены диаметра бурения. Таким образом, в скважине по мере ее углубления может неоднократно уменьшаться диаметр, вследствие чего в разрезе она будет иметь ступенчатую форму. Технический разрез, в котором указаны диаметры бурения скважины по интервалам глубины, диаметры и глубины спуска колонн, обсадных труб, а также места и способы тампонирования, называется конструкцией скважины. Проектная конструкция обязательно составляется на каждую скважину или группу однотипных скважин (рис. 12). При

составлении проектной конструкции учитываются: 1) назначение и цель бурения скважины; 2) геологическое строение участка; 3) проектная глубина скважины и ее азимутальное и зенитное направления; 4) необходимый конечный диаметр скважины.

При построении проектной конструкции стремятся к минимальному количеству ступеней — изменениям диаметра. Каждая ступень должна служить только для установки на ней соответствующей колонны обсадных труб. Если же нет необходимости крепления скважины обсадными трубами, то не следует переходить на меньший диаметр. При составлении проектной конструкции скважины надо учитывать внутренний диаметр предыдущей колонны и наружный диаметр муфт следующей колонны (меньшего диаметра). Все колонны обсадных труб должны возвышаться над устьем скважины.

Искривление скважин. Практически все глубокие скважины при бурении отклоняются от заданного направления и в той или иной степени искривляются. Иногда искривление становится настолько существенным, что приходится прекращать дальнейшую проходку скважины. Различают геологические, технические и технологические причины искривления скважин.

Причины геологического характера обусловлены неоднородностью пересекаемого скважиной разреза. Встреча скважиной валунов, контактов с породами повышенной твердости, или наоборот, трещин, пустот, каверн вызывает отклонение скважины в ту или иную сторону. При пересечении скважиной сложного разреза, особенно если в нем чередуются тонкие пласты различной твердости, а также рассланцованных пород, наблюдаются определенные закономерности в искривлении скважин, вызванные тем, что ось скважины стремится занять положение, перпендикулярное к напластованию. Это приводит к изменению (обычно выполаживанию) угла наклона скважины в вертикальной плоскости и ее направления по отношению к простиранию пород. В рыхлых и плывучих породах скважина становится более крутой (рис. 13).

Технические причины искривления скважин включают: неправильную установку шпинделя станка, вызывающую изначальное отклонение скважины от заданного направления; неправильную установку направляющей трубы и кондуктора; бурение коротким колонковым снарядом, особенно в породах перемещающейся твердости; бурение трубами малого диаметра в скважине большого диаметра; переход на меньший диаметр без спуска колонны обсадных труб и некоторые другие.

Причины технологического характера обусловлены параметрами режима бурения. Они могут вызывать неравномерное разрушение забоя и стенок скважины, образование значительных зазоров между стенками и снарядом, а также увеличение сил, отк-

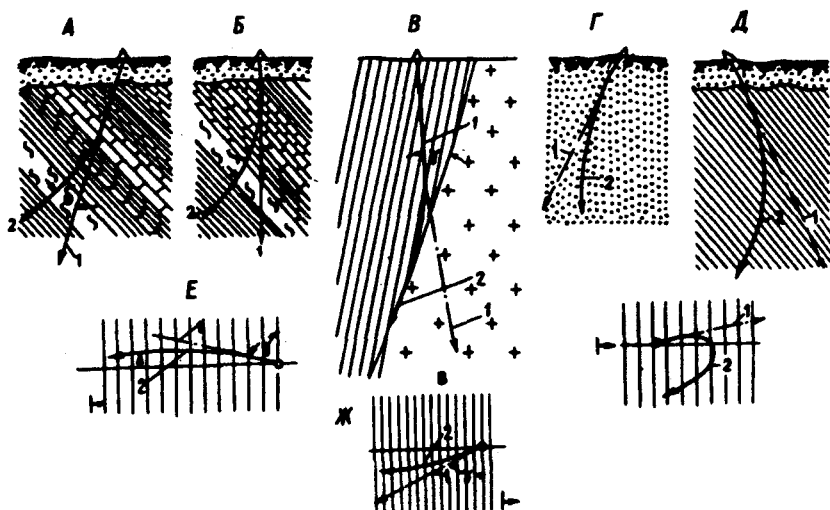


Рис. 13. Основные закономерности искривления скважин.

1 — заданное направление скважины, 2 — фактическое направление; А и Б — искривление скважин при пересечении слоистых пород; В — искривление при угле встречи γ менее критического; Г — искривление наклонной скважины при бурении в рыхлых и мягких породах; Д — возможное искривление скважины, заданной в направлении падения пород; Е и Ж — возможные азимутальные искривления скважин, заданных под острым углом к линии простирания пород; 3 — возможное искривление скважины при неправильной установке шпинделя станка

лоняющих снаряд от оси скважины. К ним относятся: применение излишне сильной промывки, чрезмерная нагрузка на забой и др.

Для определения положения скважины в пространстве проводятся специальные замеры кривизны всех разведочных, опорных, структурных и эксплуатационных скважин.

Пространственное положение скважины определяется тремя параметрами: глубиной (H), зенитным углом (Θ) и азимутальным углом (α).

Глубина скважины определяется расстоянием по ее стволу от устья до забоя. Зенитным углом скважины называется угол между вертикалью и касательной к оси скважины в данной точке. Азимутальным углом, или азимутом, называется угол между направлением на север и проекцией оси скважины на горизонтальную плоскость (рис. 14). Положение оси скважины в пространстве определяется путем замеров зенитного и азимутального углов на различных глубинах скважины; чем меньше интервалы между замерами, тем точнее можно изобразить проекцию скважины на горизонтальной и вертикальной плоскостях, что является необходимым условием при увязке профилей, особенно разведочных. Элементы искривления замеряют специальными приборами —

инклинометрами. Наиболее часто в инклинометрах для замеров зенитного угла используется принцип отвеса, а для замеров азимута — магнитная стрелка.

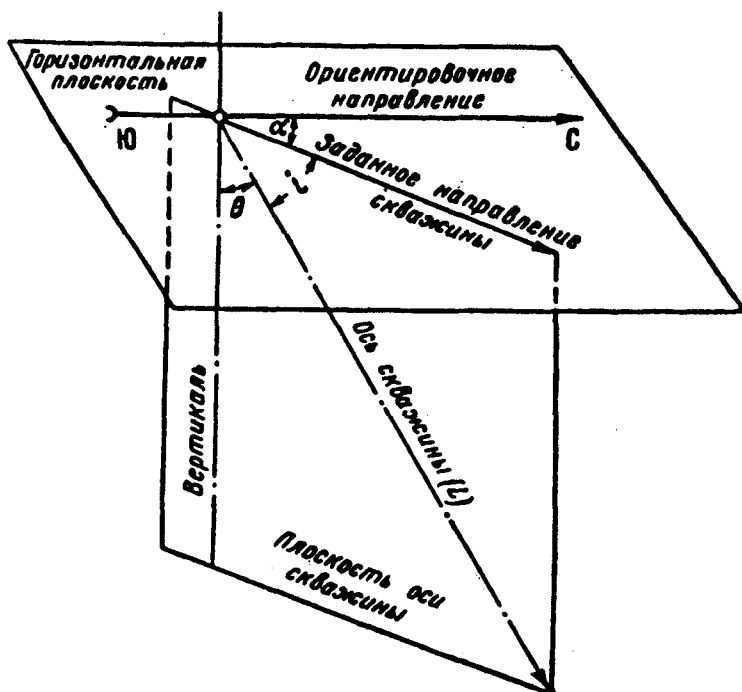


Рис. 14. Углы, определяющие пространственное положение скважины

Простейшим прибором такого рода является инклинометр Полякова. В латунном корпусе на двух полуосях подвешена рамка со смещенным центром тяжести за счет свинцового груза. В рамке также на двух полуосях подвешен компас, в нижней части которого имеется отвес и стрелка. При помещении прибора в скважину его ось совпадает с осью скважины, компас занимает горизонтальное положение, при этом нулевое деление его градусной шкалы направлено в сторону наклона скважины, а стрелка отвеса вертикально вниз. В таком положении производится арретирование магнитной стрелки и отвеса специальным часовым механизмом, размещенным также в корпусе инклинометра. Показания снимаются после того как прибор поднят на поверхность.

Более совершенными приборами являются каротажные инклинометры, в которых в компасе вместо шкалы установлен кольцевой реохорд, а в отвесе стрелка скользит по поверхности углового

реохранда. Инклинометр спускается в скважину на кабеле, по которому при включении прибора подается электрический ток. В момент включения для снятия отсчета пружинные контакты магнитной стрелки и стрелки-отвеса касаются поверхности реохордов. Величины азимутального и зенитного углов регистрируются по величине сопротивления реохорда с помощью панели управления, включенной в электрическую цепь инклинометра и находящейся на поверхности. Таким образом, прибор позволяет за один спуск произвести замеры в любых точках скважины.

Другие конструкции прибора — фотоинклинометры — основаны на возможности определения углов путем фотографирования положения отвеса и магнитной стрелки.

Однако указанные инклинометры непригодны для замеров в магнитной среде (при обсадке скважины стальными трубами, при наличии в породах магнитных минералов и др.). В этих случаях используют гироскопические инклинометры, в которых вместо магнитной стрелки помещен гироскоп.

Направленное и многозабойное бурение. Основное требование, предъявляемое к геологоразведочной скважине, — ее проведение в соответствии с проектным профилем. В ряде случаев эта цель достигается только применением методов искусственного искривления скважины. Скважины называются направленными, если их проведение в заданную точку связано с применением искусственных отклонителей или использованием естественных искривлений. Проведение таких скважин сопровождается регулярными замерами искривления. Имеющиеся технические средства позволяют с большой точностью вести бурение. Известны случаи, когда при ликвидации пожаров на нефтяных и газовых скважинах на расстоянии в несколько сотен метров забуривались наклонные скважины и попадали точно в ствол фонтанирующей аварийной скважины.

Другим применением методов искусственного искривления является бурение многоствольных скважин, или многозабойное бурение. Многоствольными называются скважины, из одного основного ствола которых бурят один или несколько дополнительных стволов, вскрывающих рудное тело или другой объект в нескольких заданных точках (рис. 15). Это позволяет существенно сократить объемы бурения и время на разведку.

Многоствольные скважины бурят с целью: 1) перебуривания интервалов рудного тела с малым выходом керна; 2) получения большого количества рудного керна для технологических проб; 3) уточнения геологического строения месторождения, расшифровки складчатых деформаций и т.д. Многоствольные скважины используются при необходимости бурения с ограниченных размеров площадок (например, в горных районах, с морских эс

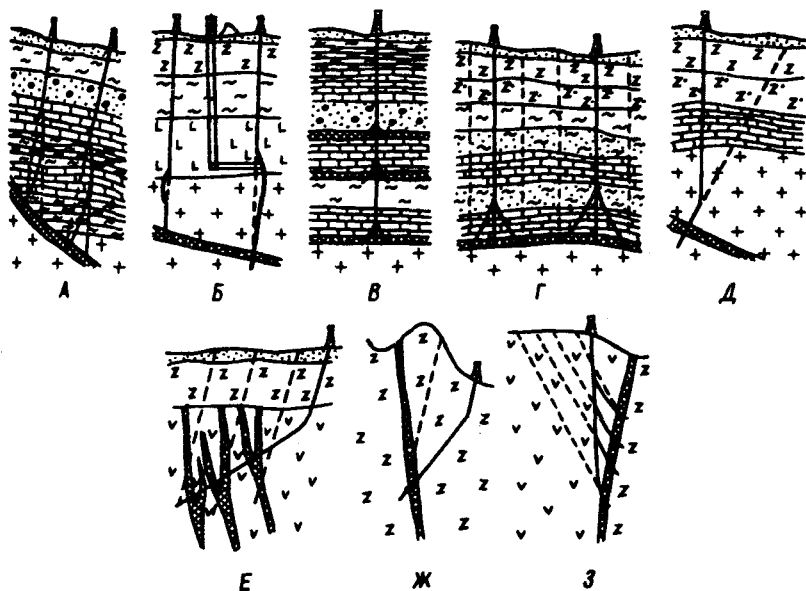


Рис. 15. Варианты использования направленных и многоствольных скважин.

А — исправление нежелательного естественного искривления; Б — обход горных выработок и тяжелых буровых аварий; В — перебуривание рудных тел; Г — бурение многоствольных скважин при разведке пологозалегающих рудных тел; Д — бурение вертикально-наклонных скважин при наличии малоустойчивого верхнего интервала пород; Е — бурение пологонаклонных скважин при поисках субпараллельных крутопадающих рудных тел; Ж — бурение скважин в труднодоступной местности; З — бурение односторонне-перистых многоствольных скважин

такад), при бурении под дно водного бассейна, под заболоченное место, инженерные сооружения и др.

Технические средства, применяемые при направленном и многоствольном бурении, разделяются на следующие группы: 1) забуривание дополнительных стволов многоствольных скважин с искусственного забоя; 2) искусственное искривление скважин с естественного забоя с целью их проведения по проектному профилю; 3) ориентация отклонителей; 4) измерение кривизны скважин.

Общая схема искусственного искривления скважины в проектном направлении осуществляется в следующей последовательности: создание искусственного забоя, если искривление необходимо осуществить выше забоя основного ствола; спуск отклонителя; ориентирование и раскрепление отклонителя; забуривание нового ствола и замер его направления и угла наклона. Искусственный забой создается с помощью деревянной или металлической пробки или созданием цементного моста. В качестве отклонителей используются различные конструкции отклоняющих клиньев и

специальных снарядов для направленного бурения. Для этих технических средств разработаны специальные алмазные долота и коронки. Аппаратура для ориентирования отклоняющих устройств также довольно разнообразна: она может быть погружной, т.е. входящей в состав бурового снаряда и находящейся в скважине в процессе бурения, или эпизодического действия, спускаемой только на момент ориентирования отклонителя. В качестве чувствительного элемента обычно применяются свободно катающийся в желобе шарик, капля ртути или отвес, замыкающий в момент ориентации один или два контакта, совмещенных с плоскостью действия отклонителя. По конструкции ориентирующая аппаратура делится на измерительные приборы и индикаторы. Первые показывают числовые значения углов установки отклонителей, вторые отмечают по принципу “да” — “нет”, установлен ли отклоняющий снаряд под заданным углом или нет.

Получение ориентированного керна. При изучении керна горных пород геолог, как правило, не имеет возможности получить информацию о характере залегания пород, ориентировке многочисленных структурных элементов — кливажа, трещин, прожилков, контактов жильных образований и др. Отсутствие указанных сведений резко снижает достоверность полученных при бурении материалов, увеличивает вероятность ошибок, приводит к необходимости бурения дополнительных скважин, проходки горных выработок, т.е. ведет к увеличению объемов работ и затрат. Проблема получения ориентированного керна — одна из важнейших в колонковом бурении, особенно при разведке месторождений. Возможность получения надежно ориентированного керна появилась только в 50-х годах, когда были разработаны конструкции керноскопов и начал развиваться метод кернометрии.

Метод кернометрии включает следующие операции: 1) отбор ориентированного керна с помощью специальных устройств — керноскопов; 2) структурно-геологическую документацию керна; 3) ориентацию в пространстве с помощью приборов — кернометров выявленных структурных элементов и их измерение с последующей геологической интерпретацией полученных данных.

Керноскопы представляют собой измерительные угломерные приборы, опускаемые в скважину, автоматически высверливающие на забое две ориентирующие метки и одновременно фиксирующие положение их относительно апсидальной плоскости скважины (апсидальная плоскость скважины — ориентированная плоскость, проходящая через ось скважины и отвес). После нанесения меток на забой скважины обычным буровым снарядом отбуривается керн и извлекается из скважины. Замеры структурных элементов в ориентированном керне производятся при помощи кернометра. По данным инклинометрических замеров и в соответствии с ориентировкой меток керна устанавливает-

ся в керноскопе в таком положении, в котором он находился в скважине. Наличие трех независимых угломерных лимбов в кернометре позволяет ориентировать керн и произвести замеры всех структурных элементов.

Внедрение кернометрии как вспомогательного метода расшифровки структур позволяет уточнить условия залегания рудных тел, особенности их внутреннего строения и резко повысить эффективность разведочных работ. Частота отбора ориентированного керна в скважинах зависит от сложности геологического строения, структурных особенностей участка, характера горных пород, назначения буровых работ.

Способы повышения выхода керна. В процессе бурения нередко происходит интенсивное разрушение керна. Результатом этого является недостоверность и непредставительность получаемого кернового материала. Выход керна определяется отношением длины керна к длине пройденного скважиной интервала $V_k = (l_k/l_n) \cdot 100\%$. Особенно высокие требования к выходу керна предъявляются при разведочном бурении, поскольку от этого зависит качество опробования. В большинстве случаев минимальный выход керна по полезному ископаемому не может быть ниже 70–75%. На формирование керна и как следствие на его сохранность влияют следующие факторы.

Геологические: литолого-петрографический состав, структура, текстура, условия залегания пород, угол встречи скважины с плоскостью напластования, трещиноватость, сланцеватость, наличие или отсутствие прожилков. Эти и другие особенности определяют физико-механические свойства пород и, следовательно, их сопротивляемость разрушению.

Технические: факторы, обусловленные конструктивными особенностями и условиями работы технических средств, используемых для получения керна.

Технологические: способ разрушения горных пород при бурении, продолжительность рейса и скорость бурения, определяющие время воздействия на керн разрушительных факторов, режим промывки (продувки), количество и качество очистного агента.

Организационные: работа контрольно-измерительных приборов, возможность использования рациональных средств отбора керна, полнота сведений о геологическом разрезе скважины, квалификация персонала.

Для обоснованного выбора тех или иных технических средств и технологии бурения, повышающих выход керна, С.А. Волковым разработана классификация пород и полезных ископаемых по трудности отбора керна. В основу классификации положены два фактора: 1) механическое разрушение керна очистным агентом и вибрирующим буровым снарядом; 2) растворимость породы (полезного ископаемого), в том числе оттаивание мерзлых пород.

В соответствии с этим все породы и полезные ископаемые по трудности отбора керна при колонковом бурении разделены на четыре группы: первая — породы и полезные ископаемые монолитные и слаботрещиноватые, практически неразрушаемые промывочной жидкостью и вибрациями снаряда; вторая — породы и полезные ископаемые легко растворимые (минеральные соли); третья — породы и полезные ископаемые, легко разрушающиеся под действием очистных агентов; четвертая — породы и полезные ископаемые, разрушающиеся очистным агентом и вибрациями бурового снаряда: а) сильно трещиноватые; б) перемежающиеся по твердости; в) сыпучие и пльвучие.

Руководствуясь этой классификацией, следует иметь в виду, что в первую группу входят породы от III–IV до XII категорий по буримости, которые практически не разрушаются в процессе бурения. Например, глины плотные жирные, мел плотный III категории и совершенно не затронутые выветриванием монолитно-сливные: джеспилиты, кремень, яшмы, роговики XII категории. В обоих случаях выход керна составляет 100% и по мягким и по весьма твердым породам при применении обычных колонковых снарядов и рациональных технологических режимов бурения.

Следует особо обратить внимание на явление избирательного истирания керна. Суть его заключается в том, что при пересечении скважиной рудных тел, представленных прожилковыми рудами, керна в колонковой трубе раскалывается по рудным прожилкам и именно эти прожилки истираются, шлам выносятся промывочными агентами. Остальная часть породы, вмещающей прожилки, остается ненарушенной. В результате даже при достаточно высоком выходе керна он оказывается обедненным рудными компонентами, и пробы такого керна дают заниженные результаты, что недопустимо. Поэтому все мероприятия, направленные на повышение выхода керна, должны предусматривать и предупреждать, в частности, возможность его избирательного истирания.

Для повышения выхода керна используются различные технические средства, технологические режимы бурения, организационные мероприятия в зависимости от конкретных условий.

В общем случае повышения выхода керна добиваются выполнением ряда мероприятий, способствующих устранению или снижению разрушающего воздействия промывки и вибрации: 1) использование исправного инструмента (в первую очередь коронок и колонковых труб); 2) соблюдение оптимального режима промывки при использовании наиболее подходящих очистных агентов; 3) бурение укороченными рейсами, что сокращает время воздействия на керна вибрации; 4) применение надежных средств заклинивания керна и удерживания его в колонковом снаряде при подъеме; 5) выбор коронок рациональной конструкции и соблюдение оп-

тимальной осевой нагрузки, равно как и оптимальной скорости вращения снаряда.

Эти и другие мероприятия позволяют в ряде случаев обеспечить требуемое качество керна. Тем не менее иногда приходится использовать специальные технологические приемы и технические средства. К ним относятся бурение с обратной циркулирующей промывочной жидкости, безнасосное бурение и использование двойных колонковых труб.

Бурение с обратной промывкой позволяет существенно уменьшить разрушающее влияние на керн сильного потока промывочной жидкости. Существует несколько схем обратной промывки. В одних случаях промывочная жидкость нагнетается насосом с поверхности в затрубное пространство и поднимается по колонне бурильных труб. В других случаях обратная промывка создается при откачивании или отсосе жидкости через колонну бурильных труб с помощью эрлифта, водоструйных или центробежных насосов. Наконец, используется комбинированная схема, когда прямой поток преобразуется в обратный в призабойной зоне.

При бурении скважин в мягких породах, при инженерно-геологических изысканиях и разведке некоторых видов полезных ископаемых (минеральных солей, вязких углей и др.) для получения качественного керна используют безнасосное бурение. Сущность его заключается в том, что в скважину опускается специальный колонковый снаряд, который в процессе его вращения периодически "расхаживают", т.е. медленно поднимают над забоем и свободно сбрасывают. Непременным условием безнасосного бурения является наличие в скважине воды — грунтовой или специально залитой; уровень ее должен быть больше длины колонкового снаряда.

Колонковый снаряд безнасосного бурения состоит из буровой коронки, колонковой трубы, переходника, ниппеля и шарового клапана, выше которого в шламопроводящей трубе имеются отверстия для изливания жидкости в скважину. В процессе бурения снаряд приподнимается над забоем на некоторую высоту H , шаровый клапан при этом закрывает отверстие ниппеля, и жидкость с забоя всасывается в колонковую трубу, увлекая частицы разбуренной породы. Во время обратного движения снаряда к забою клапан поднимается под давлением жидкости, которая перемещается вверх и изливается через отверстия. Часть ее возвращается в скважину через внутренний кольцевой зазор между керном и коронкой. Таким образом, при расхаживании создается периодическая внутренняя циркуляция жидкости внутри бурового снаряда и в скважине. При этом крупные и тяжелые частицы шлама оседают на керн, а мелкие и легкие возвращаются в скважину. При соблюдении оптимального режима бурения (частота расхаживания и высота подъема снаряда, зависящие от твердости и

плотности пород) удается добиться 100%-го выхода керна в самых рыхлых и весьма неустойчивых породах (рис. 16).

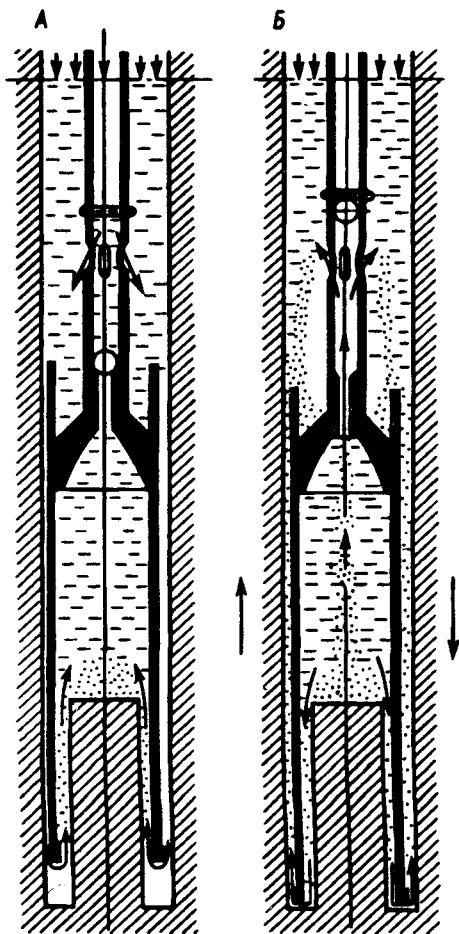


Рис. 16. Схема работы колонкового набора для безнасосного бурения

Колонковые наборы для безнасосного бурения различаются по устройству, наличию шламоулавливающих элементов, расположению клапана. По этим признакам выделяются три группы: 1) безшламовой трубы; 2) с открытой; 3) с закрытой шламовой трубой.

Двойные колонковые трубы. Перечисленные выше приемы и методы повышения выхода керна не обеспечивают решения проблемы. Одним из наиболее эффективных и надежных способов повышения выхода керна и улучшения его качества является использование двойных колонковых труб. Сущность метода заключается в особой конструкции колонкового снаряда: внутри колонковой трубы размещается вторая, внутренняя труба, которая служит для приема керна. Таким образом, керн помещается практически в специальном керноприемнике, что открывает дополнительные возможности для

предохранения его от разрушающего воздействия промывки и вибрации. Эти возможности реализуются различными конструкциями снарядов, в которых предусмотрена относительная изоляция керноприемника. В настоящее время применяются двойные колонковые снаряды (ДКС) различных типов (рис. 17).

ДКС с одновременно вращающимися наружной и внутренней трубами предохраняют керн только от размыва промывочной жидкостью. В этих снарядах наружная и внутренняя трубы навинчены на один переходник, в котором имеется ряд каналов

для промывочной жидкости; она направляется в кольцевой зазор между колонковыми трубами. Поэтому керн не подвергается воздействию промывочной жидкости. Обе колонковые трубы снабжены буровыми коронками, при этом внутренняя опережает наружную. ДКС с вращающейся наружной и невращающейся внутренней трубами предохраняют керн от размывания и ударов. В этих снарядах внутренняя труба имеет подвижное соединение с переходником и поэтому в процессе бурения не вращается; керн, находящийся внутри, не испытывает ударов. Отрыв и удержание керна при бурении с двойными колонковыми трубами осуществляется с помощью кернорвателей различной конструкции. Помимо этого известны ДКС более сложного устройства.

Для того чтобы не просто увеличить выход керна, но и сохранить присутствующие в породе газы (что особенно важно при разведке нефтяных, газовых, угольных месторождений), используют следующие принципы: 1) механическую герметизацию керна непосредственно на забое; 2) замораживание керна жидкой углекислотой; 3) улавливание газа, выделяющегося из керна при подъеме снаряда.

Для отбора керна в водоносных песках, гравии и галечниках применяют замораживание керна, при этом для промывки используется дизельное топливо, охлажденное в специальных установках с помощью сухого льда до температуры от -18 до -24°C .

Бурение снарядами со съёмными керноприемниками. Снаряды со съёмными керноприемниками представляют собой разновидность ДКС. В них принцип автономии керноприемного устройства получил дальнейшее развитие. Основная особенность конструкции комплекса ССК заключается в том, что съёмное керноприемное устройство (подобие внутренней колонковой трубы), закрепленное в процессе бурения внутри внешней колонковой трубы, после того как заполнится керном, может быть извлечено на поверхность без подъема бурильной колонны. Для этого по колонне бурильных труб на тросе опускается ловитель, захватывающий головку керноприемника и поднимающий его на поверхность (рис. 18). Взамен извлеченного опускается пустой керноприемник, фиксируется в снаряде и бурение может быть продолжено. Та-

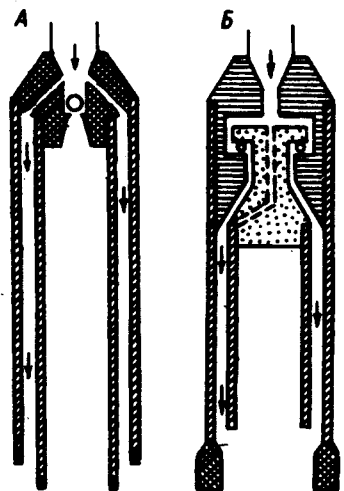


Рис. 17. Двойные колонковые трубы.

А — с вращающейся внутренней трубой, Б — с невращающейся внутренней трубой

ким образом, комплексы ССК способствуют повышению выхода керна, поскольку обладают всеми особенностями ДКС и кроме того позволяют резко сократить время на спуско-подъемные операции. Колонна бурильных труб извлекается только тогда, когда возникает необходимость смены истощившей свой ресурс буровой коронки.

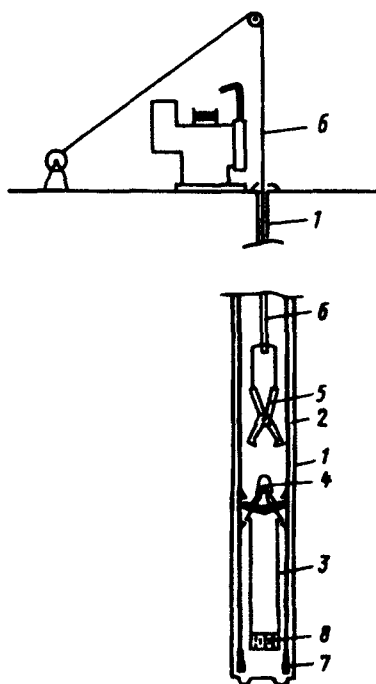


Рис. 18. Схема бурения со съемным кернаприемником.

1 — стенки скважины, 2 — внешняя колонковая труба, 3 — кернаприемник, 4 — головка кернаприемника, 5 — ловитель, 6 — трос, 7 — коронка, 8 — кернарватель

Для бурения комплексами ССК применяют специальные конструкции бурильных труб, которые отличаются от обычных тем, что имеют большой внутренний диаметр по всей длине колонны и соединяются между собой так, что обеспечивается гладкоствольность по внутреннему диаметру.

Технология бурения комплексами ССК является одним из наиболее сложных процессов по сравнению с другими видами бурения. Однако при этом обеспечивается ряд преимуществ: повышается механическая скорость бурения, уменьшаются затраты времени на спуско-подъемные и другие вспомогательные операции, улучшается качество опробования (выход керна составляет 80–100%), уменьшается искривление скважин, сбалансированная прямолинейная колонка комплекса ССК меньше подвержена вибрации и меньше разрушает стенки скважин.

Бурение скважин с непрерывным выносом керна струей промывочной жидкости. При геологической съемке и разведке многих видов полезных ископаемых колонковое бурение в разрезах, представленных рыхлыми породами и корой выветривания, неэффективно, поскольку не гарантирует достаточного выхода керна. В этом случае применяется бурение скважин с обратной промывкой, обеспечивающей непрерывный вынос выбуренного керна на поверхность восходящим потоком промывочной жидкости по колонне бурильных труб.

Для этого разработаны специальные комплексы технических средств. Особенностью этого метода является применение двойной концентрической колонны труб. В процессе бурения промывочная жидкость (техническая вода) нагнетается насосом в межтрубное пространство колонны, в 20–30 мм от забоя поступает в центральную внутреннюю трубу и, захватывая выбуренные керн и шлам, выносит на поверхность, где через керноотводящий рукав промывочной системы изливается вместе с керном и шламом в лотки керноприемника (рис. 19). Применение непрерывного транспортирования выбуренного материала позволяет бурить скважину без подъема труб до полного износа породоразрушающего инструмента, что сокращает время проведения спуско-подъемных операций и позволяет получить 100% выход разбуренного материала (керна и шлама).

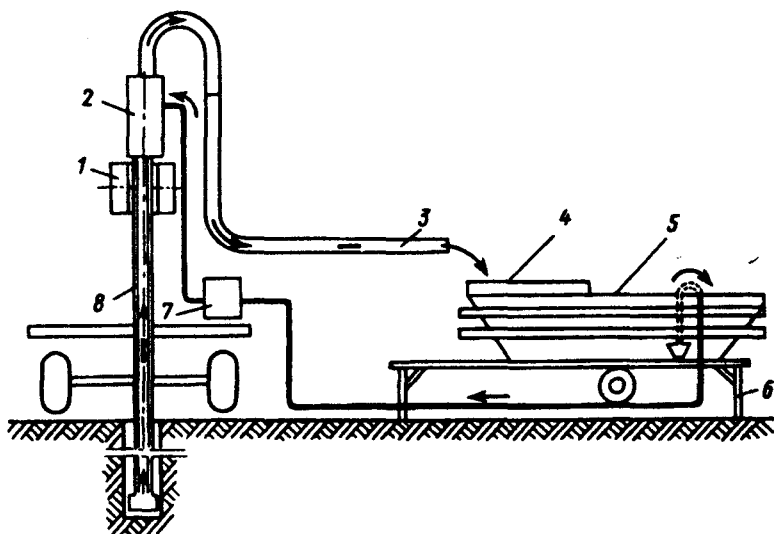


Рис. 19. Схема бурения с гидротранспортом керна.

1 — подвижный вращатель установки разведочного бурения, 2 — промывочный сальник, 3 — керноотводящий шланг, 4 — керноприемное устройство, 5 — прицеп-емкость, 6 — стеллаж, 7 — насос, 8 — двойная буровая колонна

Областью применения этого метода является проходка скважин глубиной до 100–300 м в мягких породах II–IV категорий по буримости с пропластками пород до VII категории. Этот метод может быть использован при выполнении следующих видов геологоразведочных работ:

1) детальное геологическое картирование в закрытых районах, где коренные породы перекрыты мощными толщами рыхлых

отложений; 2) геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемки и специальные исследования; 3) поиски и разведка месторождений бурого и каменного угля, бокситов и других рудных и нерудных месторождений; 4) глубинные геохимические поиски по первичным и вторичным ореолам рассеяния рудных месторождений; 5) отбор малых лабораторных и технологических проб угля и глины, шлиховых проб золота и др.

Ударно-вращательное бурение. Одним из способов повышения эффективности колонкового бурения является усиление разрушающего воздействия инструмента на породу путем сообщения ему дополнительно ударного импульса. Принцип сочетания вращательного и ударного способов разрушения пород положен в основу комбинированного ударно-вращательного бурения. Это осуществляется включением ударного механизма, помещенного в бурильной колонне непосредственно выше колонкового снаряда. Разрушение породы при ударно-вращательном способе происходит в результате суммарного воздействия ударных импульсов, осевой нагрузки и крутящего момента. Забойные ударные механизмы делятся на гидравлические — гидроударники и пневматические — пневмоударники. Гидроударники используют энергию потока промывочной жидкости, подаваемой к породоразрушающему инструменту. При этом кинетическая энергия жидкости преобразуется в возвратно-поступательное движение поршня-бойка, который наносит удары по наковальне породоразрушающего инструмента.

Гидроударники по конструкции разделяются на машины четырех видов: 1) прямого действия с возвратными пружинами; 2) двойного действия; 3) обратного действия; 4) непосредственного гидросилового действия.

Гидроударники прямого действия — машины, в которых разгон ударника и удар его по наковальне, жестко связанной с породоразрушающим инструментом, осуществляются под действием энергии потока промывочной жидкости, а возврат ударника в исходное положение — за счет сжатой при прямом ходе пружины. Эти машины получили наибольшее применение.

В гидроударниках обратного действия разгон ударника и удар его по наковальне осуществляется под действием массы ударника и энергии пружины, а подъем — взвод ударника (сжатие силовых пружин) — давлением промывочной жидкости. В гидроударниках двойного действия прямой и обратный ходы ударника осуществляются под действием энергии потока промывочной жидкости при отсутствии силовых пружин. В гидроударниках непосредственного гидросилового действия рабочая жидкость при периодически изменяющемся давлении действует непосредственно на поршень, жестко связанный с породоразрушающим инструментом.

Работа гидроударника прямого действия осуществляется по следующей схеме (рис. 20). Под действием потока промывочной жидкости поршень с нарастающей скоростью движется вниз, сжимая возвратные пружины. В определенный момент клапан, перекрывающий канал в поршне, останавливается и отрывается от поршня. Поршень-ударник под действием приобретенной кинетической энергии движется вниз и в конце хода наносит удар по наковальне, под действием которого породоразрушающий инструмент производит разрушение породы на забое. В этот отрезок времени жидкость свободно проходит к забою через канал в поршне ударника. После нанесения удара под действием сжатых пружин и отскока поршень и клапан возвращаются в исходное положение. При встрече поршня с клапаном поток промывочной жидкости перекрывается и цикл повторяется в той же последовательности (см. рис. 20). Гидроударники бывают среднечастотными (1200–1500 ударов в 1 мин) и высокочастотные (2000–3000 ударов в 1 мин).

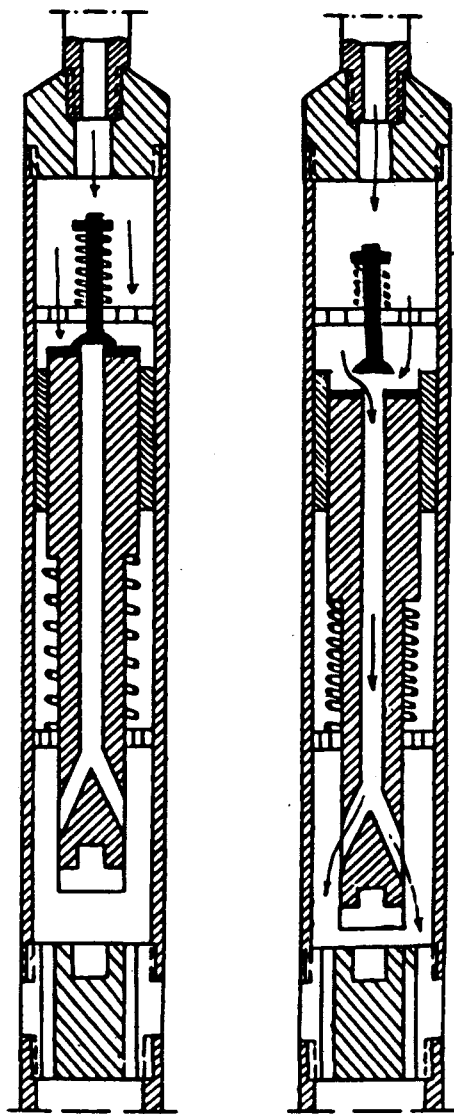


Рис. 20. Схема работы гидроударника

Основные параметры режима гидроударного бурения — осевая нагрузка, частота вращения, расход промывочной жидкости.

Оптимальная частота ударов на один оборот коронки исчисляется по формуле $m_{об} = \pi D_{ср} / l_0$, где $D_{ср}$ — средний диаметр коронки; l_0 — оптимальное расстояние пробега резцов между уда-

рами. Для пород IX–XI категорий $l_0 = 5\text{--}2$ мм, а для пород VII–VIII категорий по буримости $l_0 = 8\text{--}6$ мм. Оптимальная частота вращения коронки определяется по формуле $n = m_{уд}/m_{об} = m_{уд}l_0/\pi D_{ср}$, где $m_{уд}$ — частота ударов в 1 мин, развиваемая гидроударником. Обычно рекомендуется применять максимальные нагрузки и частоты вращения в монолитных породах, минимальные — в трещиноватых; в абразивных породах частота вращения снижается, а расход промывочной жидкости увеличивается и т.д. Гидроударное бурение производится специальными твердосплавными и алмазными коронками. Применение гидроударного бурения позволяет резко увеличить скорость проходки скважин, особенно по твердым породам, а также в большинстве случаев обеспечивает значительное снижение интенсивности искривлений скважин. При бурении скважин с продувкой ударно-вращательное бурение осуществляется с помощью пневмоударников. Принципиально этот способ не отличается от гидроударного бурения.

Роторное бурение и бурение забойными двигателями. Вращательное бурение при разведке нефтяных и газовых месторождений, а также с целью водоснабжения, добычи рассолов и минеральных вод осуществляется двумя способами: 1) роторным, при котором двигатель находится на поверхности и передает вращение долоту через колонну бурильных труб; 2) с помощью забойных двигателей, когда колонна бурильных труб не вращается, а долото приводится во вращение от вала забойного двигателя, установленного в колонне непосредственно над долотом.

Роторным называется такой вид быстровращательного бурения сплошным забоем, который осуществляется с помощью специального механизма, установленного над устьем скважины и называемого ротором. По существу роторное бурение аналогично бурению колонковым способом.

Установка для роторного бурения состоит из роторного станка, лебедки, насосов, буровой вышки с талевой системой, а также силового привода. Вращательная часть роторного станка состоит из двух конических шестерен и ведущей штанги квадратного сечения. Малая вертикальная шестерня передает вращение от двигателя большой горизонтальной шестерне — ротору. Ведущая штанга проходит через отверстие во вкладышах ротора, который приводит ее во вращение. Верхняя часть ведущей штанги посредством вертлюга соединяется с нагнетательным шлангом бурового насоса, нижняя — с колонной бурильных труб, на конце которой крепится породоразрушающий инструмент. Колонна бурильных труб, подвешенная при помощи крюка к талевому блоку, по мере углубления долота в породу плавно опускается с помощью тормозов барабана лебедки. С помощью лебедки и буровой вышки выполняются также спуско-подъемные операции. Бурение ведется обычно с интенсивной промывкой скважины.

Основными породоразрушающими инструментами служат разнообразные лопастные и шарошечные долота. Широко используются также алмазные долота. При необходимости бурения с отбором керна применяют колонковые снаряды, в том числе снаряды со съёмными кернаприемниками.

Помимо бурения глубоких скважин тяжелыми установками для структурно-картировочного бурения и проходки скважин на воду применяются легкие передвижные и самоходные буровые установки.

Забойные вращательные машины. Основное их преимущество заключается в том, что почти вся мощность двигателя передается непосредственно породоразрушающему инструменту и отпадает затрата энергии на вращение бурильной колонны.

При глубоком турбинном бурении общая схема буровой установки аналогична роторной. Разница в том, что при этом долото соединяется с валом турбобура, который опускается в скважину на колонне бурильных труб. Ротор в процессе бурения заторможен, и колонна бурильных труб не вращается. Отсутствие вращения бурильной колонны позволяет более эффективно использовать этот способ для направленного бурения скважин.

Погружные двигатели бывают двух видов: турбобур — гидротурбина с долотом и электробур — электродвигатель с долотом.

Турбобур представляет собой многоступенчатую турбину осевого типа. Принцип действия турбобура заключается в преобразовании гидравлической энергии потока жидкости в механическую энергию вращения вала. Гидравлическая турбина турбобура состоит из 100–120 ступеней. Каждая ступень турбины состоит из неподвижного, связанного с корпусом статора и вращающегося ротора, закрепленного на валу турбобура. Статор и ротор имеют одинаковое количество лопаток аналогичной формы, но повернутых в противоположные стороны. Статор является направляющим элементом для потока жидкости, а ротор — рабочим колесом турбины. Промывочная жидкость по бурильным трубам попадает в направляющие каналы статора первой ступени турбобура, где меняет направление и под определенным углом ударяет в лопатки ротора, приводя его во вращение. Затем жидкость проходит сквозь статор второй ступени и, изменив направление потока, ударяет в лопатки ротора второй ступени. Таким образом, поток жидкости проходит последовательно все ступени турбины, а затем через отверстия вала направляется в долото. При турбинном бурении используются насосы производительность 35–50 л/с, создающие давление $(3-5)10^6$ Па, скорость вращения долота 300–700 об/мин, диаметр скважин 200–250 мм.

Наряду с турбобурами применяются электробуры, представляющие собой погружные электродвигатели, опускающиеся в

скважину на трубах, шлангокабеле или кабельканате. В основном используют электробурь на трубах. Питание электроэнергией осуществляется с помощью кабеля, проложенного внутри бурильных труб. Электробурение имеет ряд достоинств: сокращается износ бурильных труб, меньше расход промывочной жидкости и давление (сравнительно с турбобуром), имеется возможность бурения с продувкой и др.

Ударно-канатное бурение. Ударно-канатное бурение применяется при проходке разведочных скважин на россыпных и штокверковых месторождениях, при инженерно-геологических и гидрогеологических работах, при сооружении скважин для добычи подземных вод. Ударно-канатным способом бурят взрывные скважины, а также некоторые виды скважин специального назначения. Преимущества этого вида бурения заключаются в простоте оборудования, отсутствии колонны бурильных труб, что упрощает проведение спуско-подъемных операций, а также в технологической универсальности и возможности использования в сложных геолого-технических условиях.

Разведочные скважины характеризуются небольшим диаметром (100–200 мм) и глубиной до 50–100 м; диаметр гидрогеологических и водозаборных скважин от 150–200 до 1000 мм, глубина до 200 м; диаметр скважин специального назначения достигает 500–1000 мм и более при глубине до 400 м.

При ударно-канатном бурении разрушение горных пород производится буровым снарядом, подвешенным на канате. Это определяет высокие скорости спуско-подъемных операций, возможность использования легких буровых станков.

Буровой снаряд состоит из долота, ударной и раздвижной штанг. Основной забойный инструмент долото может иметь различную конструкцию в зависимости от прочности, трещиноватости и абразивности горных пород. Плоские долота служат для разрушения мягких пластичных пород, двутавровые — для пород средней твердости, крестовые, пирамидальные — для твердых, трещиноватых пород и др. При бурении особо крепких пород для повышения стойкости лезвий в нижнюю часть головок долот ввариваются лезвия из более износостойких сталей повышенного качества. Ударная штанга служит для утяжеления снаряда. Длина ударных штанг от 3 до 6 м, диаметр от 100 до 200 мм. Раздвижная штанга (ножницы) представляет собой двухзвеньевую массивную цепь с ходом 150–200 мм, предназначена для отбоя снаряда после удара и выбивания заклинившегося долота.

Разрушение пород осуществляется при подъеме снаряда на определенную высоту и сбрасывания его на забой. Скважина приобретает круглое сечение благодаря поворотам долота за счет естественного раскручивания каната при работе. Для успешного разрушения породы в скважину иногда подливается вода,

благодаря чему в процессе долбления шлам частично находится во взвешенном состоянии. Проходка за одно долбление составляет от 5 до 100 см. Долото в среднем наносит 50 ударов в 1 мин. Скорость бурения зависит от крепости породы, глубины и диаметра скважины, массы бурового снаряда, высоты его подъема и скорости падения, частоты ударов, качества долота, степени очистки скважины от шлама.

После углубления забоя на некоторую величину (в зависимости от свойств породы) буровой снаряд поднимают из скважины, а для извлечения разрушенной породы в скважину опускается желонка. Желонки, предназначенные для очистки скважины от разрушенной породы, состоят из трубчатого корпуса, дужки в верхней части и башмака с клапаном внизу. Желонки бывают с плоским (тарельчатым), шаровым или сферическим клапаном. Желонку несколько раз приподнимают и сбрасывают на забой, а после заполнения шламом, который удерживается клапаном, извлекают на поверхность. Освобождается желонка от содержимого опрокидыванием. При проходке плавучих применяют поршневую желонку, внутри которой находится поршень со штоком. При подъеме желонки сначала перемещается вверх поршень, при этом через нижний клапан всасывается разжиженная масса. При опускании поршня она проходит через его клапан в верхнюю часть желонки и при следующем подъеме поршень засасывает новую порцию шлама. Такой желонкой можно полностью очистить забой, поэтому ее применяют при разведке россыпных месторождений золота.

При проходке скважиной неустойчивых пород, а также для перекрытия отдельных участков в скважину опускают стальные обсадные трубы. При бурении скважин на воду (особенно при агрессивных водах) для крепления используют асбоцементные и полиэтиленовые трубы. Крепление скважин производится обычным способом или путем забивки труб в неустойчивые породы одновременно с проходкой скважины.

При проходке мягких, вязких пород применяют плоские долота, а чистка скважины осуществляется желонкой. В ряде случаев скважина углубляется путем уплотнения породы в стенки при минимальном извлечении ее из скважины; для этого применяют округляющие массивные долота. В таких случаях стенки укрепляются настолько прочно, что отпадает необходимость использования обсадных труб. Проходка водоносных, плавучих, некоторых разновидностей глинистых пород осуществляется только желонками. Обычно в этих случаях, а также всегда при разведке россыпных месторождений используют опережающую обсадку скважин: обсадные трубы в процессе проходки забиваются на 5–10 см ниже забоя скважины, постоянно опережают забой, а разрыхление породы долотом и извлечение ее желонкой произво-

дится в трубах. Это предотвращает непрерывное поступление сыпучего или плавучего материала, обеспечивает эффективную проходку скважины и дает возможность производить отбор представительных проб.

Ударно-канатные станки имеют ударный механизм и два или три барабана (инструментальный, желоночный и талевый). Ударный механизм и барабаны приводятся в движение от двигателя внутреннего сгорания или электромотора. Для спуска и подъема инструмента и труб станки оснащены мачтами, оборудованными роликами: инструментальными, желоночными, талевым.

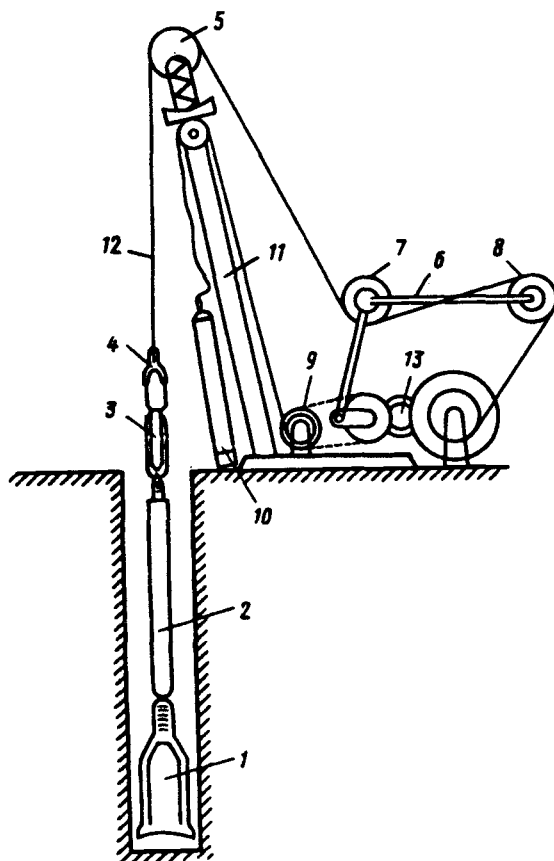


Рис. 21. Схема ударно-канатного бурения.

1 — долото, 2 — ударная штанга, 3 — раздвижная штанга (ножницы), 4 — канатный замок, 5 — головной ролик, 6 — балансирующая рама, 7 — оттяжной ролик, 8 — распределительный ролик, 9 — желоночный барабан, 10 — желонка, 11 — мачта, 12 — канат, 13 — главный вал

Принципиальная схема работы станка ударно-канатного бурения приведена на рис. 21. Один конец инструментального каната (12) закреплен в канатном замке (4) и к нему подвешен рабочий инструмент; затем канат проходит через головной ролик (5), помещенный на мачте, через оттяжной ролик (7) на балансирующей

раме (6), через распределительный ролик (8) и навивается на инструментальный барабан, на котором закрепляется второй конец. Балансирная рама (ударный механизм) (6) с оттяжным роликом (7) приводится в колебательное движение шатунным механизмом, получающим движение от главного вала станка. В результате колебательного движения канат (12) будет поднимать и свободно сбрасывать буровой снаряд, а долото — наносить удары по забою скважины. Раздробленная порода извлекается желонкой, которая опускается в скважину с желоночного барабана (9), через дополнительный, второй блок.

Ударно-канатные станки применяются при инженерно-геологических изысканиях для получения керна. Для этого применяют специальные забивные стаканы. В одних случаях при бурении с отрывом стакана от забоя его неоднократно сбрасывают на забой, вследствие чего он заполняется грунтом. Качество такого керна невысоко, но для ряда исследований вполне удовлетворительно. В других случаях применяют бурение без отрыва от забоя, когда стакан углубляется с помощью специального забивного приспособления, позволяющего забить стакан не отрывая его от забоя на 0,6–0,8 м. При этом неизбежно уплотнение образца, но качество керна значительно выше, чем при бурении с отрывом от забоя. Глубина бурения составляет от 15 до 50 м при диаметре 92–132 мм, а иногда до 200–300 мм. Для инженерно-геологических целей используют также бурение желонкой — в несвязных породах с одновременной или опережающей обсадкой.

Бурение гидрогеологических и водозаборных скважин. Проходка скважин на воду имеет различное целевое назначение: поиски и разведка подземных вод, водоснабжение, понижение уровня подземных вод при строительстве, разработке полезных ископаемых, многолетние режимные наблюдения, захоронение промышленных стоков и др. Бурение скважин осуществляется в основном ударно-канатным и вращательным роторным способами. Иногда используют шнековое и вибрационное бурение.

Особенностью конструкции скважин, сооружаемых на воду, является установка в них эксплуатационной колонны обсадных труб, перекрывающей все породы до кровли водоносного пласта. В этой колонне монтируется водоподъемник (рис. 22). В зависимости от характера водосодержащих пород водоприемная часть скважины может быть оборудована фильтром или не иметь его. Бесфильтровые скважины применяются в том случае, когда водоносный горизонт представлен трещиноватыми, но устойчивыми породами — гранитами, известняками и др. Если водосодержащими породами являются рыхлые, сыпучие (пески, галька, гравий) или сильнотрещиноватые, в скважину помещается фильтр. Фильтры предохраняют водоприемную часть скважины от заплывания и обвалов и очищают поступающую в эксплуатационную колонну

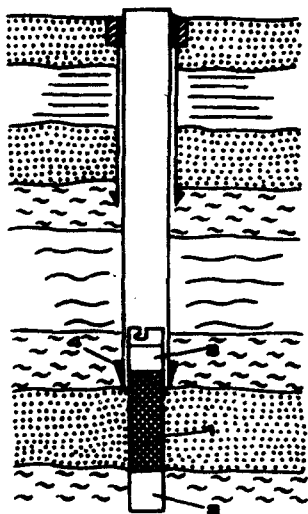


Рис. 22. Конструкция фильтровой скважины.

1 — рабочая часть фильтра, 2 — отстойник, 3 — надфильтровая часть, 4 — герметизирующий сальник

воду от механических примесей. Фильтр состоит из надфильтровой части, рабочей части и отстойника, закрытого снизу пробкой. Надфильтровая часть, представляющая собой глухой патрубок, предназначена для установки и извлечения фильтра и соединения его с эксплуатационной колонной, для чего на ней размещается герметизирующий сальник. Рабочая часть — собственно фильтр — предназначена для пропуска жидкости без частиц породы из продуктивного горизонта в скважину. Отстойник служит для осаждения прошедших в рабочую часть фильтра частиц породы. Фильтры должны обладать максимальной пропускной способностью воды при хорошей ее очистке, достаточной прочностью, антикоррозийной устойчивостью, пригодностью для длительной эксплуатации. При этом фильтры должны быть достаточно просты в изготовлении и дешевы.

Основными конструктивными элементами рабочей части фильтра являются каркас и фильтрующее покрытие. В зависимости от гранулометрического состава водосодержащей породы, ее устойчивости и химического состава воды применяются три типа фильтров: простые без покрытий, каркасные с тонкими фильтрующими покрытиями и фильтры с засыпкой (рис. 23). Каркасы фильтров изготавливаются из разных материалов: стали, чугуна, латуни, дерева, пластмассы, асбоцемента, керамики и др. Выбор материала зависит в основном от характера подземных вод: в случае агрессивных вод используют нержавеющую сталь, пластмассы, керамику. На боковой поверхности трубчатых каркасов высверливаются круглые отверстия или продольные щели. Размеры отверстий выбираются в соответствии с крупностью зерна породы продуктивного горизонта.

Водопропускная способность фильтра характеризуется его скважностью, т.е. отношением площади проходных отверстий ко всей рабочей поверхности фильтра. Скважность фильтра с круглыми отверстиями достигает 25–30%, а щелевого — 10–15%. Каркасы изготавливаются разнообразных размеров по диаметру, длине и пропускной способности. Тонкими фильтрующими покрытиями для них служат сетки (металлические, пластмассовые, стеклянные) и проволока.

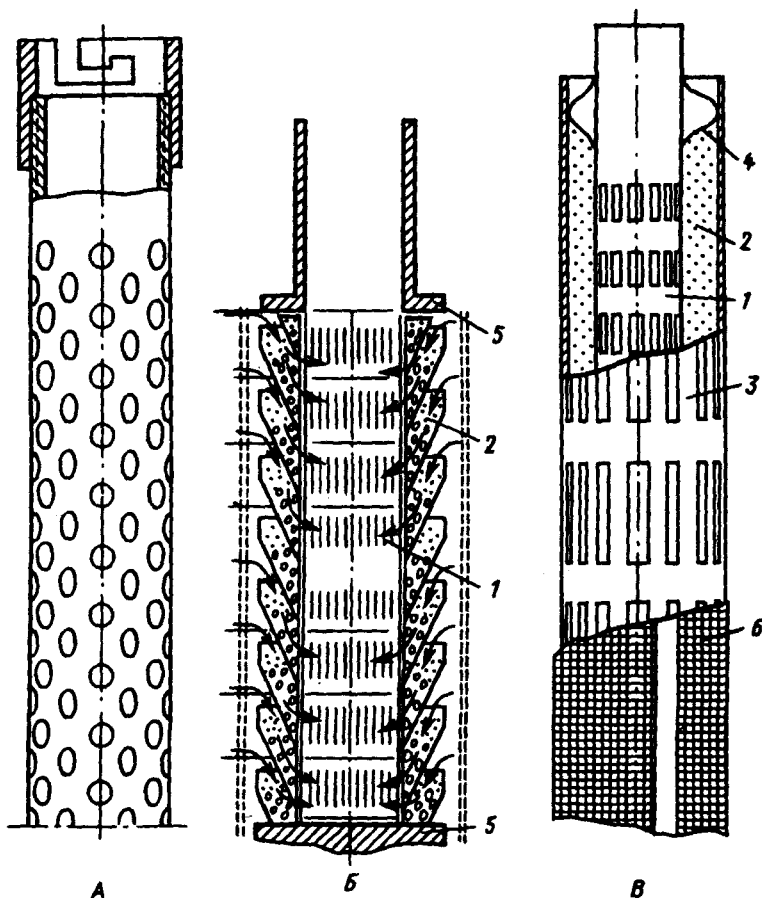


Рис. 23. Фильтры: трубчатый стальной (А); корзиночный (Б); кожаный (В).

1 — опорный каркас, 2 — гравийная обсыпка, 3 — внешний каркас, 4 — направляющие фонари, 5 — опорные фланцы, 6 — фильтровая сетка

Каркасно-проволочные фильтры применяют в гравелистых и крупнозернистых водоносных песках. Они представляют собой каркасы, обмотанные проволокой из нержавеющей стали диаметром 1,5–3,0 мм. Для улучшения доступа воды на каркас под обмотку привариваются продольные ребра из стальной проволоки диаметром 3–5 мм. Шаг спиральной обмотки зависит от гранулометрического состава пород и изменяется от 1 до 6 мм. Вместо проволоки может быть использован капроновый шнур диаметром 3–5 мм, который наматывается на каркас без видимого зазора между витками. Сетчатые фильтры рекомендуется использовать

в крупно-, средне- и мелкозернистых водоносных песках. Они состоят из каркаса, закрытого сеткой (металлической, латунной, пластмассовой), иногда тканью из стекловолокна, капрона или нейлона.

В мелко- и тонкозернистых водоносных песках, где сетчатые фильтры не обеспечивают надежной очистки воды, применяют гравийные фильтры. Они состоят из обычного каркасно-проволочного или сетчатого фильтра, рабочая часть которого окружена слоем гравия или крупнозернистого песка. По способу изготовления они бывают двух типов. Первый полностью собирается на поверхности и с засыпкой в готовом виде опускается в скважину. Второй тип создается в скважине путем засыпки гравия и песка между каркасом и стенками скважины. Такие фильтры в основном устраивают в скважинах ударного бурения.

Установка фильтра любого типа в скважине с неустойчивыми стенками, пробуренной ударно-канатным способом, производится под защитой колонны обсадных труб, бапмак которой задавливается в водоупор, подстилающий водоносный слой. После установки фильтра обсадные трубы приподнимают настолько, чтобы рабочая часть фильтра оказалась обнаженной, или полностью извлекают из скважины.

При вращательном бурении с промывкой глинистым раствором перед вскрытием водоносного пласта скважину перекрывают обсадной колонной, которая обычно используется в качестве эксплуатационной. Водоносный пласт в этом случае трубами не перекрывается, так как стенки его удерживаются глинистой коркой и гидростатическим давлением столба жидкости.

Процесс спуска фильтра в скважину осуществляется тремя способами: на трубной колонне, которая остается в скважине вместе с фильтром, на трубной колонне с левым переводником или со спусковым крюком; последние два способа позволяют разъединять фильтр от спускной колонны и устанавливать его "в потай"; в этом случае зазор между надфильтровой частью и обсадной колонной перекрывается сальником.

При бурении с промывкой глинистым раствором частицы глины проникают в водоносный горизонт, закупоривают поры породы, образуют на стенках корку, препятствующую поступлению воды в скважину. Для восстановления водоотдачи водоносного горизонта проводят его разглинизацию. В случае напорных водоносных горизонтов, представленных разномзернистыми песками или трещиноватыми породами, используют эрлифт, который позволяет создать резкие перепады давления в скважине, вследствие чего происходит интенсивное вымывание глинистых частиц и шлама из пород водоносного горизонта. Разглинизацию слабонапорных водоносных горизонтов производят промывкой зафильтровой зоны водой, прокачиваемой через фильтр. Для откачки воды из

скважин используют различные водоподъемники. Выбор типа водоподъемника зависит от положения динамического уровня воды в скважине, диаметра эксплуатационной колонны и требуемой производительности.

Если динамический уровень воды находится на глубине не более 6-7 м от устья скважины, для откачки используют обычные поршневые и центробежные насосы, установленные вместе с приводящими их двигателями на поверхности около устья скважины.

Когда динамический уровень располагается ниже пределов всасывания указанных выше насосов, скважину оборудуют глубоководными водоподъемниками: поршневыми штанговыми насосами, артезианскими центробежными насосами с двигателем на поверхности, винтовыми артезианскими насосами, центробежными насосами с погружным двигателем, водоструйными насосами (гидроэлеваторами) и эрлифтами.

Бурение скважин в многолетней мерзлоте требует применения особой технологии проходки и крепления. Это обусловлено высокой чувствительностью рыхлых, сцементированных льдом отложений, к изменению их температурного режима в процессе бурения. Работа бурового снаряда и в особенности циркулирующая в скважине промывочная среда могут вызвать растворение льда, оттаивание пород, что неизбежно приводит к авариям и делает невозможным проходку скважины. Растворение льда и тепловое взаимодействие промывочной среды и мерзлых пород являются основными проблемами бурения в условиях мерзлоты. По этой причине главное внимание уделяется всему технологическому комплексу промывки (или продувки) скважин.

В процессе бурения скважины возникают сложные процессы теплообмена между окружающим скважину массивом мерзлых пород и циркулирующей в скважине промывочной средой.

Нисходящий поток промывочной среды в бурильных трубах находится в состоянии непрерывного теплообмена с восходящим потоком в кольцевом пространстве, который, в свою очередь контактируя с окружающими породами (непосредственно или через обсадные трубы), непрерывно изменяет свою температуру. В результате теплообмена с циркулирующей в скважине промывочной средой происходит нарушение теплового баланса массива горных пород вследствие оттока тепла от ствола скважины (или наоборот). В призабойной зоне скважины промывочная среда воспринимает тепло, выделяющееся за счет механической работы. Местный источник тепла в зоне забоя влияет не только на температуру восходящего потока, но и вследствие теплообмена через стенки бурильных труб — на температуру нисходящего потока (рис. 24).

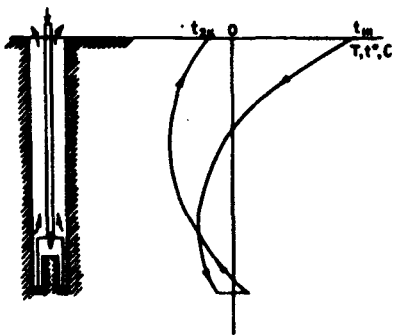


Рис. 24. График распределения температуры промывочной среды при бурении в мерзлых породах

Температура промывочной среды в любой точке циркулирующей системы скважины в любой момент времени является результатом совместного проявления таких факторов, как расход и начальная температура промывочной среды, скорость движения и турбулентность потока, физические и теплофизические свойства промывочной среды и проходимых скважиной горных пород, естественная температура последних и характер ее изменения по глубине, конструктивные особенности, свойства

материала бурильной колонны и обсадных труб, скорость бурения и продолжительность рейса, мощность, развиваемая на забое породоразрушающим инструментом, и т.д.

В практике бурения скважин встречаются два основных типа мерзлых пород: мерзлые сухие породы, не содержащие в свободном состоянии воды и льда, и льдистые мерзлые породы, содержащие в порах, трещинах и кавернах свободную воду или лед. Основное условие эффективного бурения скважин в таких условиях — использование промывочной жидкости с температурой заморзания, близкой к температуре мерзлых пород, но всегда на 2–3°С выше.

В качестве промывочных жидкостей используют глинистые, малоглинистые растворы и полимерные безглинистые. В эти растворы могут вводиться различные реагенты-стабилизаторы, пенообразователи, противокоррозионные, противоморозные добавки и др. Установлено, что для обеспечения нерастекаемости пород температура промывочной жидкости, нагнетаемой в скважину, должна быть в пределах от 0 до –2,5°С и по возможности близкой к температуре окружающих пород.

При бурении многолетнемерзлых пород, теряющих устойчивость при оттаивании, иногда используются солевые растворы. Эти растворы представляют собой техническую воду с добавлением водных растворов солей хлористого натрия, хлористого кальция и хлористого магния в концентрациях, подобранных в соответствии с температурой пород, слагающих стенки скважины. Перед нагнетанием в скважину растворы охлаждаются до необходимых температур.

Применение сжатого воздуха вместо промывочной жидкости является существенным шагом вперед в решении проблемы разведочного бурения в условиях мерзлоты. Сжатый воздух в отличие

от воды и глинистых растворов не замерзает в процессе бурения, в результате чего полностью устраняются осложнения, связанные с замерзанием промывочной среды.

Применяемые при бурении с продувкой массовые расходы воздуха в единицу времени обычно в 15–25 раз меньше массового расхода любой промывочной жидкости, а его удельная массовая теплоемкость соответственно в 4 раза меньше. Поэтому при одной и той же начальной температуре нагнетаемой в скважину промывочной среды воздух несет с собой в 60–100 раз меньше тепла, чем промывочная жидкость. Это существенно снижает опасность осложнений, связанных с протаиванием и потерей устойчивости и монолитности мерзлых пород.

В указанном отношении воздух как промывочный агент значительно эффективнее, например, солевого раствора (NaCl или CaCl_2 в воде), который хотя и не замерзает в скважине, но в силу своей способности нести большой запас тепла может нарушить естественное агрегатное состояние слагающих стенки скважины мерзлых пород, что ведет к появлению осложнений из-за их протаивания.

Во всех случаях бурения с продувкой воздухом его температура резко возрастает у забоя скважины за счет тепла, отбираемого от породоразрушающего инструмента. Проблема устранения резкого прироста температуры в призабойной зоне, который также может привести к осложнениям, решается сочетанием охлаждения воздуха на поверхности с использованием встраиваемого в нижнюю часть бурового снаряда погружного вихревого холодильника. Он характеризуется небольшими размерами, отсутствием трущихся частей и создает в холодной струе температуру воздуха до -40 — -50°C . Подаваемый в скважину сжатый воздух должен быть охлажден и осушен, чтобы предотвратить выпадение конденсата и связанные с этим осложнения.

В качестве промывочных агентов используются газожидкостные дисперсные системы. Они делятся на аэрированные жидкости, туманы и пены. Пены представляют собой, как правило, многофазные дисперсные системы, в которых дисперсной средой служит жидкость, а дисперсной фазой — газ. Аэрированные жидкости отличаются от пен тем, что в них концентрация газа значительно ниже, пузырьки газа не связаны между собой и имеют шарообразную форму. К пенам относятся дисперсные системы, в которых газообразная фаза составляет основную часть объема — до 99%.

Ряд существенных технологических преимуществ газожидкостных систем обуславливается известными преимуществами входящих в них компонентов — жидкости и газа. Присутствие газа позволяет снижать гидростатическое давление, обеспечивает лучшие условия удаления из скважины бурового шлама.

для обеспечения высокого выхода и качества керна, текстурно-структурные особенности которого в данном случае сохраняются без изменений.

Опыт буровых работ и специально проведенные эксперименты показывают, что наиболее успешно опережающее замораживание осуществляется в тех случаях, если в качестве агента-хладоносителя используется дизельное топливо или керосин, охлажденные перед подачей в скважину до -25 — -35°C . Выход керна при этом составляет от 75 до 100%. Известны опыты по замораживанию зон катастрофических поглощений с помощью жидкого азота, доставляемого в скважину в специальной теплоизолированной желонке.

Механическое бурение неглубоких скважин. Бурение неглубоких скважин (глубиной до 50–60 м) широко распространено и используется при проведении геолого-поисковых работ, разведке приповерхностных месторождений (россыпных, месторождений коры выветривания, строительных материалов), инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях и др. Большинство этих скважин бурится в рыхлых слабосвязных породах, в песках, суглинках, глинистых отложениях, нередко содержащих гальку и валуны. В связи с этим скважины обычно закрепляются обсадными трубами, а в некоторых случаях имеют сложные, двух- и трехколонные конструкции. При проходке неглубоких скважин используются разнообразные способы бурения, в том числе такие, которые в иных условиях не применяются. Из всего разнообразия методов бурения неглубоких скважин, используемых в многочисленных типах буровых установок, целесообразно рассмотреть следующие: 1) ударное бурение с помощью забивных стаканов и грунтоносов; 2) комбинированное ударно-вращательное бурение; 3) шнековое бурение; 4) вибрационное и виброударное бурение.

Кроме этого неглубокие скважины бурятся практически всеми способами, рассмотренными выше.

Ударное бурение стаканами и грунтоносами. Бурение скважин глубиной до 30 м в рыхлых и сыпучих породах осуществляется с применением специального инструмента — забивных стаканов, ударных гильз, желонки, обеспечивающих одновременное разрушение породы по кольцу на забое и извлечение на поверхность разрушенной породы и образцов с малонарушенной структурой. Такие скважины широко используются в инженерно-геологических исследованиях, а также при разведке некоторых видов стройматериалов. Скважины проходят с помощью легких буровых установок, основным рабочим органом которых является планетарная или фрикционная лебедка грузоподъемностью 500–700 кг. Привод лебедки осуществляется от двигателя внутреннего сгорания. Установки комплектуются легкой мачтой или треногой высотой 3–6 м. Технология бурения

скважины сводится к следующему. Буровой снаряд, состоящий из ударного стакана (гильзы) и ударной штанги, подвешивается на канате. Канат огибает ролик на вершине мачты и закрепляется на барабане лебедки. Лебедкой поднимают и сбрасывают буровой снаряд. Высота подъема 0,6–1,0 м, число ударов 15–25 в 1 мин. После заполнения стакана породой инструмент поднимают на поверхность для взятия образца и очистки стакана от выбуренной породы.

Для бурения в мягких породах применяют ударные буровые гильзы (стаканы). В сыпучих и неустойчивых породах бурение производится желонками при одновременной обсадке трубами. Для отбора монолитов грунта используют грунтоносы с ударниками: грунтонос с ударником и ударной штангой на канате опускают на предварительно очищенный забой, после чего ударной штангой наносятся удары по наковальне, которые передаются грунтоносу, а он, не отрываясь от забоя, внедряется в грунт.

Комбинированное ударно-вращательное бурение при поисках и разведке россыпных месторождений осуществляется с помощью легких буровых установок, в том числе смонтированных на автомашине. Рабочие механизмы такой установки позволяют сочетать ударно-канатный и медленновращательный способы бурения в любой последовательности и одновременно крепить стенки скважины обсадными трубами. Ударно-канатное бурение производится долотом, желонками или забивными стаканами без отрыва керноприемной гильзы от забоя. Для медленновращательного бурения предназначены ложковые и спиральные буры, опускаемые в скважину на буровых штангах. Обсадка труб производится забивкой их ударным снарядом с одновременным вращением ротором. При этом башмак обсадных труб может находиться впереди забоя, на одном с ним уровне или отставать от забоя на интервал опробования. При диаметрах бурения от 89–127 до 253 мм глубина скважины может быть достигнута до 15–25 м.

Основными узлами установок являются: ударный механизм свободного сброса, подвижный вращатель (ротор), лебедка, мачта и привод от дизельного двигателя. Ударный механизм рассчитан на бурение снарядами массой 150 или 300 кг (в разных типах установок) при частоте ударов 27–45 в 1 мин и высоте подъема ударного снаряда над забоем 600–650 мм. Ротор приспособлен для вращения бурового снаряда и обсадных труб с широким диапазоном скоростей (7–12 до 12–75 об/мин). Высота мачты 7 м.

Шнековое бурение. Сущность вращательного бурения шнеками заключается в том, что разрушаемая долотом на забое порода поднимается на поверхность одновременно с углублением забоя с помощью винтового транспортера — колонны шнеков.

скважины сводится к следующему. Буровой снаряд, состоящий из ударного стакана (гильзы) и ударной штанги, подвешивается на канате. Канат огибает ролик на вершине мачты и закрепляется на барабане лебедки. Лебедкой поднимают и сбрасывают буровой снаряд. Высота подъема 0,6–1,0 м, число ударов 15–25 в 1 мин. После заполнения стакана породой инструмент поднимают на поверхность для взятия образца и очистки стакана от выбуренной породы.

Для бурения в мягких породах применяют ударные буровые гильзы (стаканы). В сыпучих и неустойчивых породах бурение производится желонками при одновременной обсадке трубами. Для отбора монолитов грунта используют грунтоносы с ударниками: грунтонос с ударником и ударной штангой на канате опускают на предварительно очищенный забой, после чего ударной штангой наносятся удары по наковальне, которые передаются грунтоносу, а он, не отрываясь от забоя, внедряется в грунт.

Комбинированное ударно-вращательное бурение при поисках и разведке россыпных месторождений осуществляется с помощью легких буровых установок, в том числе смонтированных на автомашине. Рабочие механизмы такой установки позволяют сочетать ударно-канатный и медленновращательный способы бурения в любой последовательности и одновременно крепить стенки скважины обсадными трубами. Ударно-канатное бурение производится долотом, желонками или забивными стаканами без отрыва керноприемной гильзы от забоя. Для медленновращательного бурения предназначены ложковые и спиральные буры, опускаемые в скважину на буровых штангах. Обсадка труб производится забивкой их ударным снарядом с одновременным вращением ротором. При этом башмак обсадных труб может находиться впереди забоя, на одном с ним уровне или отставать от забоя на интервал опробования. При диаметрах бурения от 89–127 до 253 мм глубина скважины может быть достигнута до 15–25 м.

Основными узлами установок являются: ударный механизм свободного сброса, подвижный вращатель (ротор), лебедка, мачта и привод от дизельного двигателя. Ударный механизм рассчитан на бурение снарядами массой 150 или 300 кг (в разных типах установок) при частоте ударов 27–45 в 1 мин и высоте подъема ударного снаряда над забоем 600–650 мм. Ротор приспособлен для вращения бурового снаряда и обсадных труб с широким диапазоном скоростей (7–12 до 12–75 об/мин). Высота мачты 7 м.

Шнековое бурение. Сущность вращательного бурения шнеками заключается в том, что разрушаемая долотом на забое порода поднимается на поверхность одновременно с углублением забоя с помощью винтового транспортера — колонны шнеков.

Основной частью снаряда является колонна шнеков, представляющих собой пустотелые или массивные штанги, на поверхность которых по винтовой линии наварена стальная лента — реборда. На нижнем конце колонны закрепляется породоразрушающий инструмент. Под действием осевой нагрузки вращающийся породоразрушающий инструмент отделяет от забоя частицы породы, которые попадают на винтовую поверхность реборды и центробежными силами прижимаются к стенкам скважины. Трение о стенки не позволяет породе вращаться со шнеком, вследствие чего она скользит по винтовой поверхности колонны шнеков и перемещается к устью скважины. Таким образом, отделяемая от забоя в процессе бурения порода непрерывно транспортируется на поверхность. При движении породы от забоя к устью некоторая часть ее втирается ребордой в стенки скважины, закрепляя их. Быстрое внедрение инструмента в мягкие породы с относительно низкой температурой обеспечивает его охлаждение.

Шнековый способ бурения эффективно применяется при проходке скважин в мягких и средней крепости породах, а также в слабо сцементированных галечниках, если размеры гальки меньше ширины реборды. В качестве породоразрушающего инструмента применяют двух- или трехлопастные долота, армированные твердыми сплавами.

Основными факторами технологического режима шнекового бурения являются осевая нагрузка и скорость вращения шнековой колонны, достигающая 200–300 об/мин. По мере углубления скважины колонна шнеков наращивается последующими звеньями. Проходка плывунов и водоносных горизонтов осуществляется при одновременном спуске обсадной колонны для крепления стенок скважины. Таким способом можно бурить скважины диаметром от 67 до 490 мм на глубину до 50–80 м.

Геологическая документация производится при изучении поднимаемой шнеками породы. Для уточнения документации бурение ведут малыми интервалами.

Для взятия образцов породы (кернов) применяют шнеки с большим проходным отверстием в трубе, куда опускается грунтоноски, закрепляемая в нижнем шнеке с помощью фиксаторов. В этом случае применяют специальные долота, позволяющие разрушать породу по кольцевому забою. Подъем грунтоноски после заполнения ее керном производится ловителем, который спускается в скважину на канате и во время бурения находится внутри шнековой колонны. Этим способом проходятся сейсморазведочные, инженерно-геологические и гидрогеологические скважины, а также скважины при геологической съемке и поисках полезных ископаемых. Для бурения шнеками разработаны разнообразные конструкции буровых установок.

Недостатками шнекового бурения являются относительно небольшая глубина, невозможность бурения в твердых породах, трудность бурения ниже уровня подземных вод, а также вязких и липких глинистых пород, перемешивание транспортируемой породы, что затрудняет документацию.

Вибрационное и виброударное бурение. Вибрационным называется бурение, при котором породоразрушающему инструменту передаются вибрационные или виброударные нагрузки, совмещаемые с осевым усилием, создаваемым массой инструмента и вибратора. Вибрационный способ может быть использован только при бурении мягких и рыхлых пород.

Различают две разновидности вибрационного бурения: чисто вибрационное и виброударное. В первом случае инструменту сообщаются синусоидальные (или какие-либо другие по форме) колебания. Разрушение мягких пород (песков, супесей, суглинков, глин) в зоне контакта с породоразрушающим инструментом происходит за счет механического воздействия, чему способствует разжижение пород при вибрации.

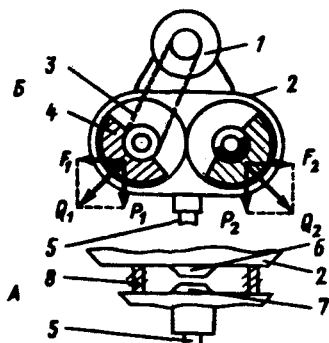


Рис. 25. Принципиальная схема вибромолота (А) и вибратора (Б).

1 — электродвигатель, 2 — корпус, 3 — клиноременная передача, 4 — эксцентрик (дебаланс), 5 — переходник на буровой снаряд, 6 — боек, 7 — наковальня, 8 — пружина

Принципиальная схема простейшего двухвального вибратора показана на рис. 25. Два вала, на каждом из которых закреплены дополнительные грузы — дебалансы, соединены между собой шестеренным синхронизатором. Они помещены в корпусе, на котором помещен электродвигатель. Вращение от него посредством клиновых ремней передается одному из валов. Скорость вращения достигает 2000 об/мин. Вибратор с присоединенными к нему бурильными трубами подвешивается на канате. Эксцентрично расположенные дебалансы, вращаясь в противоположные стороны синфазно с равной угловой скоростью, генерируют центробежные силы, горизонтальные составляющие которых взаимно уравновешиваются, а вертикальные — складываются.

Суммарная вертикальная сила изменяется по гармоническому (синусоидальному) закону. Она и возбуждает колебания вибратора, передающиеся бурильными трубами породоразрушающему инструменту. В качестве породоразрушающего инструмента применяются виброзонд, грунтонос и виброжелонка.

По мере увеличения глубины скважины возрастает масса инструмента, увеличивается его упругость. За счет этого амплитуда

колебаний существенно снижается. Поэтому глубина бурения поверхностными вибраторами не превышает 25–30 м. Вибрационное бурение более глубоких скважин можно осуществить с помощью погружных вибраторов. Поскольку вибромеханизм в данном случае находится непосредственно над породоразрушающим инструментом, скорость бурения с увеличением глубины скважины мало снижается. Погружной вибратор (или вибромолот) опускается в скважину на кабель-канате, что исключает применение бурильных труб и ускоряет спуско-подъемные операции.

Вибромолот представляет собой вибратор, в колебательную систему которого введен ограничитель колебаний — наголовник с наковальней. С ограничителем вибратор либо вообще не связан, либо связан с помощью пружины. Поэтому колебания корпуса вибратора преобразуются в удары бойка по наковальне ограничителя, который жестко связан с погружаемым (или извлекаемым) инструментом. Создаваемые ударные импульсы высокой частоты передаются через бурильную колонну прижатому к забою инструменту, который внедряется в породу, разрушая ее.

Существует большое количество различных вибраторов и вибромолотов, используемых для бурения скважины или погружения и извлечения обсадных труб. Вибромеханизмы различаются между собой параметрами, конструктивным исполнением и массой.

Глава 3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование ее ресурсов, в частности недр, стала одной из актуальнейших проблем. За последние годы в стране принят ряд важнейших законов по проблемам охраны окружающей среды, в которых регламентируется порядок отвода земельных участков, права и обязанности пользователей недр, требования к защитным мероприятиям и др.

Отрицательное воздействие геологоразведочных работ на природную среду может быть и не столь велико, как некоторых других производств, но в ряде случаев приносит значительный ущерб. Основные негативные последствия производства геологоразведочных работ могут быть сведены к следующим.

Атмосферный воздух: загрязнение выхлопными газами двигателей транспортных, технологических и энергетических машин; загрязнение воздухом, выдаваемым из подземных горных выработок; газо-пылевое загрязнение при взрывах, производимое в открытых горных выработках и при строительстве дорог и промышленных площадок; загрязнение минеральной пылью при ветровой эрозии отвалов и поверхностей открытых горных выработок.

Водная среда: загрязнение промывочной жидкостью при бурении разведочных скважин; загрязнение при некачественном ликвидационном тампонаже разведочных скважин; загрязнение водами, выдаваемыми из подземных горных выработок; загрязнение при водной эрозии отвалов.

Земная поверхность: нарушение почвенно-растительного покрова при бездорожном наземном транспорте, строительстве и ремонте временных автотранспортных дорог и промплощадок; нарушение при проведении открытых горных выработок; нарушение при размещении отвалов; загрязнение буровым шламом и породой временных отвалов.

Загрязнение *атмосферного воздуха* при геологоразведочных работах признается не столь существенным по сравнению с тем загрязнением, которое производится при разработке месторождений. Так, из подземных горных выработок шахт и рудников в атмосферу Земли ежегодно поступает около 0,2 млн т пыли. При взрывах даже средней мощности на рудных карьерах одновременно выбрасывается на значительную высоту до 100–200 т пыли.

Для сокращения промышленного загрязнения атмосферы при геологоразведочных работах целесообразно применение следующего комплекса мероприятий: более широкое использование электроэнергии от государственных и районных ЛЭП; укрупнение собственных тепловых электростанций с более совершенными приводами, реализация энергии рек и ветра; эксплуатация

технологических машин и передвижных компрессоров с электроприводом, частичная замена пневматических горнопроходческих машин на электрические. При эксплуатации транспортных и технологических машин с двигателями внутреннего сгорания необходимы мероприятия по нейтрализации выхлопных газов до выхода их в воздушную среду путем каталитического окисления вредных компонентов. Кроме того, требуется нормализация режимов работы двигателей, достигаемая при улучшении качества транспортных трасс.

В число мероприятий по снижению вредных выбросов в атмосферу входит совершенствование технологии взрывных работ, в частности использование "малогазовых" ВВ с нулевым кислородным балансом, учет погодных условий. Помимо газовых выбросов в атмосферу поступает большое количество минеральной пыли, основными источниками которой при геологоразведочных работах являются: поступление воздуха из открытых и подземных выработок; эксплуатация дорог, не имеющих твердого покрытия; пылевыделение с породных отвалов. Снижение интенсивности пылеобразования при производстве горных работ в открытых горных выработках и на породных отвалах достигается за счет увлажнения пород, пылеподавления и пылеулавливания.

Существенное влияние оказывают геологоразведочные работы на *водную среду*. При разведочном бурении и проведении горных выработок вода используется в качестве активного агента для разрушения, упрочнения, перемещения и увлажнения пород. Помимо этого в разведочных скважинах и горных выработках обычно присутствует вода, поступающая из окружающих пород и с поверхности. Такие воды называются технологическими и сопутствующими. Они в большей или меньшей степени загрязнены и в свою очередь становятся загрязнителями поверхностных и подземных вод. Еще одним источником загрязнения являются воды, стекающие с породных отвалов, — атмосферные воды, загрязняемые в процессе эрозии пород.

При бурении разведочных гидрогеологических и инженерно-геологических скважин количество и загрязнение сопутствующих вод зависит от геологических и гидрогеологических характеристик толщ пересекаемых скважинами пород, параметров скважин и в относительной мере от географических и климатических условий. Количество используемой технологической воды и ее загрязнение зависят от способа бурения, параметров скважин, состава и концентрации ингредиентов промывочных жидкостей и, наконец, от способа и интенсивности промывки. Промывочные жидкости могут содержать целый комплекс химических компонентов: щелочные соли, лигносульфоновые и гуминовые кислоты, гипан, танины, мыла нефтяных и сульфонефтяных кислот, щелочные электролиты, нейтральные или кислые соли, кислоты и

др. В процессе бурения ионы этих соединений, попадая в пересекаемые скважиной водоносные пласты, загрязняют подземные воды. По окончании бурения, при удалении промывочной жидкости из скважины эти компоненты загрязняют поверхностные водоемы.

Далеко не всегда, даже используя специальные меры (обсадку скважин, тампонаж, цементацию), удастся избежать перетока вод между водоносными пластами, который приводит к изменению химического состава подземных вод и обводнению разведываемого или эксплуатируемого месторождения.

Бурение скважин в районах вечной мерзлоты сопровождается оттаиванием мерзлых пород; при этом увеличивается вероятность возникновения межпластовых перетоков. При прекращении буровых работ наблюдается смерзание талых пород, вследствие чего возникают поля напряжений в породном массиве вокруг скважины, приводящие к разрушению изолирующего пласты цементного кольца.

Первоначальное загрязнение сопутствующих вод при проведении горноразведочных выработок определяется по существу теми же факторами, что и при бурении скважин. При небольших параметрах разведочных выработок количество сопутствующих вод, как правило, невелико.

В процессе проведения разведочных горных выработок технологическая вода расходуется в небольших количествах для промывки шпуров, а также для орошения и туманообразования в целях пылеподавления. Загрязняются эти воды дисперсными породными частицами и некоторыми химическими реагентами, вводимыми в промывочную жидкость в виде растворов, антифризных добавок и поверхностно-активных веществ. Сточные воды ГРП загрязняются также отходами горюче-смазочных материалов.

При незначительном количестве и кратковременности проведения работ (бурение неглубоких скважин, проходка мелких шурфов и канав) сточные воды практически не оказывают существенного влияния на загрязнение водоемов и водотоков, а иногда просто рассредоточиваются на локальных участках поверхности, увлажняя почвенный слой и испаряясь. В других случаях сброс сточных вод осуществляют в ближайшие поверхностные водоемы (водотоки) или применяют обратное водоснабжение с очисткой (осветлением) воды.

В процессе буровых и горных работ спонтанно или преднамеренно в локальных масштабах меняется распределение подземных и поверхностных вод. Грунтовые и пластовые воды в больших или меньших количествах выдаются на поверхность, изменяя водный режим в районе проведения работ, что приводит к отрицательным последствиям — обезвоживанию используемых ранее водоисточников, деградации растительного покрова и др. При

геологоразведочных работах изменения режимов поверхностных и подземных вод несут существенны.

В редких случаях во время проходки горно-разведочных выработок в водоносных породах проводятся дренажные работы с использованием водопонижающих скважин, в других используются довольно мощные водоотливные установки.

Изменение физико-химических характеристик и режимов природных вод при разведке и разработке месторождений приводит к сокращению запасов пригодной для использования воды, затрудняет водоснабжение, вызывает снижение плодородия почв, деградацию растительного покрова и даже деформацию ландшафтов. Негативные последствия могут иметь локальный характер или распространяться на значительные расстояния от места производства горных работ.

Мероприятия по снижению отрицательных последствий, связанных с выдачей загрязненных сточных вод из разведочных скважин и выработок, шахтных и карьерных вод, заключаются в очистке этих вод и снижении их количества. При бурении разведочных скважин применяется замкнутая система водоснабжения: поступающая из скважины вода подвергается очистке и вновь подается в забой скважины. Количество воды, подаваемой в замкнутую систему водооборота, и сбрасываемой сточной воды зависит от водопоглощения пород, поступления в скважину из породного массива подземных вод и физико-химических характеристик бурового шлама.

Нарушения *земной поверхности* при геологоразведочных работах в ряде случаев весьма значительны. Они связаны, в частности, с использованием территорий, отведенных под промплощадки буровых и горно-разведочных работ; территорий расположения транспортных коммуникаций, аэродромов, баз и др.; территорий, используемых для жилищных и производственных сооружений.

Пагубные воздействия на земную поверхность выражаются в первую очередь в разрушении почвенно-растительного покрова при сооружении и эксплуатации транспортных трасс и промышленных площадок. При осуществлении геологоразведочных работ сезонно или круглогодично по многочисленным маршрутам различной протяженности автомашины, трактора и вездеходы перевозят грузы и персонал поисковых и разведочных партий. В малонаселенных и удаленных районах объем автомобильно-тракторных перевозок особенно значителен и осуществляются они в основном по временным дорогам, черновым проездам или без каких-либо транспортных трасс. Сооружение каждой автомобильной или тракторной дороги связано с временным изъятием из фонда сельскохозяйственных, лесохозяйственных или других земель того или иного участка. Нарушения, связанные с транспортными мероприятиями, весьма ощутимы, потери земель очень

велики, а восстановление их требует и солидных материальных затрат, и занимает много времени.

Существенный урон наносит проведение буровых работ. По существующим нормам для работы одной буровой установки УКБ-2 при проходке скважины до 100 м отводится участок площадью 1200 м² (и 800 м² для установок с электроприводом). При бурении скважин глубиной до 2000 м буровой установкой УКБ-7 площадь участка составляет уже 3500 м². В условиях горного рельефа эти нормы существенно увеличиваются. Помимо этого происходят нарушения естественных ландшафтов местности, на которой производятся геологоразведочные работы. Это выражается в образовании впадин в результате проходки открытых горных выработок и возвышенностей, возникающих на отвалах. Снижение указанных нарушений достигается тщательным выбором видов транспортных связей и дорожных трасс с учетом конкретных географических условий; оптимизацией процессов сооружения, эксплуатации и ремонта дорожного полотна; выбором транспортных машин, обеспечивающих наибольшую сохранность дорожного полотна; выбором наиболее благоприятных периодов для осуществления транспортных операций; проведением восстановительных работ.

Мероприятия по снижению негативных последствий устройства и эксплуатации производственных площадок включают удаление и складирование всей ценной в биологическом отношении почвы, сооружение специальных покрытий, препятствующих попаданию загрязнений в почвенный слой, проведение восстановительных работ после окончания бурения. Существенное сокращение нарушения земной поверхности может быть достигнуто за счет уменьшения количества буровых площадок при использовании многозабойного бурения.

Все нарушенные в процессе геологоразведочных работ земли должны быть восстановлены. Работы по восстановлению земель разделяют на два этапа: техническую (или горно-техническую) рекультивацию и биологическую рекультивацию. Техническая рекультивация заключается в подготовке земель для последующего целевого использования в народном хозяйстве и производится геологоразведочными организациями. Биологическая рекультивация состоит в реализации мероприятий по восстановлению биологических свойств, в частности плодородия земель, осуществляемых после горно-технической рекультивации; она производится последующими землепользователями.

В горно-технической рекультивации в зависимости от назначения рекультивируемых площадей выделяются следующие направления: 1) сельскохозяйственное; 2) лесохозяйственное; 3) строительное; 4) водохозяйственное; 5) рекреационное; 6) санитарно-гигиеническое (сводящееся к консервации нарушенных земель,

рекультивация которых для использования в народном хозяйстве экономически неэффективна).

Почти все производственные процессы горно-технической рекультивации заключаются в основном в перемещении значительных масс горных пород (включая почвы) и связаны с выполаживанием откосов, отвалов и бортов карьеров, планировкой верхней поверхности отвалов и т.д.

В настоящее время в стране действуют основы земельного законодательства, в которых определены принципы, задачи, правила охраны и рационального использования недр.

В них, в частности, сформулированы основные требования к геологическому изучению недр: 1) рациональное, научно обоснованное направление и эффективность работ по геологическому изучению недр; 2) полнота изучения геологического строения недр, горно-технических, гидрогеологических и других условий разработки разведанных месторождений, строительства и эксплуатации подземных сооружений, а также не связанных с добычей полезных ископаемых; 3) достоверность определения количества и качества запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов; геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых; 4) ведение работ по геологическому изучению недр методами и способами, исключающими неоправданные потери полезных ископаемых и снижение их качества; 5) размещение извлекаемых из недр горных пород и полезных ископаемых, исключающее их вредное влияние на окружающую среду; 6) сохранение разведочных горных выработок и буровых скважин, которые могут быть использованы при разработке месторождений и в иных народнохозяйственных целях, и ликвидация в установленном порядке выработок и скважин, не подлежащих использованию; 7) сохранение геологической и исполнительно-технической документации, образцов горных пород и руд, керн, дубликатов проб полезных ископаемых, которые могут быть использованы при дальнейшем изучении недр, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, а также при пользовании недрами в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых.

В законодательстве определены основные права и обязанности пользователей недр. Установлено, что пользователи недр имеют право и обязаны пользоваться недрами в соответствии с целями, для которых они предоставлены; наряду с другими обязанностями пользователи недр должны обеспечить: 1) полноту геологического изучения, рациональное, комплексное использование запасов полезных ископаемых и охрану недр; 2) охрану атмосферного воздуха, земель, лесов, вод и других объектов окружающей природной среды, а также зданий и сооружений от вредного влияния

работ, связанных с использованием недр; 3) сохранность заповедников, памятников природы и культуры от вредного влияния работ, связанных с использованием недр. При этом следует иметь в виду, что редкие геологические обнажения, минералогические образования, палеонтологические объекты и другие участки недр, представляющие особую научную или культурную ценность, могут быть объявлены заповедниками, либо памятниками природы или культуры; 4) приведение земельных участков, нарушенных при пользовании недрами, в состояние, пригодное для использования их в народном хозяйстве; 5) охрану месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения, пожаров и других факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождения или осложняющих их разработку; 6) предотвращение загрязнения недр при подземном хранении нефти, газа и иных веществ и материалов, захоронении вредных веществ и отходов производства в сбросе сточных вод.

В случае нарушений приведенных требований пользование недрами может быть ограничено, приостановлено или запрещено органами государственного горного надзора или другими специально уполномоченными государственными органами в порядке, установленном законодательством.

На защиту и восстановление земельных участков, предоставленных геологоразведочным предприятиям и организациям во временное пользование, должны быть составлены и утверждены проекты и сметы, предусматривающие следующие мероприятия: подготовительные до процесса бурения, по охране в процессе бурения скважины и по восстановлению земельных участков.

Подготовительные мероприятия должны включать в себя: а) установление мест складирования растительного и почвенного слоев или грунтов, подлежащих выемке; б) удаление плодородного слоя почвы в местах загрязнения нефтепродуктами и другими жидкостями, химическими реагентами, глиной, цементом и другими веществами, ухудшающими состояние почвы, и его складирование.

Охранные мероприятия в процессе бурения скважины заключаются в следующем: 1. При наличии подземных грунтовых вод водоносные горизонты обязательно должны перекрываться обсадными трубами в целях предохранения от загрязнения и заражения. 2. Попутные воды очищаются на фильтровальной установке от взвешенных частиц и примесей нефти. В зависимости от концентрации растворенных солей и других примесей они либо сбрасываются в открытые источники, либо разбавляются в пределах допустимых норм и сбрасываются при повышенных концентрациях. 3. Самоизливающиеся скважины должны быть оборудованы регулируемыми устройствами. 4. Слив использованного промышленного раствора и химических реагентов в открытые водные

бассейны и непосредственно на почву запрещается. 5. Загрязнение почвы горюче-смазочными материалами не допускается.

Мероприятия по восстановлению земельных участков предусматривают проведения рекультивации — комплекса мероприятий, направленных на восстановление земельных отводов, нарушенных производственной деятельностью, для дальнейшего землепользования. Должна проводиться горно-техническая и биологическая рекультивация. Она включает в себя подготовку освобождающейся от буровых работ территории для дальнейшего землепользования.

Биологическая рекультивация предполагает мероприятия по восстановлению плодородия нарушенных земель, их озеленению и возвращению в сельскохозяйственное и лесное пользование.

Проектирование и проведение работ по рекультивации осуществляется в соответствии с инструкциями или техническими условиями, согласованными с местными сельскохозяйственными, лесохозяйственными или водохозяйственными органами.

Часть II

МЕТОДИКА РАЗВЕДКИ И ОПРОВОБОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ КАК ОБЪЕКТЫ РАЗВЕДКИ

В результате различных процессов в локальных участках земной коры происходит формирование месторождений полезных ископаемых, т.е. накопление минерального вещества, которое пригодно для промышленного использования. Объектом геологоразведочных работ являются промышленные месторождения — такие скопления полезных ископаемых, которые по качеству и количеству содержащегося в них минерального сырья технически возможно и экономически целесообразно разрабатывать на данном уровне развития производительных сил.

Месторождения полезных ископаемых принято разделять на рудные, нерудные, горючие и гидроминеральные. В настоящем курсе речь идет лишь о месторождениях твердых полезных ископаемых, рудных и нерудных. Среди *рудных (металлических)* месторождений выделяются месторождения черных, цветных, легких, редких, благородных, радиоактивных металлов, а также рассеянных и редкоземельных элементов. К *нерудным (неметаллическим)* относятся месторождения химического, агрономического, металлургического, технического и строительного минерального сырья. Некоторые виды минерального сырья используются в промышленности без предварительной переработки, например, строительные материалы, большая часть технического, химического сырья и др. В других случаях добываемое сырье подлежит обязательной переработке для извлечения из него промышленно ценных компонентов — химических соединений или элементов. Такой тип минерального сырья называется рудой.

Рудные и нерудные месторождения представляют собой участки земной коры, содержащие одно или несколько тел (залежей) полезных ископаемых. Телом, или залежью, полезного ископаемого называется локальное скопление природного минерального

сырья, морфология которого определяется приуроченностью к конкретным геологическим структурам или их сочетаниям.

Формы тел полезных ископаемых. Тела полезных ископаемых разнообразны по форме: они бывают плоскими, изометричными, вытянутыми по одной оси (рис. 26). В организации разведочного процесса форма тел играет существенную роль. В общем случае все разнообразие форм тел полезных ископаемых может быть сведено к следующим основным типам.

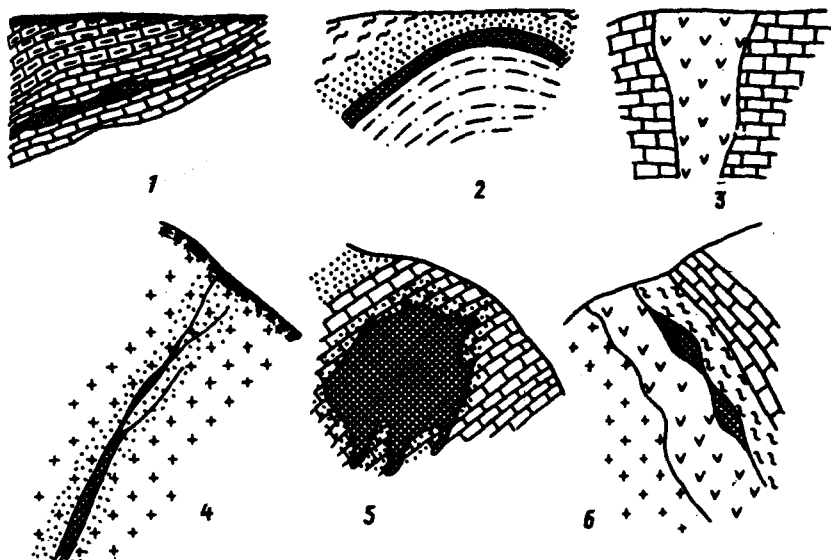


Рис. 26. Формы рудных тел.

1 — пластообразная залежь, 2 — пласт, 3 — трубообразная, 4 — жила, 5 — шток, 6 — линзы

Плоские тела полезных ископаемых представлены пластами, пластоподобными, жильными и некоторыми линзовидными залежами.

Пласты представляют собой тела, ограниченные двумя параллельными поверхностями напластования (подошва и кровля), имеющие мощность на несколько порядков меньшую размеров по простиранию и падению. Пластовые залежи отличаются устойчивой морфологией, выдержанностью, как правило, относительно однородным составом. Они наиболее типичны для рудных и нерудных месторождений осадочного генезиса. Положение пластовых залежей определяется элементами слоистости пород, они обладают обычно четкими природными границами, относительно простым, непрерывным или слабо прерывистым внутренним строением. Нередко пласты полезного ископаемого разделяются

вмещающими безрудными породами на пачки и отдельные слои. Таким образом, можно различать простые пласты (без прослоев породы) и сложные (с прослоями). В ряде случаев выделяются продуктивные толщи, состоящие из серии пластов полезных ископаемых. Пласты полезных ископаемых залегают согласно с вмещающими породами, вместе с ними они могут быть смяты в складки, разбиты тектоническими нарушениями.

К числу пластовых месторождений относятся осадочные месторождения железа, марганца, алюминия, углей, горючих сланцев, фосфоритов, солей и других, а также стратиформные месторождения меди, полиметаллов и другие.

Пластоподобные залежи характерны для некоторых магматических, контактово-метасоматических и других месторождений, рудные тела которых располагаются в расслоенных стратифицированных массивах или приурочены к контактам силикатных и карбонатных пород и т.д. От пластовых залежей они отличаются меньшей протяженностью, выдержанностью, относительно более сложным строением.

К телам плоской формы относятся *плащеподобные* залежи месторождений, связанных с площадными и линейными корами выветривания. Месторождения залегают в приповерхностных условиях практически горизонтально. Рудные залежи характеризуются сильной изменчивостью контуров, прерывистостью, резкими колебаниями мощностей, отчетливо выраженной вертикальной зональностью. Типичными представителями этой группы могут служить месторождения силикатного никеля, а также бокситов, каолинов и др.

Определенным своеобразием отличаются залежи *россыпных* месторождений. Современные россыпи представлены горизонтально залегающими поверхностными образованиями, продуктивная часть которых — “пески” — подстилается “плотиком” (преимущественно коренными породами) и имеет с ним резкие природные границы. Ширина и мощность россыпи устанавливаются по заданной величине содержания полезного компонента в процессе опробования. Погребенные россыпи обычно перекрыты мощным чехлом отложений и часто имеют наклонное залегание. Им свойственны вытянутая форма и иногда сложное строение, обусловленное разделением пласта песков ложными плотиками на отдельные прослои, наличием струй, гнезд и др. Основные особенности морфологии и внутреннего строения россыпей определяются генетическим типом и условиями образования. Известны прибрежно-морские россыпи ильменита, рутила, монацита, пляжевые — золота, рутила, монацита, аллювиальные золота, алмазов, касситерита и др.

К типу плоских тел относятся также *жилы* тела, представляющие собой трещины в горных породах, выполненные

минеральным веществом полезного ископаемого. По структурно-морфологическим особенностям выделяются простые, сложные жилы, линзоподобные залежи. Простые жилы характеризуются большой протяженностью, крупными размерами, выдержанной мощностью. Сложные жилы отличаются меньшими размерами, невыдержанной мощностью, наличием раздувов, пережимов, многочисленных апофиз, переплетений; иногда они образуют так называемые жильные зоны, или жильные свиты, пучки и другие, которые благодаря высокой концентрации мелких жил могут разведываться единой системой горных выработок или скважин.

Жилам обычно свойственны резкие контакты с вмещающими породами; в то же время нередко наблюдаются изменения и минерализация прилегающих к жиле боковых пород, которые благодаря этому могут представлять промышленный интерес. В ряде случаев наблюдается сложное внутреннее строение жил, чередование обогащенных и бедных участков. Обогащенные участки — рудные столбы — выражены либо зонами повышенных концентраций полезных компонентов, либо раздувами жил.

Размеры и условия залегания жил определяются направлением простираения и протяженностью, направлением, углом падения и длиной по падению, склонением и мощностью.

Примерами промышленных жильных месторождений могут служить месторождения золота, олова, вольфрама, барита, флюорита и др.

Линзовидные залежи по морфологическим особенностям принадлежат к переходным образованиям между изометричными и плоскими телами. Уплощенные, вытянутые линзы некоторых гидротермально-осадочных месторождений приближаются по форме к пластообразным залежам. В то же время рудные тела подобных же месторождений, формировавшиеся в условиях локальных глубоких депрессий, характеризуются большой мощностью, соизмеримой с размерами по простираению, и в общем изометричной формой.

Изометричные тела полезных ископаемых представлены штоками, штокверками, гнездами.

Штоки представляют собой обычно крупные (десятки метров в поперечнике) изометричные или почти изометричные залежи сплошных руд. Как правило, это руды гидротермально-метасоматической природы, формирующиеся в участках сложного пересечения мощных трещинных зон. К этому же типу залежей относятся тела каменной соли, слагающие ядра соляных куполов.

Штокверки — рудные тела, представляющие собой участки, в пределах которых горные породы пронизаны густой сетью разноориентированных прожилков и насыщены вкрапленностью рудных и жильных минералов. Такие участки часто (но не всегда) имеют изометричную форму.

Штокверки обычно характеризуются крупными размерами (сотни метров в поперечнике), нечеткими границами, в силу чего промышленные контуры проводятся только по результатам опробования. Штокверки имеют сложное внутреннее строение при относительно невысоких содержаниях полезных компонентов.

Примером штокверков являются тела многих месторождений меди, молибдена, олова, вольфрама и др.

Гнездо представляет собой относительно небольшое скопление полезного ископаемого изометричной формы. Размеры гнезд в поперечнике до 1 м, редко более. Месторождения, характеризующиеся гнездовой формой локализации полезного ископаемого, обычно содержат многочисленные гнезда, размещение которых контролируется структурными, литологическими факторами или их сочетанием.

Гнездовый характер имеют некоторые месторождения золота, ртути, хромитовых, свинцово-цинковых руд и др.

Вытянутые по одной оси тела называются трубами, столбами, трубообразными залежами.

Рудные тела этого типа залегают в коренных породах разнообразного состава, обычно несогласно, контролируются трещинными или explosивными структурами. Более крупные трубообразные тела (до нескольких сотен метров в поперечнике) характеризуются устойчивой морфологией, выдержанным залеганием, относительно простым внутренним строением. Мелким трубообразным телам свойственна неустойчивая форма, извилистое, иногда древовидное, ветвящееся строение. Контакты трубообразных тел обычно резкие. Условия залегания определяются азимутом и углами ныряния (скатывания).

Трубообразную форму имеют рудные тела алмазных, карбонатитовых, некоторых полиметаллических и редкометальных месторождений.

Особенности размещения и локализации месторождений. Известно, что месторождения полезных ископаемых характеризуются закономерным размещением в земной коре. Это обусловлено главным образом тем, что разные типы месторождений связаны с определенными геологическими формациями (осадочными, магматическими и др.) и поэтому располагаются в пределах областей развития соответствующих формаций, образуя закономерные скопления с отчетливо выраженной зональностью.

По В.И. Смирнову, площади распространения полезных ископаемых подразделяются на: 1) провинции; 2) области (пояса, бассейны); 3) районы (узлы); 4) поля; 5) месторождения; 6) тела.

Провинции полезных ископаемых — это крупные участки земной коры (платформы, складчатые пояса, дно океана) с размещенными в их пределах и свойственными им место-

рождениями. Выделяются также провинции: металлогенические, угленосные, нефтегазоносные.

Области полезных ископаемых — части провинций, характеризующиеся набором определенных по составу и происхождению месторождений, приуроченных к одному или группе тектонических элементов первого порядка, контролирующих размещение соответствующей группы геологических формаций.

Области могут иметь линейно-вытянутый характер с поясовым распределением месторождений. Пояса полезных ископаемых могут быть разными по составу; выделяются металлогенические, или рудные, пояса, пояса угленакопления и др.

Области непрерывного или почти непрерывного распространения пластовых осадочных полезных ископаемых нередко приобретают характер бассейнового размещения месторождений.

Районы полезных ископаемых характеризуются местным сосредоточением месторождений в пределах области. Эти участки концентрации месторождений, или узлы полезных ископаемых обычно контролируются тектоническими элементами или их сочетаниями.

Рудные поля — это совокупности месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством рудоносной геологической структуры. Поля полезных ископаемых состоят из месторождений, а последние — из тел полезных ископаемых.

Особенности локализации месторождений и тел полезных ископаемых определяются геологическими структурами.

Структура месторождения — это пространственное расположение рудных тел и вмещающих пород, морфология рудных тел, их внутреннее строение и взаимоотношения с вмещающими породами, являющиеся результатом сложных взаимодействий процессов образования пород, руд, проявления тектонических движений. Тела горных пород и руд, называемые структурными формами, подразделяются на первичные (пласт, лавовый поток, интрузивный массив, дайка и др.) и вторичные (складки, трещины, надвиги, сбросы и др.).

Геологические структуры, определяющие все основные особенности внутреннего строения месторождения и его облик, формируются в течение длительного времени. Они закладываются до образования залежей, развиваются параллельно с процессами рудообразования, проявляются после формирования рудных тел. Вследствие этого можно выделить три этапа развития структур месторождений: дорудный, внутрирудный и послерудный и соответствующие этим этапам элементы структуры.

В процессе формирования эндогенных месторождений решающая роль принадлежит дорудным структурам, среди которых выделяются рудоподводящие, рудораспределяющие и рудовмещающие элементы. К числу рудоподводящих относятся структу-

ры, которые могли служить каналами поступления рудоносных расплавов или растворов в пределы рудного поля. Обычно в этом качестве выступают крупные разломы или зоны повышенной проницаемости. Рудораспределяющими называются элементы структуры, по которым рудоносные растворы от подводящих каналов отводились на участки рудоотложения. Рудовмещающими являются структуры, непосредственно вмещающие рудные тела, определяющие их положение, морфологию, размеры, внутреннее строение. Следует отметить, что выделение рудоподводящих и рудораспределяющих структур очень часто невозможно из-за недостаточной изученности и почти всегда гипотетично, поскольку зависит от господствующих в данное время концепций рудообразования.

Важную роль при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых играют рудовмещающие структуры, среди которых, по В.И. Смирнову (1989), выделяются шесть групп: 1) согласные; 2) секущие крупных разломов; 3) секущие тектонических трещин; 4) плутогенные; 5) вулканогенные; 6) комбинированные.

Изменчивость тел полезных ископаемых. Одним из характернейших свойств залежей полезных ископаемых является их изменчивость. Форма и размеры, характер залегания, минеральный и химический составы, текстурно-структурные особенности, объемная масса и многие другие параметры изменяются в разных частях одной и той же залежи. Выяснение природной неоднородности тел полезных ископаемых является одной из важнейших задач разведки.

Неоднородность рудных тел и вмещающих пород возникает в процессе их формирования и впоследствии может существенно изменяться в результате преобразования под влиянием процессов диагенеза, эпигенеза, метаморфизма, тектонических деформаций и др. При характеристике изменчивости различают две ее стороны: характер изменчивости и ее интенсивность. Под характером изменчивости понимается ее направленность, закономерность или случайность. Степень изменчивости характеризуется размахом колебаний.

На основе количественных характеристик изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых (в первую очередь содержания полезных компонентов, мощности рудного тела, объемной массы и др.) решаются все методические вопросы разведки, опробования, оконтуривания и геолого-экономической оценки разведанных запасов (Каждан, 1977).

Геологическая неоднородность, выявляемая по дискретной сети наблюдений, проявляется как совокупность случайной и неслучайной пространственной изменчивости данного свойства.

Известны многочисленные примеры закономерных изменений различных геологических признаков залежи. В основном

то пространственные закономерности, например, постепенное уменьшение мощности линзообразных рудных тел, вертикальная и горизонтальная зональность в изменении вещественного состава и, зональный состав рудных тел по мощности, фациальная зональность месторождений осадочного происхождения и др. Многочисленны случаи взаимной закономерной связи изменчивости двух или нескольких признаков.

При случайной изменчивости изучаемого признака его значения в смежных точках не зависят друг от друга и от расстояний между точками. Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована различными методами. Случайная изменчивость оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок.

При разведке наиболее важна закономерная изменчивость, которая позволяет оценить характер анизотропии рудного тела и выдержанность его свойств по различным направлениям. Ее характеристика служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Анизотропия тел полезных ископаемых проявляется в том, что неслучайная изменчивость изучаемого свойства оказывается различной в разных направлениях, обычно максимальная изменчивость наблюдается по направлению мощности залежей, а минимальная по их вытянутости.

Одним из показателей степени анизотропии может служить величина

$$A_0 = \frac{I_{\max}}{I_{\min}},$$

представляющая отношение "длин" большой оси ($I_{\max}$) и малой оси ($I_{\min}$) анизотропии, выраженных в условных единицах. Каждая из осей определяется как отношение среднего числа элементов неоднородности $\bar{N}$, пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к средним длинам этих линий $\bar{l}$ в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $I = \frac{\bar{N}}{\bar{l}}$.

В общем случае выделяются три взаимно ортогональных оси анизотропии, которые часто совпадают с направлениями мощности, падения и простираения. По этим направлениям наблюдаются наиболее значительные различия количественных характеристик неслучайной изменчивости изучаемых свойств.

Статистические методы изучения изменчивости месторождений. В качестве количественной характеристики признака (мощности, содержаний компонентов и т.д.) при разведке и подсче-

тах запасов принято использовать среднеарифметическую величину этого признака (например, содержания полезного компонента):

$$\bar{c} = \frac{\sum c_i}{n}.$$

Мерой степени изменчивости этого признака в статистике принято среднеквадратичное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n - 1}}.$$

Для сравнения степени изменчивости залежи по различным признакам в разведочном деле широко используется коэффициент вариации V , который показывает отношение степени изменчивости S исследуемого признака c_i к среднеарифметическому его значению $\bar{c}$, выраженное в процентах:

$$V = \frac{S}{\bar{c}} 100\%.$$

Важной статистической характеристикой является абсолютная величина ошибки вывода среднеарифметического значения признака по данным n наблюдений:

$$\delta = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Коэффициент вариации широко применяется в разведочном деле: 1) как показатель степени изменчивости содержаний полезных компонентов при отнесении месторождений к той или иной группе; 2) в качестве основы для определения необходимого числа проб (наблюдений) при оценке средней величины исследуемого признака (содержания, мощности). Зная V , можно определить относительную величину погрешности среднего

$$P = \frac{Vt}{\sqrt{n}};$$

3) Для грубого определения расстояний между пробами (см. гл. 6).

Основные свойства коэффициента вариации сводятся к следующему: 1) не учитывает расположения проб в пространстве, эта абстрактная характеристика отражает степень изменчивости, но не ее характер; 2) зависит от размера проб и способа их отбора: чем больше объем и вес проб, тем ниже коэффициент вариации;

) зависит от ориентировки линии отбора проб (относительно осей анизотропии), кроме того значения его различны для разных участков месторождения.

Изучение закономерностей изменчивости полезных компонентов по данным опробования разведочных пересечений, разрезов осложняется тем, что на эту закономерную изменчивость накладывается случайная изменчивость. Поэтому для выявления локальной изменчивости в чистом виде из эмпирического ряда наблюдений исключается случайная изменчивость. Для этого обычно используется способ П.Л. Калдистова, который рекомендовал статистические характеристики определять по отношению к ординатам осредненных кривых, которые он назвал "кривыми регрессий", а не по отношению к среднеарифметическому значению признака. Кривые регрессии предлагается строить методом сглаживания (способ скользящего окна), т.е. локально усредняя единичные характеристики признака.

Составление кривых регрессий методом скользящего окна по определенным сечениям тела полезного ископаемого оказывает помощь в выявлении скрытых локальных закономерных тенденций в изменчивости признаков. Обобщение на основе геологического анализа данных, обработанных таким образом по ряду сечений, позволяет геометризовать исследуемые свойства в пространстве в виде топографических поверхностей и выявить не только степень, но и характер изменчивости.

Величины среднеквадратического отклонения S и коэффициента вариации V , вычисленные обычным способом и с использованием величины отклонения от кривой регрессии, различны.

Вмещающие породы являются важным объектом исследований в процессе разведки. Их роль и значение в разведке и оценке месторождений определяются несколькими обстоятельствами.

Породы, среди которых размещаются залежи полезных ископаемых, могут находиться с ними в разных генетических и возрастных отношениях. В месторождениях осадочного происхождения залежи минерального сырья представляют собой пласты пород, являющиеся равноправными членами слоистого разреза; их возраст определяется позицией в разрезе (они моложе подстилающих слоев и древнее перекрывающих), в генетическом отношении они представляют собой единое целое с вмещающими породами, из которых они выделяются лишь некоторыми особенностями (повышенным содержанием какого-либо компонента, физическими свойствами и т.д.), возникающими обычно вследствие изменения фациальных условий образования пород.

В некоторых типах месторождений вмещающие породы с телами полезных ископаемых связаны более тесными отношениями, характеризуются общностью происхождения. Так, рудные тела

расслоенных интрузивных массивов образуются вместе с вмещающими их породами в результате одних и тех же процессов магматической дифференциации. В ряде случаев вмещающие породы выступают в качестве материнских образований при формировании рудных тел (например, в месторождениях кор выветривания).

Локализация эпигенетических месторождений нередко определяется тем, что вмещающие породы характеризуются определенными свойствами, делающими их благоприятными для замещения в них рудных тел. В одних случаях это особенности химического состава, предопределяющие возможность метасоматического замещения пород рудным веществом, в других — специфические физико-механические свойства, способствующие развитию рудо-локализирующих трещинных структур.

Второй аспект изучения вмещающих пород связан с выяснением структуры месторождения, которая определяется, в частности, взаимоотношением всех разностей пород, слагающих участок месторождения. Согласно напластование, рвущие контакты, складчатые и разрывные нарушения — все эти элементы, проявленные во вмещающих породах, являются элементами структуры месторождения.

Окружающие рудные тела породы на контакте с эпигенетическими рудными телами нередко характеризуются изменениями, возникшими при процессах образования тел полезных ископаемых. Эти измененные породы часто служат хорошим поисковым признаком, а иногда благодаря развитию в них вкрапленности сами могут являться полезным ископаемым.

Кроме этого вмещающие породы в некоторых случаях могут представлять интерес как объекты попутной добычи. Например, при открытой разработке месторождений породы вскрыши могут быть использованы в качестве строительных материалов и др.

Наконец, особенности состава и строения вмещающих пород оказывают существенное влияние на процесс разведки и разработки месторождений. Прочностные характеристики пород, трещиноватость, устойчивость, обводненность и другие часто являются определяющими при выборе технических средств разведки и систем разработки месторождений и поэтому подлежат всестороннему изучению наряду с изучением самих залежей полезных ископаемых.

Промышленные типы месторождений. Среди многообразия природных типов месторождений лишь сравнительно небольшая часть играет существенную роль в экономике. Основная масса минерального сырья в мире добывается из весьма ограниченного числа природных типов. Под промышленными типами месторождений полезных ископаемых понимаются такие, которые зарекомендовали себя как основные поставщики данного вида минерального сырья для промышленности. Это понятие введено

В.М. Крейтером в 1940 г. Принято считать, что к промышленному типу следует относить такие, на долю которых приходится не менее 1% мировой добычи. Известно, например, что добыча меди может производиться примерно из 15 генетических типов месторождений, однако промышленными типами являются только 4-5. По В.И. Смирнову, при классификации промышленных типов следует принимать во внимание четыре основных признака: 1) генетический класс; 2) структуру месторождения, определяющую участки локализации рудных тел и их морфологию; 3) минералогический состав руды и 4) состав вмещающих пород. Например, около 65% общих запасов меди содержится в медно-порфировых месторождениях. Последние обычно приурочены к кислым эффузивным и интрузивным породам, характеризуются штокерковой формой, преимущественно крупными размерами, невысокими содержаниями меди (0,4-1,2%) при относительно равномерном ее распределении, наличием извлекаемых ценных попутных компонентов (молибден, рений, золото, серебро). В указанных месторождениях часто развиваются зоны вторичного сульфидного обогащения, в которых содержание меди в 1,5-3 раза выше, чем в первичных рудах. Большинство месторождений отрабатывается открытым способом.

Вторым по значимости промышленным типом медных месторождений является тип медистых песчаников, месторождения которого заключают в себе около 21% мировых запасов меди. Месторождения приурочены к пестроцветным образованиям прибрежно-морских, лагунных и дельтовых фаций в краевых частях крупных прогибов и мульд. Рудные тела имеют пластовую форму, залегают согласно со слоистостью вмещающих пород; нередко месторождениям свойственно многоярусное строение. Большая часть месторождений отличается устойчивым химическим и минеральным составом руд, присутствием ряда попутных ценных компонентов: серебра, свинца, цинка, иногда кобальта и урана.

Существенную роль в общем балансе запасов играют месторождения медноколчеданного промышленного типа: они составляют 6,5% мировых запасов. Месторождения, разнообразные по составу руд, объединяются общностью связей с рудоносными вулканогенными формациями раннегеосинклинальных этапов. Руды формируются как гидротермально-осадочным путем, так и в результате процессов метасоматического замещения, благодаря чему образуют как согласные с вмещающими вулканогенно-осадочными породами пласто- и линзообразные залежи, так и более сложные секущие и комбинированные тела. Месторождения мелкие и средние по размерам, со сравнительно высоким (1-4%), содержанием меди, присутствием второстепенных компонентов (цинка, нередко свинца), наличием извлекаемых примесей золота, серебра, селена, теллура и др.

Подобно приведенным примерам создаются классификации промышленных типов месторождений, подробные характеристики которых содержатся в полных курсах месторождений полезных ископаемых и в специальных руководствах. Знание промышленных типов месторождений, т.е. условий образования, закономерностей размещения, особенностей морфологии рудных тел, минерального состава и др., является необходимым условием успешного ведения поисковых и разведочных работ. На основе этих сведений осуществляется оценка месторождений, особенно на ранних стадиях их изучения, выбор методики разведки и т.д.

Роль отдельных промышленных типов с течением времени меняется. Одни из них утрачивают свое значение основных поставщиков минерального сырья в связи с полной отработкой, как это случилось с железорудными месторождениями типа “железных шляп” — зонами окисления колчеданных месторождений Урала. На смену им появляются новые промышленные типы за счет открытия новых месторождений; совершенствования технологии переработки руд, открывающей возможности использования новых видов сырья; совершенствования горной техники, позволяющего снижать требования к сырью и вовлекать в промышленность более бедные руды; и наконец, за счет расширения комплекса извлекаемых попутных компонентов.

Тот факт, что изучаемое месторождение относится к известному промышленному типу, вовсе не гарантирует его промышленной значимости. Каждый промышленный тип может быть представлен различными по масштабу объектами — от уникальных по запасам месторождений до рудопроявлений. Несмотря на общность генетических процессов, приводящих к образованию месторождений одного промышленного типа, каждое из них характеризуется множеством индивидуальных особенностей. При промышленной оценке месторождения в первую очередь принимаются во внимание следующие показатели: размеры месторождения (запасы минерального сырья), степень и характер концентрации запасов (количество, размеры, форма залежей), положение рудных тел и условия залегания, качество сырья, его технические и технологические свойства, горнотехнические условия вскрытия и эксплуатации месторождения.

Глава 5. МЕТОДИКА ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Основной задачей поисковых работ является обнаружение и предварительная оценка промышленных месторождений. Решение этой задачи достигается при выполнении комплекса работ, проводимых в определенной последовательности.

Месторождения полезных ископаемых и в особенности промышленные месторождения встречаются в земной коре достаточно редко. Однако при всей исключительности месторождений они не являются случайными образованиями. Формирование месторождений — это отдельные, в ряде случаев весьма незначительные по масштабам, эпизоды в сочетании сложных процессов эволюции земной коры. Но они подчиняются строгим закономерностям. Выявление, изучение закономерностей образования и размещения месторождений — основа поисковых и разведочных работ.

Научно обоснованное проведение поисковых работ возможно при учете совокупности геологических данных, определяющих возможность обнаружения тех или иных месторождений. Поисковые критерии, на основе которых оцениваются перспективы изучаемых площадей и проводятся поисковые работы, делятся на две группы: геологические предпосылки поисков и поисковые признаки.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОИСКОВ

Геологические закономерности, контролирующие размещение месторождений, составляют основу геологических предпосылок.

Геологическое положение различных типов месторождений определяется комбинацией условий, благоприятных для их образования. Таким образом, геологические предпосылки поисков — это такие элементы и особенности геологического строения данного участка земной коры, которые предопределяют условия и возможность образования месторождений определенного типа в его пределах. Геологические предпосылки обуславливают принципиальную, теоретическую возможность протекания процессов рудообразования; наличие их характеризует перспективность данного участка на обнаружение месторождений. Известно, что месторождения различных генетических групп, промышленных типов образуются в сходных условиях, поэтому для каждого типа необходимо сочетание определенных условий, т.е. предпосылок. Иными словами, можно говорить о комплексе предпосылок, определяющих геологически благоприятные условия и обстановки формирования месторождений. При этом значение каждой предпосылки различно для разных групп месторождений.

Главнейшие группы геологических предпосылок поисков были выделены и охарактеризованы основоположниками этого на-

правления в поисково-разведочной геологии В.М. Крейтером и В.И. Смирновым. В настоящее время при прогнозно-поисковых исследованиях принято выделять несколько групп геологических предпосылок: формационные, структурные, литолого-фациальные, геохимические.

Формационные предпосылки основаны на одном из важнейших положений геологии полезных ископаемых — о закономерной связи полезных ископаемых с геологическими формациями. Основоположники учения о геологических формациях Н.С. Шатский и Н.П. Херасков определяли их как “естественные ассоциации горных пород и связанных с ними минеральных образований, отдельные члены которых в результате парагенетических отношений тесно связаны друг с другом как в пространственном, так и в возрастном отношении”. Формации характеризуются определенным составом горных пород, строением, связью с тектоническими структурами. В пределах крупных тектонических структур формации образуют закономерные ряды, появление формации обусловлено определенным тектоническим режимом. Выделяются формации осадочные, магматические, а также смешанные, преимущественно вулканогенно-осадочные.

Установлено, что с различными формациями связаны определенные группы полезных ископаемых. Например, с формациями перидотитовых пород начальных стадий геосинклинального развития связаны магматические месторождения хромитов и некоторых элементов платиновой группы, с соленосными лагунными формациями орогенных стадий — месторождения каменной и калийной солей и др.

Связь полезных ископаемых с формациями заключается в том, что они “...представляют собой по существу горные породы, входящие в состав определенных формаций, но встречаются значительно реже, чем другие компоненты формаций”. Н.С. Шатский подчеркивал, что “руды и другие скопления минерального сырья ... должны рассматриваться только как отдельные члены формаций, не всегда, может быть, обязательные, но всегда парагенетически связанные с вмещающими породами”.

Характеризуя сущность формации, иногда прибегают к такому сравнению: как порода является парагенезом минералов, так формацию можно рассматривать как парагенез пород. Продолжая эту аналогию месторождения в геологических формациях, можно уподобить аксессуарным минералам в породах.

Принадлежность к конкретным формациям и определяет главные геологические условия, в которых происходило образование полезных ископаемых. При этом следует иметь в виду, что некоторые виды полезных ископаемых бывают приурочены к одному определенному типу формаций (моноформационный), тогда как другие встречаются в двух или нескольких типах формаций.

Например, медистые песчаники всегда связаны с пестроцветными формациями аридных зон и отсутствуют в других группах формаций. Это, в частности, служит доказательством осадочного происхождения медных руд этого типа, сингенетичного с вмещающими породами. В отличие от этого фосфоритоносные формации делятся на две группы: геосинклинальную и платформенную. Первая связана с карбонатными или терригенно-карбонатными формациями, характеризующимися повышенной кремнистостью. Фосфоритоносные формации платформенных областей представлены двумя группами: терригенно-карбонатной и глауконитовой.

Когда речь идет об осадочных формациях, связь с ними полезных ископаемых бывает наиболее очевидной: тела их переслаиваются с другими породами формации.

Сложнее обстоит дело с выявлением связей эндогенных месторождений с магматическими формациями, когда эти месторождения располагаются вне магматических образований данной формации. В.И. Смирнов среди главных признаков связи указывал следующие. 1. Одновременность образования комплексов изверженных горных пород и связанных с ними рудных месторождений, т.е. формирование их в один и тот же магматический и металлогенический период. Например, если изверженные породы и рудные месторождения залегают в породах одинакового геологического возраста и перекрываются одинаковыми породами более молодого возраста. 2. Приуроченность комплексов изверженных горных пород и эндогенных месторождений к одним и тем же геологическим структурам, которая с различной степенью отчетливости наблюдается во многих рудных районах. 3. Одинаковые фациально-глубинные условия образования изверженных пород и месторождений. 4. Одинаковая степень метаморфизма пород и руд. 5. Приуроченность руд к интрузивным дайкам. 6. Связь определенных по составу изверженных пород и руд. 7. Закономерное размещение рудных месторождений по отношению к массивам изверженных горных пород. Выделяются три случая относительного положения рудных тел: а) размещение их внутри массивов; б) приуроченность к зонам контактов массивов; в) расположение их среди вмещающих изверженные массивы пород, иногда далеко от последних; 8) геохимические признаки связи между эндогенными месторождениями и изверженными породами, устанавливаемые на основе изучения: а) акцессорных минералов в рудах и породах, б) одинаковых химических элементов в рудах и изверженных породах, в) уровня содержания металлов, входящих в состав месторождений, в интрузивах; г) соотношения изотопного состава элементов в рудах и изверженных породах, д) абсолютного геологического возраста и др.

Установление связи тех или иных полезных ископаемых с определенными формациями имеет важнейшее значение для поисков.

Принцип использования формационных предпосылок заключается в том, что развитие в исследуемом районе пород какой-либо формации, или нескольких формаций является указанием на возможность обнаружения месторождений, которые с ними связаны. Так, развитие гранодиоритовых комплексов предопределяет возможность формирования скарновых месторождений вольфрама, гидротермальных месторождений золота и некоторых других. Присутствие различных комплексов габбро-пироксенит-дунитовой формации может служить основанием для поисков магматических месторождений титаномагматитов, а также самородной платины.

Эти самые общие принципы нуждаются в детализации. Для того чтобы на площади развития какой-либо рудоносной формации, охватывающей нередко сотни и тысячи квадратных километров, можно было выделить конкретные перспективные участки, необходимо располагать сведениями о закономерностях локализации руд. Изучение этих закономерностей позволяет выявить в пределах формации конкретные элементы, являющиеся рудолокализирующими или определяющие возможность возникновения обстановок, благоприятных для рудоотложения либо каким-то другим образом влияющих на характер связанных с формацией полезных ископаемых. Например, рудные тела некоторых месторождений в конкретных районах локализуются вдоль тектонических нарушений, занимающих определенную структурную позицию. Месторождения осадочного генезиса характеризуются приуроченностью к определенным частям стратиграфического разреза, для других определяющей является литолого-фациальная обстановка. В ряде случаев эти рудоконтролирующие элементы приобретают самостоятельное значение и их целесообразно рассматривать в качестве отдельных групп геологических предпосылок.

В первую очередь заслуживают внимания стратиграфические, структурные, литолого-фациальные и геохимические предпосылки.

Стратиграфические предпосылки. Некоторые типы месторождений осадочных полезных ископаемых характеризуются отчетливой приуроченностью к определенным стратиграфическим горизонтам, которая объясняется тем, что образование их происходило в определенные эпохи осадконакопления. Так, Н.М. Страховым установлено в истории развития земной коры семь крупных и девять мелких эпох образования осадочных железорудных месторождений. С этими эпохами в основном совпадают периоды образования осадочных месторождений марганца и бокситов. Закономерной стратиграфической приуроченностью характеризуются месторождения угля, горючих сланцев, фосфоритов, медистых песчаников и др.

Таким образом, изучение стратиграфии имеет большое значение при поисковых работах, поскольку присутствие в изучаемом

районе пород тех стратиграфических горизонтов, которые в глобальном или региональном масштабе относятся к продуктивным, может служить предпосылкой поисков соответствующих месторождений. Однако при этом нужно иметь в виду, что, строго говоря, стратиграфическая приуроченность свойственна не просто телам полезных ископаемых или так называемым продуктивным горизонтам, а в первую очередь осадочным рудоносным формациям, которые в качестве присущих им компонентов включают в себя эти тела и продуктивные горизонты.

Структурные предпосылки. Как было отмечено выше, тела полезных ископаемых характеризуются закономерной структурной приуроченностью, которая может проявляться на различных уровнях. В глобальном масштабе это металлогенические провинции, в региональном — металлогенические пояса и бассейны. Эти категории являются важным элементом прогнозно-металлогенических оценок крупных территорий, перспективных районов. Для поисков конкретных месторождений ведущее значение приобретают локальные рудолокализирующие структуры. А они весьма разнообразны для месторождений различных групп, больше того, в месторождениях одного промышленного типа зачастую выделяется несколько структурных разновидностей. При проведении поисковых работ важно знать различные структурные типы месторождений, являющихся объектом поисков для того, чтобы обратить внимание на выявление соответствующих структур, которые могут служить поисковыми предпосылками.

Часто под структурными предпосылками подразумеваются в первую очередь разрывные и складчатые структуры, контактовые зоны интрузивных тел, поскольку к этим элементам бывают приурочены рудные тела месторождений различных типов. Наличие разрывных нарушений традиционно рассматривается как благоприятная предпосылка для поисков. Точно так же укоренились представления о высокой перспективности некоторых, ставших классической комбинаций структурных элементов. Например, сочетания складок, преимущественно антиклинальных, и секущих разрывов, особенно если складки образованы чередованием пород, различающихся по компетентности, пористости, проницаемости и другими физико-механическими свойствами.

Кроме этого имеются более сложные по структурной позиции месторождения, выявление структурных предпосылок в этом случае требует постановки специальных исследований. Имеются в виду так называемые вулканогенные месторождения, связанные с вулканогенно-осадочными формациями. Наиболее наглядным примером их могут служить месторождения колчеданного семейства: медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические и др. Установлено, что они занимают закономерные позиции в палеовулканических структурах, располагаясь обычно: 1) на склонах экст-

рузивных и экстррузивно-лавовых куполов; 2) в жерловых зонах стратовулканов; 3) в вершинных депрессиях вулкано-купольных структур и стратовулканов; 4) в депрессионных структурах других типов. Для того чтобы выявить указанные структуры, а затем приступить к поисковым работам в наиболее благоприятных частях, необходимо детально расшифровать внутреннее строение вулканогенных толщ, т.е. провести специальное палеовулканологическое картирование.

Таким образом, структурные предпосылки можно условно разделить на две группы: 1) тектонические — разломы разного типа, складки, их комбинации и т.д.; 2) палеовулканологические — древние захороненные вулканические постройки: стратовулканы, экстррузивы, субвулканы, депрессии разного рода и др.

Л и т о л о г о - ф а ц и а л ь н ы е п р е д п о с ы л к и. Изучение условий формирования месторождений показывает, что процессы рудоотложения могут протекать, как правило, в строго определенных фациальных обстановках. Это прежде всего относится к месторождениям осадочного генезиса, подавляющее большинство которых обычно бывает локализовано в породах, относящихся к наиболее благоприятным для рудоотложения фациям. Фундаментальными исследованиями Н.М. Страхова установлены основные закономерности формирования осадочных руд железа, марганца, алюминия, приуроченность их к фациям прибрежной зоны озер и морей. Дифференциация этих элементов, обусловленная различной геохимической подвижностью, выражена в том, что осаждение алюминия происходит к прибрежной зоне, железа — в верхней части шельфа, а марганца — в нижней части. Для осадочных месторождений важную роль играет климатический фактор, который определяет типы литогенеза и соответствующие им обстановки формирования полезных ископаемых: гумидный, аридный и ледовый.

Фациальный контроль размещения и локализации руд отчетливо проявлены и в месторождениях, связанных с вулканогенными формациями. Связь процессов формирования и локализации руд с фациями вулканогенных пород проявляется по-разному и может рассматриваться в трех аспектах: 1) закономерная приуроченность месторождений к определенным группам фаций, обусловленная парагенетической связью оруденения с вулканизмом; 2) приуроченность руд к фациям, определенная условиями их одновременного образования; 3) приуроченность руд к определенным фациям, связанная с особенностями состава, строения и физико-механических свойств последних.

Многие месторождения магматического генезиса также характеризуются тем, что размещаются в породах определенных фаций: в апикальных, краевых частях интрузивных массивов или других условиях.

Геохимические предпосылки основаны на геохимической специализации формаций и рудоносных комплексов как магматических, так и осадочных. Изучение геохимической специализации разных типов пород позволяет выявить естественные связи различных элементов, в том числе индикаторов рудоносности данного комплекса.

Для магматических пород характер геохимической специализации, по А.А. Беусу, в каждом конкретном случае зависит от сложного комплекса факторов, включающих геохимическую природу магмы, геологические особенности ее кристаллизации и дифференциации, геохимическую специфику вмещающих пород, а также характер послемагматического изменения материнских пород.

В осадочных образованиях, в соответствии с представлениями Н.М. Страхова, геохимическая специализация определяется особенностями химического состава пород, являющихся источниками сноса, характером дифференциации кластического и растворенного вещества на путях миграции, тектоническим и климатическим режимами седиментационной области, характером физико-химических и биологических процессов в конечных водоемах стока, и наконец, условиями диагенетического преобразования осадков.

Геохимическая специализация геологических комплексов может иметь региональное или локальное значение. Так, примерами региональной специализации могут служить региональная оловянистость меловых гранитоидов Чукотки, редкометальная специализация юрских гранитов Восточного Забайкалья, региональная меденосность осадочных прибрежно-морских континентальных комплексов Центрального Казахстана.

Локальная специализация отдельных массивов и частей стратиграфического разреза является результатом особых условий формирования и геологического развития данного комплекса.

Не только геохимическая специализация, но и другие поисковые предпосылки характеризуются различной масштабностью проявления: одни из них свойственны крупным металлогеническим зонам, другие позволяют оценивать перспективность рудных районов, третьи являются локальными и служат указателями возможного размещения месторождений.

ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ

Под поисковыми признаками понимаются непосредственные указатели месторождений: это следы процессов и явлений, сопутствовавших образованию, изменениям и разрушению месторождений; особые физические, минералогические и химические свойства полезного ископаемого и околорудных пород, по которым можно

обнаружить месторождение; сведения о деятельности человека, имеющей отношение к полезному ископаемому. Иногда условно поисковые признаки делятся на прямые — непосредственно указывающие на наличие оруденения (выходы полезных ископаемых, ореолы рассеяния, следы старых горных выработок и др.), и косвенные — косвенно свидетельствующие о происходивших процессах рудообразования или о возможном присутствии полезных ископаемых (измененные околорудные породы, геофизические аномалии, геоморфологические признаки и др.).

Выходы полезных ископаемых. Коренное обнажение тела полезного ископаемого является наиболее достоверным поисковым признаком. Во всех случаях выходы полезных ископаемых требуют тщательного изучения и оценки, которая нередко осложняется тем, что залежи в поверхностных условиях бывают существенно изменены. Следует иметь в виду также, что наличие коренных выходов полезного ископаемого еще не является гарантией того, что это выходы промысленных рудных тел: они могут быть незначительными по размеру или неудовлетворительными по качеству.

Ореолы рассеяния — это зоны, участки пород, окружающие месторождения или расположенные в непосредственной близости от него и характеризующиеся повышенным содержанием рудообразующих или сопутствующих рудообразованию специфических элементов, минералов, других компонентов. Ореолы подразделяются на первичные, связанные с процессами рудообразования, и вторичные, возникающие в результате воздействия на месторождения экзогенных процессов.

Ореолы рассеяния по размерам намного превышают залежи полезных ископаемых, их значительно проще обнаружить поисковыми методами, поэтому они имеют важное значение при поисках.

Первичные ореолы — это зоны рудовмещающих пород, окружающих месторождение, обогащенные в процессе рудообразования главными рудообразующими и рядом сопутствующих элементов. Различают первичные ореолы сингенетические и эпигенетические. Первые образуются в результате совместно протекающих процессов образования полезного ископаемого и вмещающих пород. Поэтому распределение химических элементов в этих ореолах характеризуется плавным повышением концентраций по мере приближения к рудным телам. Сингенетические ореолы свойственны магматическим и осадочным месторождениям.

Эпигенетические ореолы сопровождают эпигенетические месторождения — наложенные, образующиеся в результате процессов, протекающих в среде уже сформированных вмещающих пород. Типичным представителем этих образований являются, например, жильные гидротермальные месторождения, пегматитовые и др. Ореолы, формирующиеся в процессе рудообразо-

вания, подразделяются на диффузионные, инфильтрационные и диффузионно-инфильтрационные. Как и рудные залежи, эпигенетические ореолы приурочены к рудовмещающим структурам и часто отличаются несогласным, секущим положением по отношению к вмещающим породам. Поскольку миграция компонентов в сторону от рудных тел зависит от ряда факторов — их подвижности, состава растворов, фильтрующих свойств среды, физико-химической обстановки и др., — строение этих ореолов, соотношение элементов в них бывает довольно сложным.

Первичные ореолы часто представляют собой непосредственные продолжения рудных тел и отличаются от них лишь меньшими содержаниями полезных компонентов. А поскольку требования промышленности к содержанию полезных компонентов в руде с течением времени меняется, то меняется и условная граница между рудой и ореолом. Это в первую очередь относится к сингенетичным месторождениям.

Форма нахождения элементов в первичных ореолах различна. Часто они образуют собственные минералы, обычно те же, что присутствуют в рудах. Нередко они содержатся в виде изоморфных примесей в различных минералах вмещающих пород и новообразованных, “ореольных”. Кроме того, ореолообразующие элементы могут содержаться в растворах — пленочных и поровых, пропитывающих вмещающие породы. Но, вероятно, в данном случае по своей природе эти элементы могут быть отнесены и к компонентам вторичных ореолов.

Первичные ореолы практически во всех случаях характеризуются определенной зональностью в распределении элементов и их концентраций. Зональность определяется геохимическими свойствами элементов, составом вмещающих пород, стадийностью рудообразующих процессов и др. Важная роль зональности ореолов при поисках определяется тем, что по ее характеру иногда удается установить уровень эрозионного среза относительно рудного тела (надрудный, рудный, подрудный). Морфология первичных ореолов, как было отмечено выше, определяется в первую очередь рудоконтролирующими структурами.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния — это зоны пород преимущественно поверхностных образований, обогащенных продуктами, возникающими при процессах разрушения месторождений. Такие ореолы и потоки образуются в рыхлом покрове и почвах, растительности, грунтовых и поверхностных породах, почвенном и приповерхностном воздухе и связаны между собой. Ореолы характеризуются изометричной формой в плане, у потоков вытянутая форма, обусловленная перемещением продуктов разрушения постоянными или временными водотоками, реже другими агентами.

В зависимости от характера разрушения месторождения и фазового состояния продуктов разрушения вторичные ореолы и потоки рассеяния разделяются на механические, солевые, водные (или гидрогеохимические), газовые (атмогеохимические) и биогеохимические.

Механические ореолы формируются во всех типах рыхлых отложений от элювиальных до ледниковых при разрушении химически устойчивых полезных ископаемых. Механические ореолы обусловлены повышенными концентрациями рудных минералов. По крупности и агрегатному состоянию продуктов разрушения ореолы и потоки подразделяются на крупнообломочные (рудные развалы, валуны, галька), шлиховые (песчано-гравийные), тонкодиспергированные (глинистые).

Солевые ореолы и потоки рассеяния образуются в результате разложения, растворения, переноса и перетолжения рудного вещества в поверхностных породах в виде элементов и солей. Формирование солевых ореолов и их состав в значительной степени зависят от климатических условий района, в особенности от соотношения между количеством атмосферных осадков и величиной испарения. В большинстве случаев наблюдаются совместные механические и солевые ореолы.

Водные (гидрогеохимические) ореолы представляют собой области распространения подземных и поверхностных вод, которые в результате взаимодействия с полезными ископаемыми, а также первичными и вторичными ореолами, отличаются повышенными содержаниями химических элементов, присутствующих в месторождении, и некоторых других компонентов, например, сульфат-иона, хлор-иона и др. Среди гидрогеохимических ореолов выделяются постоянные (преимущественно в глубоких водоносных горизонтах) и временные (в поверхностных и грунтовых водах), концентрации элементов в которых меняются в зависимости от обилия атмосферных осадков.

Газовые (атмогеохимические) ореолы рассеяния представляют собой локальное обогащение почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы паро- и газообразными соединениями, связанными с полезными ископаемыми. Такие ореолы образуются в результате миграции элементов в газовой фазе во время формирования месторождений и в процессе их разрушения. Газовые ореолы образуются при химических преобразованиях сульфидных руд, месторождений ртути; ореолы радона, торона и гелия возникают над месторождениями радиоактивных элементов; горючие газы, гелий, углекислый газ и другие фиксируют месторождения углеводородов.

Биогеохимические ореолы представляют собой области распространения растений с повышенным содержанием типоморфных

для месторождения элементов. Повышенные концентрации устанавливаются в золе растений и обусловлены избирательным поглощением различных элементов растениями. При этом в конкретных условиях элементы неравномерно распределяются по растению, накапливаясь либо в листьях, либо в стволе и т.д. Разные виды растений характеризуются избирательными свойствами концентрации элементов.

Следы старых горных выработок, из которых в древности производилась добыча полезных ископаемых, отвалы таких древних разработок, археологические находки и данные, свидетельствующие о старинных горных промыслах и металлургических производствах, могут служить важным указанием на наличие полезных ископаемых. По таким признакам были обнаружены многие месторождения на Кавказе, Урале, Алтае, в Казахстане и в некоторых районах Сибири.

Измененные околорудные породы. Процессы рудообразования обычно приводят к более или менее значительным изменениям вмещающих пород. Околорудные изменения достаточно широко распространены. Кроме того, они различаются по типу формирующихся измененных пород, наличие которых свидетельствует о процессах минералообразования, хотя они и не всегда сопровождаются оруденением. Наиболее важными для поисков являются такие типы изменений, как скарнирование, грейзенизация, окварцевание, березитизация и др.

Скарны и скарнированные породы формируются при взаимодействии интрузий умеренно кислых, реже щелочных и основных изверженных пород с вмещающими карбонатными осадочными породами или вулканогенно-осадочными с примесью известкового материала. Они состоят из гранатов, пироксенов, других известково-железных силикатов — волластонита, скаполита, эпидота, амфиболов и других и обычно располагаются вдоль контактов интрузии с вмещающими породами. Скарны и скарнированные породы сопровождают некоторые типы месторождений железа, кобальта, меди, полиметаллов, вольфрама, молибдена, золота и др.

Грейзены связаны с гранитными интрузиями резко выраженного кислого состава, пересыщенными глиноземом, располагаются в апикальных частях массивов и состоят в основном из кварца, слюд (мусковит, биотит, цинвальдит), топаза, турмалина, флюорита и др. В основном грейзены развиваются по интрузивным породам и в небольшой степени охватывают породы кровли — кварциты, кварцевые песчаники, кислые эффузивы и др. С грейзенами связан более узкий круг месторождений: касситеритовые, вольфрамитовые, молибденитовые, бериллиевые, танталита-колумбита и висмутовые.

О кварцованные породы. Окварцование пород при гидротермальных процессах развито широко и сопровождается многочисленными типами месторождений. Гидротермальное изменение интрузивных и эффузивных пород кислого и среднего составов приводит к образованию так называемых вторичных кварцитов, в которых наряду с резко преобладающим кварцем присутствует серицит, каолинит, андалузит, алунит, пирофиллит, а также рутил, турмалин и рудные минералы (пирит, халькопирит, молибденит, гематит и др.). С формацией вторичных кварцитов связаны некоторые промышленные типы медных, медно-молибденовых и молибденовых месторождений, известных под названием медно-порфировых. Особый тип пород образуют окварцованные известняки — джаспероиды, состоящие из мелкозернистого кварца и халцедона и реликтов кальцита и доломита. Этот тип изменений околорудных пород наблюдается на некоторых месторождениях свинца и цинка, а также сурьмы и ртути.

Березиты представляют собой гидротермально измененные породы, образованные главным образом за счет гранитоидных пород (гранит-порфиров, кварцевых порфиров и др.) и состоящие из кварца и серицита с примесью пирита и рутила. Березитизация сопровождается образованием золоторудных жильных месторождений и некоторых молибденовых, вольфрамовых, медных и др.

Помимо перечисленных широким развитием пользуются и другие типы гидротермального изменения боковых пород, сопровождающие процессы формирования месторождений. Так, гидротермальные месторождения, локализованные в породах основного состава, нередко сопровождаются лиственитизацией — образованием метасоматического карбонат-кварцевого парагенезиса с примесью пирита, хлорита, талька, серицита, серпентина, актинолита и др. В ультраосновных породах наблюдается серпентинизация и оталькование. Приповерхностные вулканогенные месторождения золото-серебряных, сурьмяных и полиметаллических руд, приуроченные к вулканогенным породам преимущественно андезитодацитового состава часто сопровождаются пропилитизацией — замещением боковых пород ассоциацией хлорита, карбонатов, эпидота, пирита и др.

Некоторые, в том числе широко распространенные типы изменений, называются по ведущим новообразованным минералам: каолинизация, алунитизация, цеолитизация, турмалинизация, графитизация, флюоритизация, гематитизация, баритизация и др.

К группе околорудных измененных пород относят породы, перенесшие вторичные изменения, т.е. преобразования вмещающих рудные залежи пород в зоне окисления. Они выражаются обычно в осветлении пород, широком развитии охр, возникающих при окислении сульфидных руд, образовании иногда “железных шляп”, состоящих из гетита, гидрогетита, гематита, халцедона,

опала, пирита, малахита и др. Железные шляпы, являясь хорошим поисковым признаком, нередко сами представляют объекты промышленной разработки (железо, золото, малахит и др.).

Геофизические аномалии. Тела полезных ископаемых по своим физическим свойствам нередко существенно отличаются от вмещающих пород. Это обуславливает возникновение аномалий в геофизических полях и возможность выявления их соответствующими методами. Геофизические аномалии являются поисковыми признаками месторождений, хотя далеко не все они бывают вызваны присутствием залежей полезных ископаемых.

Гравитационные аномалии, т.е. зафиксированные в гравитационном поле участки с отклонениями значений ускорения силы тяжести от нормальных, обусловлены неоднородностью строения земной коры. Положительные аномалии бывают обусловлены наличием относительно крупных масс пород с высокими плотностными характеристиками. Такие аномалии часто фиксируются над залежами железных руд, хромитов, сульфидов и др.

Магнитные аномалии — изменения напряженности магнитного поля, вызванные присутствием неодинаковых по магнитным свойствам пород. Обычно тела полезных ископаемых характеризуются повышенными, сравнительно с вмещающими породами, содержаниями магнитных минералов, вызывают положительные магнитные аномалии, интенсивность которых зависит от типа руд и их объема.

Электрические аномалии. Присутствие среди относительно однородных вмещающих пород объектов, отличающихся от них по своим электрическим свойствам, обуславливает возникновение электрических аномалий, т.е. отклонений электромагнитного поля от его нормального значения. В зависимости от того параметра, который принят в каждом конкретном случае для характеристики поля, существуют аномалии кажущегося удельного электрического сопротивления, аномалии естественного электрического поля, аномалии вызванной поляризации и др. Руды многих месторождений по сравнению с вмещающими породами характеризуются повышенной электропроводностью, более низкими показателями электрического сопротивления и т.д. Разнообразные методы электроразведки, позволяющие измерять различные параметры и естественного, и искусственных электрических полей, используются для выявления объектов с отличными от общего фона электрическими свойствами.

Радиоактивные аномалии, вызванные присутствием повышенных концентраций радиоактивных элементов в рудах, служат надежным поисковым признаком для обнаружения месторождений радиоактивного сырья. Благодаря высокой миграционной способности радиоактивные элементы проникают во вмеща-

ющие породы, в почвы; газообразные продукты радиоактивного распада фиксируются в почвенном воздухе.

В качестве поисковых признаков используются и другие аномалии — сейсмические, сейсмoeлектрические и др.

Геофизические аномалии отражают неоднородность строения изучаемых участков земной коры. Поэтому при использовании геофизических поисковых методов едва ли не самой трудной и ответственной задачей является выяснение природы установленных аномалий, выделение тех из них, которые обусловлены залежами полезных ископаемых.

Геофизические аномалии, выявленные над месторождениями, не только фиксируют скопления тех или иных полезных ископаемых, но по своим показателям — интенсивности, площади, конфигурации и др. — позволяют в некоторых случаях оценить масштабы объекта, глубину и характер залегания и другие параметры.

Геофизические аномалии используются не только как признаки залегающих в недрах тел полезных ископаемых. Интерпретация геофизических материалов оказывает существенную помощь в расшифровке особенностей геологического строения, и в частности в выявлении ряда геологических предпосылок: например, участков развития измененных пород, положения и ориентировки разрывных рудоконтролирующих структур и т.д.

Геоморфологические поисковые признаки. При поисках полезных ископаемых в некоторых случаях могут быть использованы особенности микрорельефа исследуемой территории. Дело в том, что залежи полезных ископаемых могут существенно отличаться от вмещающих пород по степени устойчивости к агентам выветривания. Поэтому тела полезных ископаемых, выходящие на поверхность, могут фиксироваться отрицательными формами рельефа — депрессиями, впадинами, карстовыми воронками, если они легко выветриваются, разрушаются, выщелачиваются и т.д. И наоборот, устойчивые тела нередко выступают в рельефе в виде гряд, цепочек коренных выходов, образуют уступы и другие элементы рельефа.

Типы и виды поисковых признаков не ограничиваются перечисленными группами. Поисковыми признаками могут служить самые разнообразные факты и явления: характер растительности, окраска пород, текстурно-структурные их особенности, наличие типоморфных минералов в породах или в шлихах, типоморфных элементов или их групп в минералах и т.д. При этом информативность признаков для разных групп месторождений различна. На самом деле, для каждого промышленного типа месторождений, являющегося объектом поисков, должен быть установлен свой сугубо индивидуальный комплекс поисковых признаков. От

того, насколько правильно установлен такой комплекс во многом зависит успех поисковых работ.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для поисков месторождений используются разнообразные методы, направленные на обнаружение самих залежей, а также всех видов аномалий, вызванных ими. В соответствии с этим методы поисков могут быть подразделены на геологические, минералогические, геохимические и геофизические. Отдельную группу составляют горно-буровые методы, которые используются для проверки результатов, полученных каждым из перечисленных методов, и для непосредственного вскрытия залежей полезных ископаемых, положение которых предварительно оценено по характеру размещения выявленных аномалий.

По условиям, в которых ведутся поисковые работы, методы поисков подразделяются на дистанционные (космические и аэрометоды), наземные и подводные.

Таким образом, классификация поисковых методов может быть представлена в следующем виде.

I. Космические методы поисков. Геологическое и поисковое дешифрирование материалов различных космосъемок — цветных, спектрально-инфракрасных и других специализированных съемок.

II. Аэрометоды. 1. Аэрогеологические методы: а) аэровизуальные геологические и поисковые наблюдения; б) геологическое и поисковое дешифрирование аэрофотоматериалов.

2. Аэрогеофизические методы: а) аэромагнитометрическая съемка; б) аэроадиометрическая съемка; в) аэроэлектрометрическая съемка.

3. Аэротранспортные и аэродесантные методы: а) для проведения наземных геологических, минералогических и геохимических исследований; б) для проведения наземных геофизических исследований.

III. Наземные методы. 1. Геологические методы: а) метод геологической съемки — универсальный поисковый метод; б) методы специализированных геологических съемок.

2. Минералогические методы. А. Метод изучения и оценки выходов полезных ископаемых на современную поверхность. Б. Минералогические методы изучения и оценки ореолов рассеяния минералов: а) в рыхлых отложениях — обломочно-речной (русовой), валунно-ледниковый, шлиховой; б) в коренных породах — метод минералогического картирования, протоочно-шлиховой, шлихо-взрывной.

3. Геохимические методы. А. Литогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов:

а) в рыхлых отложениях — спектрометрические (металлометрические) и микрохимические методы по почвам и элювиально-делювиальным отложениям, донным осадкам, торфяным и другим образованиям; б) в коренных породах — спектрометрические и микрохимические методы. Б. Гидрогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов: а) в поверхностных водотоках; б) в подземных водах. В. Биогеохимические методы изучения и оценки: а) ореолов рассеяния химических элементов в растениях (биогеохимические методы); б) ореолов развития определенных видов растений, связанных с геохимическими особенностями почв (геоботанический метод). Г. Атмогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния: а) радиоактивных эманаций (эманационный метод); б) газов (метод газовой съемки).

4. Геофизические методы. Методы изучения и оценки геофизических аномалий, обусловленных полезными ископаемыми, структурами, их вмещающими, сопровождающими их породами, или сочетанием этих факторов: магнитометрические, гравиметрические, сейсмометрические, электрометрические, радиометрические, ядерногеофизические.

5. Горно-буровые методы, основанные на использовании для поисков: А. Горных выработок. Б. Буровых скважин.

IV. Подводные методы поисков. Применяются для поисков полезных ископаемых, скрытых под водами рек, озер, морей и океанов. 1. С надводных кораблей. 2. С подводных кораблей. 3. Аквалангистами.

Подробному описанию различных методов, условий их применения, возможностей, точности, достоверности, способов интерпретации посвящены специальные учебные курсы, многочисленные методические руководства и другая специальная литература. Общая характеристика основных групп поисковых методов сводится к следующему.

Геологические методы. Ведущим методом поисков является геологическая съемка. Составление геологических карт и анализ их позволяют выявить особенности геологического строения, закономерности размещения и локализации месторождений полезных ископаемых. Геологическая съемка обеспечивает получение основного объема информации о поисковых предпосылках, поскольку содержит важнейшие сведения о всех комплексах пород, участвующих в строении района, их возрастных и структурных взаимоотношениях, фациальных и литологических особенностях и других важнейших элементах геологического строения. В зависимости от масштаба карты принято разделять на: обзорные (1 : 1 000 000 и мельче), мелкомасштабные (1 : 1 000 000 и 1 : 500 000), среднемасштабные (1 : 200 000 и 1 : 100 000), крупномасштабные (1 : 50 000 и крупнее).

Для каждого масштаба съемок имеются особые требования, предусматривающие характер, объем, степень детальности геологической и поисковой информации и соответственно комплекса основных и сопутствующих исследований, проводимых в процессе работ по составлению карт. Во многих случаях, особенно при прогнозно-поисковых работах, требуется составление специализированных карт, с особой подробностью отражающих те элементы, которые имеют непосредственное отношение к поискам. Например, в областях развития вулканогенных месторождений целесообразно в дополнение к геологической карте составить палеовулканологическую; при прогнозной оценке осадочных толщ может потребоваться литолого-фациальная карта и т.д.

Особо следует подчеркнуть, что при составлении геологических карт различного масштаба и различной специализации широко используются дистанционные — космические и аэрометоды, позволяющие получить дополнительную информацию как по особенностям геологического строения, так и поисковую — о наличии и пространственном размещении поисковых предпосылок и признаков.

Минералогические методы. В основном имеются в виду методы изучения и оценки первичных и вторичных ореолов рассеяния минералов. Первичные ореолы рассеяния, представляющие собой области вмещающих пород, окружающие тела полезных ископаемых и содержащие рассеянную вкрапленность рудобразующих или сопутствующих минералов. Эти ореолы могут быть обнаружены и оценены методами минералогического картирования, протоочно-шлиховым, шлихо-взрывным. Площадное минералогическое картирование, предусматривающее составление минералогических карт, отражающих распределение парагенетических минеральных ассоциаций в теле полезного ископаемого и во вмещающих породах, может применяться для поисков скрытых месторождений и рудных тел, для оконтуривания площадей возможной рудоносности и т.д. Протоочно-шлиховой метод, заключающийся в отборе протоочных проб, дроблении, промывке их, изучении полученных шлихов, наиболее успешно применяется для обнаружения первичных ореолов рассеяния минералов и других целей в массивах изверженных пород. Шлихо-взрывной метод, основанный на декрепитации шлихов, позволяет выявить ореолы распределения минералов с повышенными содержаниями газово-жидких включений, что может соответствовать участкам, подвергшимся гидротермальной проработке.

Выявление и изучение вторичных ореолов рассеяния минералов в рыхлых отложениях осуществляется валунно-ледниковым, обломочно-речным, шлиховым методами.

Валунно-ледниковый метод используется при поисках месторождений на площадях развития ледниковых отложений и состоит

в систематическом изучении валунного материала, оконтуривании ореолов рассеяния рудных обломков, определении возможного источника рудного веера.

Обломочно-речной метод основан на изучении аллювиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния. Сущность его заключается в обнаружении в указанных отложениях обломков руды или сопутствующих типоморфных минералов и систематическом прослеживании их вплоть до месторождения, находящегося в коренном залегании. Поиски рудных обломков осуществляются путем тщательного осмотра рыхлых отложений, в ряде случаев проходятся поверхностные выработки — копуши и каналы.

Шлиховой метод служит для изучения механических шлиховых ореолов рассеяния. Он состоит в систематическом отборе проб рыхлого материала, выделении из него (путем промывки) шлиха — концентрата тяжелых минералов, его анализа. Полученные данные (минералы шлиха и их количество) используются для составления шлиховых карт, позволяющих выделить перспективные для поисков участки.

Геохимические методы весьма разнообразны, но в большинстве основаны на принципе геохимических съемок. По А.П. Соловову и А.А. Матвееву, в основе геохимических методов поисков лежат представления о геохимическом поле, под которым понимается геологическое пространство, характеризующееся количественными содержаниями химических элементов. Геохимические съемки проводятся путем изучения содержаний химических элементов в геохимическом поле, в дискретных точках или непрерывно, с отбором проб или измерениями определенных показателей без отбора проб. Пункты наблюдения, отбора проб или производства замеров располагаются по определенной системе или беспорядочно, но обязательно должны характеризовать изучаемую площадь. Поиски проводятся литохимическим, гидрохимическим, атмохимическим и биогеохимическим методами.

Геофизические методы применяются для решения общегеологических вопросов, при поисках и разведке месторождений. В сочетании с геологическими данными геофизические методы позволяют выявить и проследить некоторые элементы, относящиеся к геологическим предпосылкам, а также аномалии, являющиеся поисковыми признаками. Поэтому геофизические методы применяются при всех видах съемочных поисковых и разведочных работ, начиная от обзорных и региональных и кончая детальными. Особенно важную роль геофизические методы играют при изучении и оценке закрытых районов, при поисках слепых и перекрытых тел полезных ископаемых. Геофизические методы разнообразны; физическая основа, аппаратура, интерпретация и

другие вопросы, связанные с использованием этих методов, рассматриваются в специальных курсах.

Подводя итог краткой характеристике поисковых методов, следует подчеркнуть, что они отличаются большим разнообразием. Вероятно, справедливо будет утверждение, что существует столько поисковых методов, сколько имеется поисковых признаков. Кроме того, многие методы имеют разные модификации, учитывающие конкретные обстоятельства и свойства изучаемого объекта.

КАРТЫ ПРОГНОЗА

Изучение геологических закономерностей размещения и локализации месторождений полезных ископаемых является основой целенаправленных поисковых работ. Для более эффективного осуществления поисков составляются прогнозные карты, которые позволяют учесть все сведения, имеющие отношение к месторождениям, т.е. весь комплекс геологических предпосылок и признаков.

Среди карт, отражающих закономерности размещения полезных ископаемых и служащих основой для прогноза вероятного распределения месторождений, В.И. Смирнов предлагает выделять следующие типы: 1) комплексные карты с показом на них всех разновидностей полезных ископаемых; 2) карты распространения отдельных генетических групп месторождений полезных ископаемых; к ним могут относиться, например, карты размещения скарновых, пегматитовых или россыпных месторождений; 3) карты распространения отдельных видов минерального сырья; с одной стороны, карты парагенетически связанных месторождений, например, нефти и газа, вольфрама и олова, сурьмы и ртути, а с другой — карты какого-либо одного полезного ископаемого, например, железа, марганца, золота и др.

В настоящее время в практике поисково-разведочных работ все шире используются крупномасштабные (1 : 50 000, 1 : 25 000) прогнозные карты, составляемые для отдельных рудных районов, дающие возможность оценить их перспективы и обосновать выделение участков возможной локализации месторождений и отдельных залежей. Часто такие карты сопровождаются более крупномасштабными детальными врезками. Детальные прогнозные карты обычно представляют собой комплекты специализированных карт, типы и целевое назначение которых могут быть различными в зависимости от промышленного типа месторождений, геологического строения района, степени его изученности и т.д.

Комплект детальных прогнозных карт в качестве обязательных содержит геологическую карту, карту рудной нагрузки, схему геологической изученности, карту геологических предпосылок и

поисковых признаков и прогнозную накладку. Этот комплект при необходимости может быть дополнен другими материалами, например картой метаморфизма и т.д. В основном методика составления комплекта прогнозных карт определяется расположением изучаемого рудного района в пределах рудной области, связью месторождений с магматическими и другими комплексами, в силу чего большое значение придается формационному и фациальному анализам, дробному структурно-металлогеническому районированию, изучению рудоносных структур и др. В соответствии с этими принципами нередко проводятся специальные палеофациальные исследования и др.

Конечным результатом обобщения всех материалов по месторождениям и рудопрооявлениям, геологическим предпосылкам и поисковым признакам является карта геологических предпосылок и поисковых признаков. Отражая результаты структурно-формационного и металлогенического районирования, анализа геологических предпосылок и поисковых признаков, она дает представление об установленных закономерностях размещения месторождений, раскрывает возможности для выявления участков, перспективных для поисков скрытых месторождений.

Схема прогнозирования завершает комплект прогнозных карт. На ней показываются перспективные участки и площади, отражена степень перспективности этих площадей и намечаются основные направления их дальнейшего изучения. В легенде к карте перечисляется комплекс рекомендуемых поисковых работ для каждого выделенного участка и их последовательность.

Глава 6. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Разведка месторождений полезных ископаемых — это комплекс исследований и работ по выяснению промышленного значения месторождения. Разведочные работы на месторождении производятся прежде всего для определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных условий залегания минерального сырья и экономических условий, в которых находится месторождение. Таким образом, разведочные работы преследуют цель промышленной оценки месторождений и получения геологических материалов, необходимых для составления проекта их эксплуатации и самой эксплуатации.

Главнейшие задачи, решаемые в процессе разведки, сводятся к следующему.

1. Определение формы и размера промышленной части месторождения для оценки количества полезного ископаемого. Геометризация тел полезных ископаемых в недрах производится на основе изучения геологического строения участка месторождения, его структурных особенностей, условий локализации тел, их взаимоотношений с вмещающими породами. Изучение формы месторождений в ряде случаев осложняется отсутствием естественных геологических границ, отделяющих полезное ископаемое от вмещающих пород, необходимостью установления этих границ по данным опробования. Надежное определение размеров тел может быть произведено только с учетом закономерностей изменчивости их морфологии. Поэтому разведка предусматривает изучение месторождений во всем их объеме.

2. Установление качественно-технологической характеристики полезного ископаемого. Качество полезного ископаемого неотделимо от количества, поскольку в контуры промышленных участков включаются лишь те части месторождения, которые отвечают промышленным требованиям, иными словами, форма залежей в известной степени определяется их качеством. Многие типы месторождений полезных ископаемых характеризуются присутствием нескольких различных типов (например, окисленные, сульфидные, смешанные руды) и сортов (различающихся по уровню содержания полезных компонентов, присутствию ценных или вредных примесей). Задачей разведки является характеристика всех природных разновидностей на основе технических требований к сырью (кондиций) и изучение их пространственного размещения.

3. Выявление природных факторов, определяющих условия эксплуатации: характер залегания и мощность тел, глубину залегания и мощность вскрышных пород (если предусматривается открытая разработка), твердость и трещиноватость руд, состав и

физико-механические свойства вмещающих пород, обводненность месторождения и другие факторы, имеющие значение при производстве добычных работ.

4. Определение степени соответствия всех параметров месторождения современным геолого-экономическим требованиям промышленности. С этой целью проводится анализ выявленных в процессе разведки геологических, горнотехнических, технологических и экономических факторов, на основе которого определяется способ разработки месторождения, параметры будущего горнорудного предприятия, экономический эффект от разработки месторождения.

Разведочные работы обычно проводятся последовательно в три стадии: предварительную, детальную и эксплуатационную.

Предварительная разведка определяет схему геологического строения месторождения, возможное общее количество минерального сырья в недрах и его среднее качество. Она проводится на ранней стадии изучения месторождения и обычно сводится к прослеживанию и оконтуриванию тел с поверхности и пересечению их на глубине отдельными горными выработками или скважинами. На этом этапе изучением охватывается вся площадь месторождения для полной предварительной оценки его промышленной ценности и выбора наиболее важного участка для детальной разведки. Данные предварительной разведки используются для составления проекта детальной разведки. По результатам предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), обосновывающий целесообразность детальной разведки месторождения или отказ от следующего этапа.

Детальная разведка определяет геологическое строение месторождения, количество руды в недрах и качество ее по сортам и участкам. Детальной разведке, особенно на крупных месторождениях, обычно подвергается только часть месторождения, достаточная для выявления запасов, необходимых для организации эксплуатационных работ. Данные детальной разведки должны обеспечивать геологическую часть проекта разработки месторождения. Отдельные мелкие месторождения очень сложного строения нередко экономически нецелесообразно подвергать детальной разведке, требующей больших капиталовложений. В этих случаях после предварительной разведки и оценки месторождения детальную разведку совмещают с эксплуатационно-подготовительными работами, что значительно сокращает сроки освоения таких месторождений и затраты на их разведку.

Эксплуатационная разведка сопровождает разработку месторождения, уточняет детали геологического строения отдельных участков, необходимые для правильной эксплуатации. Кроме того, задачей ее является расширение сырьевой базы

действующего предприятия путем развития фронта разведочных работ как на флангах, так и в глубинных частях месторождения.

Как вытекает из определения предварительной и детальной разведки, различие между ними заключается в детальности определения тех или иных показателей.

Технические средства разведки. Основной объем разведочной информации геологи получают используя два вида технических средств — горные выработки и буровые скважины. Эти виды характеризуются различной информативностью и различными экономическими показателями.

Буровые скважины проходятся в 2–3 раза быстрее горных выработок и более чем в 3–4 раза дешевле их, хотя общее сокращение времени и расходов на разведку бурением по сравнению с разведкой горными выработками не столько велико, так как объем буровых работ для разведки любого объекта, как правило, должен быть выше объема горных работ. Разведка бурением требует меньшей рабочей силы, энергии и оборудования. Однако по геологическим результатам, по степени информативности бурение уступает горным выработкам. Каждая буровая скважина представляет лишь тонкий прокол рудного тела, недоступный для осмотра. Горные же выработки дают более крупное пересечение, доступное для осмотра, геологической документации и опробования на месте. Они позволяют проводить повторные наблюдения, контрольное опробование. Кроме того, горные выработки обладают гибкостью, дающей возможность изменять их направление в зависимости от поведения рудного тела, что бывает необходимо при прослеживании тел сложной морфологии и прерывистых залежей. К этому надо добавить, что часть горноразведочных выработок может быть использована при последующей эксплуатации, что частично окупает расходы на их проходку. Поэтому горные выработки применяются при разведке не менее часто, чем более дешевые буровые работы, особенно при изучении верхних частей рудных тел. В некоторых случаях при разведке сложных по форме, строению и распределению металлов месторождений, когда требуется тщательное и непрерывное прослеживание рудных тел, буровые скважины даже при существенном увеличении их количества не могут заменить горные выработки.

Выбор технических средств для разведки каждого конкретного месторождения производится, по В.И. Смирнову, с учетом общеэкономических, горнотехнических и геологических факторов.

Общэкономические условия включают пути сообщения, энергетическую базу, климат, обеспеченность водой, крепким лесом и др.

Горнотехнические факторы определяются рельефом местности, глубиной залегания рудных тел, условиями их залегания, характером пород и водоносностью участка.

Из числа геологических условий, определяющих выбор горных и буровых работ, важнейшую роль играют устойчивость формы рудных тел, устойчивость в распределении полезного компонента, размеры тел.

Устойчивость формы рудных тел определяется выдержанностью их мощности или поперечного сечения на большом протяжении. Выделяются устойчивые по форме рудные тела, например пласты морских осадочных рудных месторождений, мощность которых очень слабо и закономерно изменяется на расстояниях в сотни метров и даже в километры. С другой стороны, бывают неустойчивые по форме тела, например некоторые жилы гидротермального происхождения, иногда состоящие из тонкой слабо минерализованной рудоносной трещины со спорадическими раздувами (рудными столбами) на коротких интервалах. Разведка устойчивых по морфологии тел более проста и нередко может быть осуществлена одними скважинами, тогда как получение разведочных данных необходимой достоверности по телам сложной морфологии требует проходки горных выработок.

Устойчивость распределения полезного компонента в рудах определяется двумя показателями: степенью прерывистости кондиционных участков рудного тела и изменчивостью содержаний полезного компонента.

Степень прерывистости определяется коэффициентом рудоности, под которым понимается отношение количества руды ко всему объему рудоносной зоны, в которой заключена эта руда.

Коэффициент рудоности может быть: 1) линейным, определяемым как отношение длины интервалов с кондиционной рудой к общей длине выработок, пройденных по рудному телу; 2) площадным, определяемым как отношение площади, занятой рудой ко всей площади рудоносной зоны; 3) объемным, определяемым по отношению объема рудных гнезд ко всему объему рудоносного контура. Чем выше коэффициент рудоности, тем меньше прерывистость оруденения, достигающая при коэффициенте, равном единице, сплошного, непрерывного оруденения.

Интенсивность изменчивости содержаний полезного компонента оценивается коэффициентом вариации — чем выше коэффициент вариации, тем сложнее разведка и тем большее количество пересечений тела необходимо для надежной оценки качества минерального сырья. С учетом двух указанных показателей можно выделить рудные тела: 1) с непрерывным оруденением и равномерным распределением металла; 2) с непрерывным оруденением и неравномерным распределением металла; 3) с прерывистым оруденением и равномерным распределением металла и 4) с прерывистым оруденением и неравномерным распределением металла. От первой к четвертой группе возрастает сложность строения

рудных тел и необходимость большего числа пересечений и большей роли горных выработок для получения достоверных сведений о строении тел и качестве минерального сырья.

Размеры рудных тел также оказывают влияние на выбор метода разведки. Крупные тела вскрываются большим количеством пересечений, что исключает возможность существенных ошибок в определении размеров месторождения и качества руды. В этих случаях предпочтительнее разведка скважинами. Мелкие тела, в особенности характеризующиеся сложной формой, обычно разведываются горными выработками.

Исходя из охарактеризованных геологических условий В.И. Смирновым сформулировано следующее правило для выбора горных или буровых работ при разведке: чем сложнее и изменчивее форма рудного тела, чем меньше размеры его, ниже коэффициент рудоносности и выше степень неравномерности распределения металла в руде, тем большее значение приобретают горные и меньшее буровые работы при разведке месторождений.

Принципы разведки. Несмотря на большое разнообразие месторождений полезных ископаемых, в основу разведки могут быть положены одни и те же принципы, поскольку геологоразведочный процесс осуществляется на определенном уровне развития производительных сил и имеет в конечном счете одну и ту же задачу: выявление в недрах промышленных запасов различных полезных ископаемых. Исходя из этого В.М. Крейтер сформулировал четыре основных принципа разведки: 1) последовательных приближений; 2) полноты исследований; 3) равной достоверности (равномерности); 4) наименьших затрат средств и времени.

Принцип последовательных приближений говорит о постепенном наращивании знаний об изучаемом месторождении по этапам и стадиям. Практически каждая новая разведочная выработка дает тот или иной "прирост" наших знаний. Этот принцип неизбежен во всем геологоразведочном процессе. Хотя работа всегда строится с максимальным ускорением, необходимо соблюдение этапов и стадий, что подтверждается всем многолетним опытом разведки. Так, вслед за поисковой стадией следуют, сменяя друг друга, предварительная, детальная и эксплуатационная стадии разведочного этапа. Их число не пропорционально числу рабочих сезонов: иногда все стадии разведки (кроме эксплуатационной) проходят в один сезон, а иногда даже одна предварительная разведка требует нескольких лет.

С принципом последовательных приближений тесно связан другой, практически самостоятельный принцип геологического прогноза и его проверки. Проектирование каждой разведочной выработки основывается на геологическом прогнозе, и ее проходка или подтверждает (уточняет) прогноз, или заставляет вносить в него коррективы, или, наконец, требует перестройки выдвинутых

представлений. Геологический прогноз и его проверка подтверждают важность принципа последовательных приближений.

Принцип полноты исследований требует не только решения основных задач разведки (определения качества и количества минерального сырья), но и получения всех данных (полной информации), необходимых для проектирования и строительства горнорудного предприятия. Этот принцип требует прежде всего установления комплексности данного минерального сырья, а также контура и размеров месторождения. Под последним подразумеваются надежные разрезы самого тела полезного ископаемого и вмещающих пород. Если на участке месторождения имеется несколько рудных тел, контур нужно получить для каждого тела.

Важнейшим положением принципа полноты исследований является увязка с технологией добычи и обработки минерального сырья. Здесь подчеркивается не только увязка разведочных выработок с опробованием (в частности, технологическим), но и само количество и расположение выработок. Например, разведка для будущей добычи открытыми работами требует большого внимания не только при изучении рудного тела, но также и вскрышных пород, которые будут так или иначе захвачены будущим карьером и в связи с этим могут быть использованы как попутное сырье (например, для строительных нужд).

В основе принципа равной достоверности (равномерности) лежит положение о том, что природные тела характеризуются изменчивостью форм и качества, выявить которую проще всего при равномерном расположении разведочных выработок или пунктов опробования. Но это не означает, что разведочные выработки следует располагать всегда на равных расстояниях. Наоборот, в одном и том же рудном теле в направлении меньшей изменчивости (например, по простиранию) расстояние между выработками необходимо принимать большее, чем по направлению большей изменчивости (например, по падению). Расположение выработок, согласно этому принципу, соответствует характеру изменчивости месторождения. Для достижения равной достоверности необходимо предусматривать увеличение количества наблюдений (сгущение разведочной сети) на участках месторождения, характеризующихся более сложным геологическим строением. Детальность и достоверность исследований, отвечающие данной стадии разведки, а также равномерность результатов достигаются не только соответствующим расположением выработок, но и применением технических средств, равноценных по своим возможностям.

Принцип наименьших затрат средств и времени является основным положением не только разведки, но и всех видов хозяйственной деятельности. На первый

Взгляд некоторые принципы разведки противоречат друг другу. Так, требования принципа полноты исследования потенциально содержат стремление заложить максимальное число разведочных работ, чаще и в большем объеме отбирать пробы и производить другие разнообразные виды работ. С другой стороны, принцип наименьших затрат предполагает производство минимальных объемов геологоразведочных работ. Принцип последовательных приближений, предусматривая стадийность геологоразведочного процесса, как бы сдерживает темп разведки. Однако именно с учетом всех этих требований создаются важные для практики понятия о необходимой и достаточной полноте исследований в оптимальных плотностях разведочных сетей, об оптимальных интервалах опробования, а также нормы на различного рода измерения и исследования.

Методы разведки. По А.Б. Каждану, методика разведки включает в себя совокупность трех основных приемов исследования недр: 1) создание упорядоченных систем искусственных обнажений с помощью разведочных горных выработок и скважин; 2) проведение геологических, геофизических, геодезических и других видов наблюдений и опробование горных выработок и скважин; 3) геологическую, горнопромышленную и экономическую оценки разведанных объемов недр на основе анализа и обработки полученной информации.

Любая разведочная выработка или скважина, пересекающая тело полезного ископаемого, представляет собой искусственное обнажение и может рассматриваться как единичное разведочное пересечение. Разведочное пересечение должно, во-первых, быть ориентированным в направлении, близком к максимальной изменчивости важнейших свойств тела (как правило, это направление совпадает с направлением мощностей тел) и, во-вторых, вскрывать залежи полезных ископаемых на их полную мощность, захватывая прилегающие к ним участки неминерализованных пород. Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует разведочный разрез, а совокупность разведочных разрезов в пространстве — разведочную систему. Основные группы разведочных систем рассмотрены ниже.

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого; другого способа в процессе разведки не существует. Основные вопросы, связанные с опробованием, рассмотрены в отдельной главе.

Оценочное сопоставление непрерывно сопутствует всему процессу разведки месторождения. Сравнение параметров месторождения с требованиями промышленности, сравнение разведываемого месторождения с другими подобными объектами, сравнение элементов процесса его промышленного освоения (добычи, переработки др.) с подобными элементами других горнопромышленных

предприятий — является основой промышленной оценки месторождения на разных стадиях разведки и освоения.

Системы детальной разведки. По В.И. Смирнову и А.П. Прокофьеву, существует три группы систем детальной разведки: горная, буровая и комбинированная горнобуровая, среди которых выделяется тринадцать основных систем.

Группа систем разведки горными выработками. Полная разведка рудных тел исключительно горными выработками применяется в основном на неустойчивых по форме и распределению полезного компонента месторождениях. В этой группе выделено четыре системы.

Разведка канавами применяется при исследовании и прослеживании слюдоносных пегматитовых жил на их выходах. Пегматиты и мусковит устойчивы к выветриванию, поэтому канавы позволяют произвести отбор надежных и представительных проб; данные поверхностной разведки можно экстраполировать на значительную глубину.

Разведка шурфами применяется для близповерхностных горизонтальных или пологозалегающих тел полезных ископаемых (рис. 27). Достоинства системы сводятся к возможности получения достоверного геологического материала, крупных проб, а также к сравнительной дешевизне этого способа и возможности обеспечить широкий фронт разведочных работ. Недостатками системы являются ограниченность применения ее глубиной 30 м, иногда до 50 м от поверхности, а также крупные затруднения, возникающие при ее осуществлении в сильно водоносных породах.

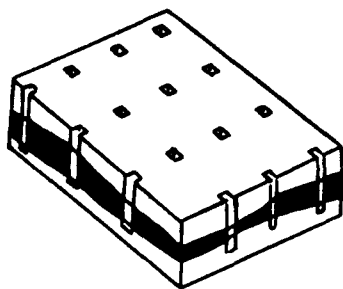


Рис. 27. Разведка шурфами

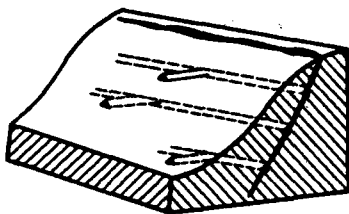


Рис. 28. Разведка штольнями

Разведка штольнями применяется на местности с расчлененным рельефом и обычно сводится к проходке нескольких штолен, закладываемых как по простиранию, так и по падению рудного тела (рис. 28). При необходимости из штолен развиваются штреки, орты, квершлагги и генезки. Штольни закладываются на разных строго установленных уровнях с таким расчетом, чтобы

по завершении проходки все рудное тело было нарезано увязанными между собой горизонтами с точной сбойкой выработок, идущих на одном уровне от разных устьев. Достоинства системы определяются возможностью получения детального геологического материала и сравнительной простотой горнотехнического осуществления. Недостаток системы связан с ограниченными условиями ее применения.

Разведка шахтами производится в условиях ровного рельефа. Сами шахты не являются разведочной выработкой, а обеспечивают возможность проходки из них системы подземных выработок (квершлагов, штреков, ортов и др.) для разведки рудного тела (рис. 29). Разведка шахтами дает точный геологический материал, но является дорогой, технически сложной и применяется не часто.

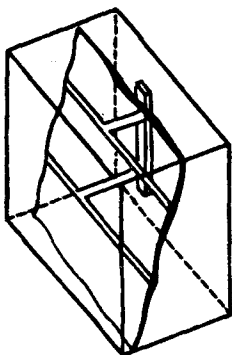


Рис. 29. Разведка шахтой

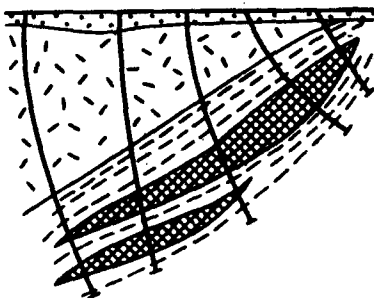


Рис. 30. Разведка глубокими скважинами колонкового бурения (разрез)

Группа систем разведки буровыми скважинами. Полная разведка рудных тел исключительно буровыми скважинами возможна только для месторождений, обладающих устойчивой морфологией, непрерывным оруденением и относительно равномерным распределением металла в крупных рудных залежах. Выделено пять систем.

Разведка мелкими скважинами применяется в тех же случаях, что и система разведки шурфами. Особенно часто к ней приходится прибегать при разведке сильно обводненных участков (например, долинных россыпей), на которых проходка шурфов затруднена. Эта система дешевле шурфовой, но дает менее подробный геологический материал.

Разведка скважинами колонкового бурения наиболее широко распространена (рис. 30). Она применима практически в любых условиях. Недостатками ее являются повышенный расход

воды, низкий выход керна в ряде разновидностей пород, малый объем проб.

Разведка глубокими скважинами ударно-канатного бурения осуществляется для рудных тел, обладающих большой площадью в плане, залегающих среди любых пород (рис. 31). Основное достоинство этой системы определяется возможностью получения крупных проб благодаря большим диаметрам скважин. Недостатки ее связаны с ограниченными возможностями документации скважин, отсутствием нераздробленных образцов, а также с тем, что скважины бурятся только вертикальные.

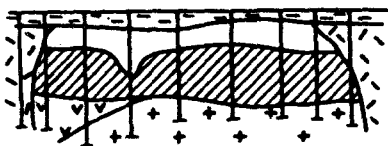


Рис. 31. Разведка глубокими скважинами ударно-канатного бурения (разрез)

Разведка глубокими скважинами осуществляется бурением ударно-канатных скважин для получения крупных проб и некоторого количества колонковых скважин, позволяющих получить образцы горных пород и руд.

Разведка роторным бурением широко распространена на нефтяных и газовых месторождениях и почти не находит применения на месторождениях рудных и нерудных полезных ископаемых за исключением редких случаев для проходки неглубоких скважин.

Группа горно-буровых систем разведки. Очень часто разведка рудных месторождений осуществляется комбинацией горных и буровых работ. При этом горные выработки обеспечивают получение детальных геологических данных по части месторождения, а буровые скважины позволяют оконтурить остальную часть месторождения. Горно-буровые системы чаще всего применяются при разведке рудных тел средней сложности как в отношении морфологии, так и в отношении распределения металлов. Выделяются четыре горно-буровые системы.

Разведка бурением с контрольными шурфами. Для подтверждения данных, полученных при разведке пологих и неглубоко залегающих рудных тел при помощи бурения мелких скважин, в ряде случаев проводится определенное количество шурфов (обычно 5–10% от общего числа скважин). Задаются контрольные шурфы или вместо скважин, или на месте скважин после проходки последних. Шурфы используются также для отбора валовых проб, материала для лабораторного изучения пород и руд, для осмотра и документации рудного тела.

Разведка бурением с контрольными шурфами. Для подтверждения данных, полученных при разведке пологих и неглубоко залегающих рудных тел при помощи бурения мелких скважин, в ряде случаев проводится определенное количество шурфов (обычно 5–10% от общего числа скважин). Задаются контрольные шурфы или вместо скважин, или на месте скважин после проходки последних. Шурфы используются также для отбора валовых проб, материала для лабораторного изучения пород и руд, для осмотра и документации рудного тела.

Система разведки бурением с контрольными штольнями подобна предыдущей, но применяется в горных районах.

Разведка штольнями и скважинами глубокого колонкового бурения. Система применяется в тех случаях, когда по условиям рельефа верхняя часть рудных тел доступна для разведки

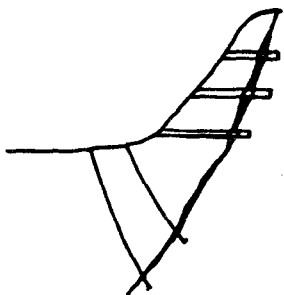


Рис. 32. Разведка штольнями и колонковыми скважинами (разрез)

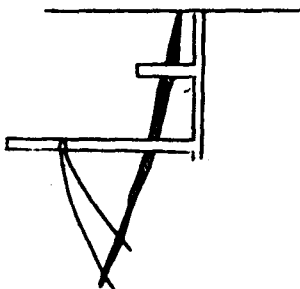


Рис. 33. Разведка шахтой и колонковыми скважинами (разрез)

штольнями, а остальная часть разведывается колонковым бурением (рис. 32).

Разведка шахтами и скважинами глубокого колонкового бурения. При разведке шахтами обычно вскрываются один-два, редко более горных горизонта. Дальнейшая разведка на глубину горными выработками, проходимыми из шахты, резко усложняет технические условия их проведения и сильно удорожает разведку. Поэтому если горная разведка верхней части рудного тела дает достаточный геологический материал для выяснения строения и состава месторождения, то оконтуривание рудного тела на глубине может быть произведено колонковым бурением. При этом буровые скважины могут проходиться как с поверхности, так и из подземных горных выработок (рис. 33).

Помимо перечисленных основных систем разведки используются и другие частные системы.

Расположение разведочных выработок. Существует два основных способа закономерного размещения разведочных выработок и скважин: по сетке и по линиям.

Разведочные сети определяют расположение выработок по взаимнопересекающимся линиям, при этом различают сети квадратные, прямоугольные и ромбические.

При разведке линиями выработки и скважины располагаются по прямым направлениям, обычно ориентированным поперек рудного тела. Чаще всего такой порядок расположения принимается для плоских крутопадающих рудных тел (линзы, жилы, пласты). При этом разведочные выработки и скважины располагаются или по линиям, обеспечивающим создание серии вертикальных поперечных разрезов, или по линиям, дающим возможность построить ряд горизонтальных разрезов. Разведка линиями принимается также для неглубоких, горизонтально залегающих рудных тел, вытянутых в одном направлении, например, россыпей, коры вы-

ветривания и др. Строго говоря, расположение выработок по линиям также образует разведочную сеть, но с резко выраженной анизотропией. А.Б. Каждан подчеркивает, что применение геометрически правильных разведочных сетей обеспечивает объективность выборочных данных, способствует выявлению неслучайных составляющих изменчивости геологоразведочных параметров и благоприятствует применению математических методов их обработки.

Важнейшими характеристиками разведочной сети являются ориентировка, форма и размеры ее ячейки. Ячейка — главный конструктивный элемент разведочной сети. В анизотропных сетях у ячеек вытянутая форма и ориентированы они в одном направлении. В плане выделяются два ортогональных направления — две оси анизотропии с наибольшим $l_{\max}$ и наименьшим $l_{\min}$ средними расстояниями между выработками. Показателем анизотропии разведочной сети является величина $A_c = l_{\max}/l_{\min}$.

Ориентировка и соотношение сторон ячеек разведочной сети зависит от характера анизотропии ведущего геологоразведочного параметра в продольных плоскостях продуктивных залежей или рудных тел. При разведке изотропных объектов используют квадратную сеть. Анизотропные залежи требуют применения прямоугольной или ромбической сети. При этом длинная сторона ячейки ориентируется вдоль направления минимальной изменчивости, а соотношение размеров ячейки устанавливается пропорционально отношению показателей анизотропии данного параметра по двум взаимоортогональным направлениям, лежащим в продольной плоскости. Выбор геометрии ячейки разведочной сети зависит от того, какое свойство полезного ископаемого подлежит более надежной оценке.

Для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежи, а для надежной оценки качества минерального сырья — характеристики изменчивости линейных запасов или содержаний.

Л.И. Четвериков показал, что размер и геометрия разведочной сети влияют на выявляемую изменчивость признака, в частности на анизотропию закономерной изменчивости.

1. Наложение изотропной сети на анизотропный объект приводит к уменьшению анизотропии у наблюдаемой изменчивости содержания по сравнению с природной анизотропией. Чем анизотропнее объект, тем значительнее подобное искажение.

2. Реализация равномерной анизотропной сети в изотропном объекте обуславливает появление ложной анизотропии у наблюдаемой изменчивости содержания. По своему типу и ориентировке фиксируемая ложная анизотропия A_d соответствует анизотропии сети A_c , но оказывается несколько меньшей по своему значению $A_d < A_c$.

3. Осуществление анизотропной неоптимальной геометрии сети в анизотропном объекте может привести к следующему. Если анизотропия сети A_c отличается от анизотропии объекта A_o только значением показателя анизотропии, то при $A_c \ll A_o$ будет отношение $A_c < A_d < A_o$, а при $A_c \gg A_o$ будет $A_c > A_d > A_o$. Наиболее существенные искажения происходят при несовпадении ориентировок анизотропной сети и объекта. Неравномерность разведочной сети обуславливает дополнительные искажения наблюдаемой изменчивости, имеющие свои специфические особенности в каждом конкретном случае.

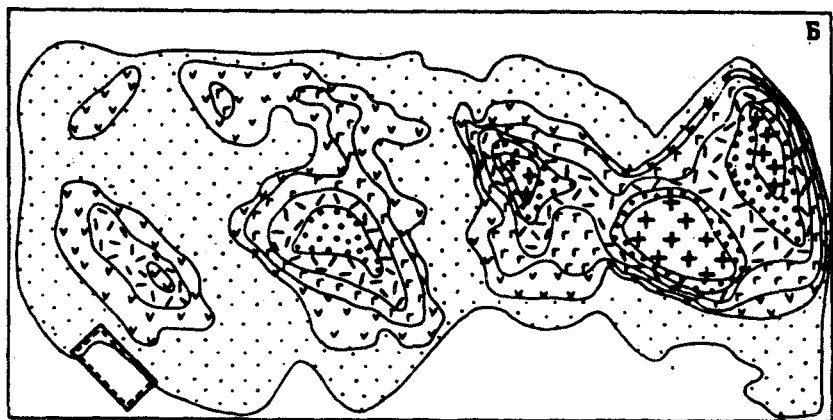
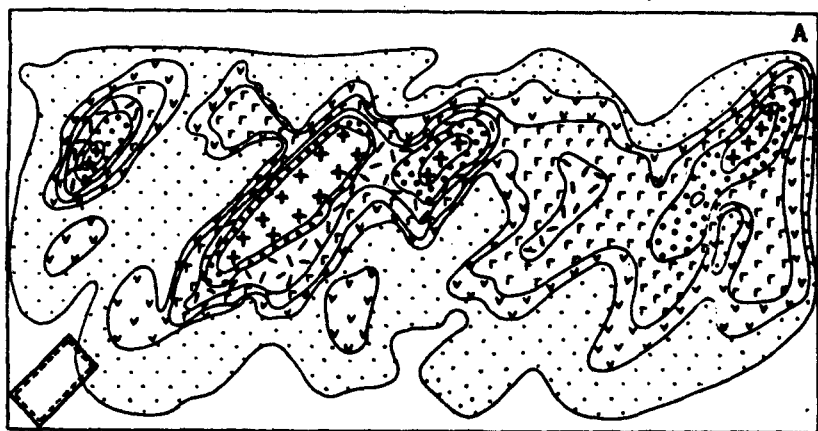
Эти положения наглядно подтверждаются экспериментальными данными. Так, на рис. 34 приведен один из примеров влияния ориентировки разведочной сети на наблюдаемую изменчивость содержания полезного компонента. Компьютерная модель месторождения опробована на ЭВМ прямоугольной сетью с постоянным размером ячейки, но различно ориентированной. Хорошо видно, как близкая к реальной картина распределения содержаний, полученная сетью оптимальной геометрии (рис. 34, А), резко искажается при изменении ориентировки сети; ложная анизотропия в данном случае существенно превышает анизотропию объекта (рис. 34, Б, В, Г).

Вероятные погрешности оценок запасов и средних значений геологоразведочных параметров в пределах подсчетных блоков определяются количеством разведочных пересечений. Оно зависит от предельно допустимых погрешностей определения каждого параметра и заданных доверительных вероятностей этих оценок в подсчетных блоках установленных размеров.

Правильно выбранная разведочная сеть должна быть одновременно оптимальной с позиций как геометрии, так и количества разведочных пересечений на подсчетный блок.

При проектировании геологоразведочных работ, когда сведений о геологическом строении месторождения и свойствах полезного ископаемого еще очень мало, оптимизация разведочной сети проводится по аналогии с другими уже разведанными и освоенными месторождениями данного промышленного типа. На ранних стадиях разведки месторождений ведущим фактором при формировании разведочной сети является морфогенетический тип данного месторождения.

Систематический анализ получаемой в процессе разведки геологической информации служит основой для корректировки разведочной сети. Оценка оптимальности сети и ее корректировка производятся: 1) по степени увязки смежных разведочных пересечений и разрезов; 2) путем выборочного сгущения разведочных пересечений или разрезов; 3) путем создания эталонных разрезов по типичным направлениям изменчивости свойств полезных ископаемых.



После завершения разведочных работ в ряде случаев возникает возможность оценить оптимальность использованной разведочной сети. Такая оценка выполняется: 1) сопоставлением результатов разведочных работ с результатами эксплуатационной разведки; 2) сравнением подсчета запасов с результатами эксплуатационных работ; 3) методом экспериментального разрежения разведочной сети.

Сущность последнего заключается в сопоставлении геологических разрезов, контуров промышленной минерализации, средних значений подсчетных параметров, запасов полезного ископаемого и других характеристик, полученных по многочисленным

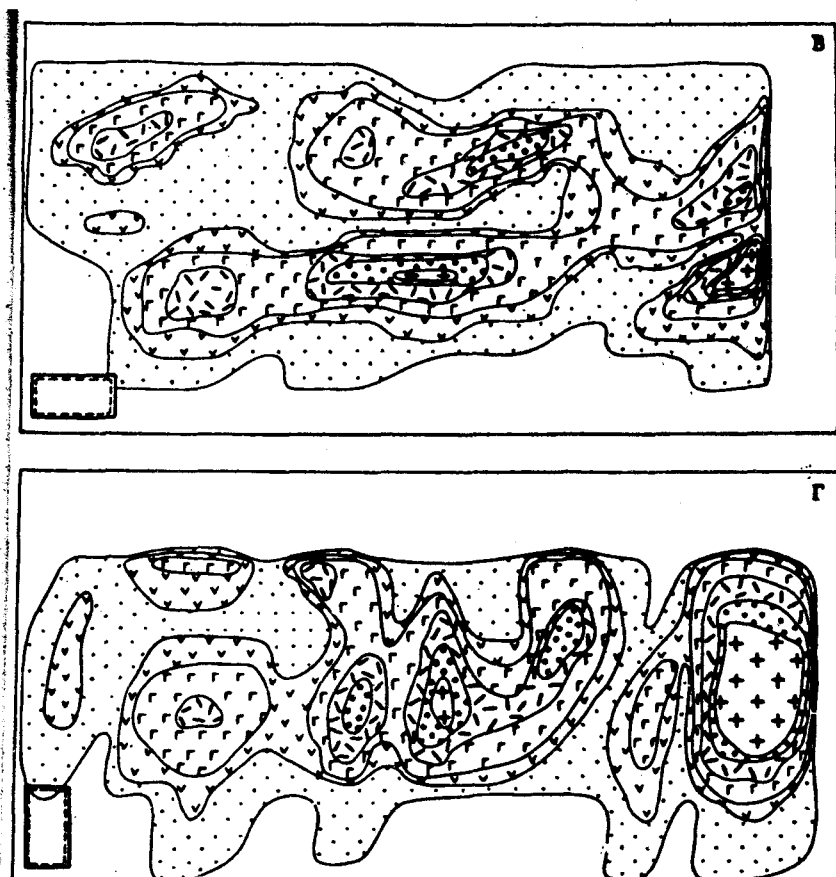


Рис. 34. Влияние анизотропии разведочной сети на наблюдаемую изменчивость содержаний меди в модели рудного тела. А, Б, В, Г — компьютерные модели, построенные по результатам опробования; сеть 50 x 100 м различной ориентировки. Содержания меди (%): 1 — 0,1–0,5; 2 — 0,5–1,0; 3 — 1,0–1,5; 4 — 1,5–2,0; 5 — 2,0–2,5; 6 — 2,5–3,0; 7 — ячейка сети и ее ориентировка

вариантам наложения разведочных сетей различной геометрии с эталонными значениями тех же характеристик, за которые принимаются данные, полученные по исходной, предельно густой разведочной сети.

По вариантам разрежения сети вычисляются фактические погрешности определения средней мощности, среднего содержания полезного компонента, рудной площади и запасов.

Анализ изменения погрешностей определения величины запасов полезного ископаемого в зависимости от плотности сети при различных вероятностях, значений показателей изменчивос-

ти (коэффициентов вариации) позволяет определить оптимальную плотность сети для данного месторождения или участка.

Поскольку принципиально эти задачи имеют аналогичные решения как на природных объектах при реальной разведке, так и на моделях месторождений с помощью ЭВМ, в качестве примера можно привести варианты разрежения сети на одной из моделей (рис. 35).

Основы классификации запасов. По результатам разведочных работ подсчитывается количество руды и металла, находящееся в недрах разведанного месторождения и называемое запасами. Подсчет запасов производится на основе измерения размеров рудных тел и определения содержания металлов по отдельным пересечениям в горных выработках или буровых скважинах и интерполяцией этих данных на пространство между пересечениями, а также экстраполяцией их за пределы пересечений. Подсчитанные запасы минерального сырья всегда отличаются от действительных. Величина отклонения подсчитанных запасов от реально находящихся в недрах зависит от двух обстоятельств. Во-первых, от сложности строения рудных тел и распределения в них металла, во-вторых, от детальности разведки. Очевидно, чем сложнее строение месторождения, чем резче колебания мощности рудных тел и содержания в них металла, тем выше может быть отклонение этих величин от средних данных, полученных в соседних пересечениях и тем менее может быть достоверность подсчитанных запасов. Также очевидно, что чем больше расстояние между пересечениями, чем меньше их число, тем большая погрешность может быть допущена в определении средних величин между ними и тем меньше будет достоверность подсчитанных запасов. Исходя из этого В.И. Смирнов сформулировал такое правило: чем неравномернее рудные тела по морфологии и распределению металлов и чем меньше детальность разведки, тем ниже достоверность цифр подсчитанных запасов.

По степени достоверности величин подсчитанных запасов, разведанности и изученности их они разделяются на ряд категорий запасов. Такое разделение по степени их достоверности, разведанности и изученности называется классификацией запасов.

В настоящее время в связи с исключительно важным значением, которое придается достоверности подсчитанных запасов, классификация запасов утверждается правительством и является документом, имеющим силу государственного закона.

Классификация запасов устанавливает единые для страны принципы подсчета и государственного учета запасов твердых полезных ископаемых в недрах по степени их изученности и народнохозяйственному значению, условия, определяющие подготовлен-

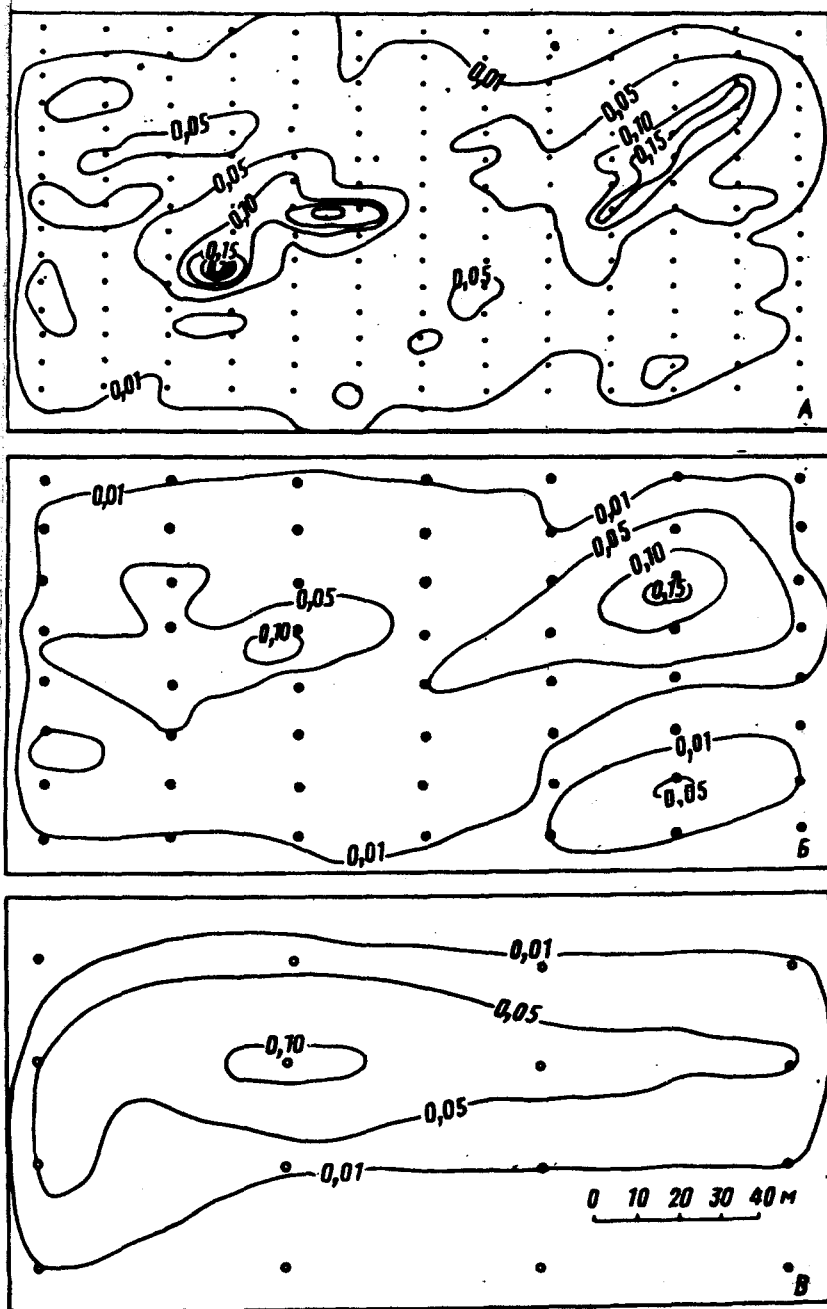


Рис. 35. Пример разрежения разведочной сети. Изоконцентрации серебра в плоскости рудного тела

ность разведанных месторождений для промышленного освоения, а также основные принципы оценки прогнозных ресурсов.

Запасы подсчитываются и учитываются по результатам геологоразведочных работ и всех видов горных и буровых работ, выполняемых в процессе промышленного освоения месторождений. Данные о запасах используются при разработке схем развития отраслей народного хозяйства, добывающих и потребляющих минеральное сырье, планировании геологоразведочных работ, а по месторождениям, подготовленным к промышленному освоению, — для проектирования предприятий по добыче полезных ископаемых и переработке минерального сырья, планирования развития горных работ и эксплуатационной разведки.

Прогнозные ресурсы, наличие которых предполагается на основе общих геологических представлений, научно-теоретических предпосылок, результатов геологического картирования, геофизических и геохимических исследований, оцениваются в границах бассейнов, крупных районов, рудных узлов, рудных полей и отдельных месторождений. Данные о прогнозных ресурсах используются для планирования поисково-оценочных и геологоразведочных работ. Подсчет и учет запасов и оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых производятся в единицах массы или объема.

Запасы полезных ископаемых по степени их изученности подразделяются на разведанные — категории *A*, *B* и *C*₁; предварительно оцененные — категория *C*₂; прогнозные ресурсы по степени их обоснованности — на категории *P*₁, *P*₂ и *P*₃.

Отнесение запасов к той или иной категории производится по ряду признаков, среди которых решающими являются три: 1) достоверность количества подсчитанных запасов; 2) полнота изучения качества и технологии переработки полезного ископаемого и 3) степень исследования природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ, в первую очередь степень изученности гидрогеологии месторождения (рис. 36).

Запасы категории *A* должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма и условия залегания тел изучены и оконтурены горными выработками и скважинами с выделением и оконтуриванием безрудных и некондиционных участков; выделены и оконтурены промышленные типы и сорта, качество которых охарактеризовано по всем показателям кондиций. Изученность технологических свойств полезного ископаемого обеспечивает возможность проектирования технологической схемы его переработки; изученность гидрогеологических и других природных условий достаточна для составления проекта разработки месторождения.

К категории *B* могут быть отнесены запасы, для которых установлены размеры, выяснены основные особенности формы, внутреннего строения и условий залегания; выделены промышленные типы и сорта, особенности их размещения и количественное

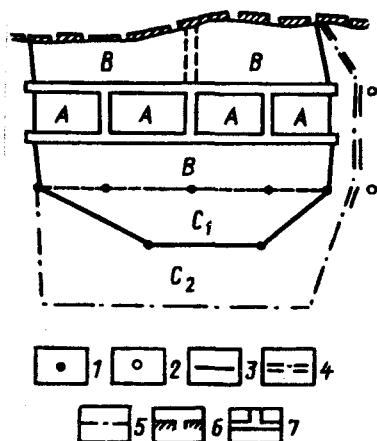


Рис. 36. Оконтуривание крутопадающего рудного тела для подсчета запасов (продольная вертикальная проекция).

1 — скважины, пересекающие рудное тело, 2 — скважины, показавшие отсутствие рудного тела, 3 — внутренний контур интерполяции, 4 — внешний контур ограниченной экстраполяции, 5 — внешний контур неограниченной экстраполяции, 6 — наносы, вскрытые канавами, 7 — подземные горные выработки

соотношение, качество их охарактеризовано по всем показателям кондиций; изученность технологических свойств позволяет выбрать принципиальную технологическую схему переработки; изученность гидрогеологических и других природных условий позволяет качественно и количественно охарактеризовать их влияние на разработку месторождения; контур запасов определяется по скважинам и горным выработкам с включением ограниченной зоны экстраполяции при соответствующем обосновании.

Для отнесения запасов к категории C_1 должны быть выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности их залегания и внутреннего строения; определены природные разновидности и промышленные типы, общие закономерности их пространственного и количественного соотношения, качество их охарактеризовано по всем показателям кондиций; изученность технологических свойств достаточна для обоснования промышленной ценности запасов; гидрогеологические и другие природные условия изучены предварительно; контур промышленных запасов определен по скважинам, горным выработкам с учетом геохимических, геофизических данных и геологической экстраполяции.

Запасы категорий C_2 должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены вскрытием единичными скважинами или горными выработками; качество и технологические свойства определены по единичным лабораторным пробам либо по аналогии с подобными месторождениями; гидрогеологические и другие природные условия оценены по единичным наблюдениям и их аналогии с другими месторождениями; контур запасов определяется по единичным скважинам, горным выработкам с учетом геологических, геофи-

зических, геохимических данных и экстраполяцией параметров, использованных при подсчете запасов более высоких категорий.

Прогнозные ресурсы категории P_1 учитывают возможность прироста запасов за счет расширения площадей распространения тел полезного ископаемого за контуры подсчета запасов по категории C_2 или дополнительного выявления новых тел на разведанных, разведуемых, а также выявленных при поисково-оценочных работах месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются представления о промышленном типе месторождения, а также экстраполяция данных по более изученной части месторождения.

Прогнозные ресурсы категории P_2 учитывают возможность обнаружения в бассейне, районе, рудном узле, рудном поле новых месторождений полезных ископаемых; количественная оценка ресурсов и других показателей предполагаемых месторождений основывается на аналогиях с известными месторождениями того же генетического типа.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитываются лишь потенциальными возможностями формирования и промышленной локализации месторождений того или иного вида полезных ископаемых на основании комплекса выявленных благоприятных геологических предпосылок; количественная оценка ресурсов производится по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными районами, площадями, бассейнами, где имеются месторождения того же генетического типа.

Запасы твердых полезных ископаемых подразделяются на две группы, подлежащие разделному подсчету и учету: балансовые, использование которых экономически целесообразно при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды; забалансовые, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые.

Группировка коренных месторождений для единых методов разведки. Месторождения полезных ископаемых характеризуются большим разнообразием; каждое месторождение обладает индивидуальными особенностями, и разведка его должна строиться с учетом этих особенностей. Вместе с тем имеется возможность выделить такие группы месторождений, к которым можно применять принципиально близкие приемы разведки. Одна из наиболее обоснованных схем такой группировки была предложена В.И. Смирновым и может быть представлена в следующем виде.

В основу группировки положены размеры рудных тел, устойчивость их морфологии, непрерывность оруденения, равномерность распределения металла в рудах.

3, По размерам рудные тела разделяются на крупные, средние и малые. Крупными являются пласты, штоки и другой формы залежи, вытянутые на многие сотни метров и на километры. К средним относятся штоки, линзы, жилы и другие залежи, прослеживающиеся на сотни метров. Малые тела представлены шпильками, гнездами, трубками и мелкими жилами, имеющими размер по направлению наибольшей вытянутости в единицы-десятки метров.

По степени устойчивости морфологии рудные тела подразделяются на устойчивые, изменчивые и крайне изменчивые. Устойчивые — это пласты и пластообразные залежи с плавным и небольшим изменением мощности на большом расстоянии. Изменчивые — жилы, линзы, иногда пласты и другие залежи, характеризующиеся нечастым чередованием раздувов и пережилов. Крайне изменчивым залежам свойственны спорадические резкие мощные раздувы, разделенные маломощными участками; к этой группе относятся также маломощные тела, разбитые частыми сбросами со значительной амплитудой смещения (более 3–5 м).

По степени непрерывности выделяется четыре группы залежей: 1) непрерывные; 2) слабо прерывистые; 3) прерывистые; 4) крайне прерывистые.

Непрерывные тела на всем их протяжении содержат промышленное оруденение с коэффициентом рудоносности равным единице. Тела со слабо прерывистым оруденением обладают незначительными перерывами, имеющими форму “окоп” в общем контуре промышленных руд; коэффициент рудоносности колеблется от 0,7 до 1. В прерывистых телах соотношение объемов, занятых промышленной рудой и непромышленными участками, примерно одинаково; коэффициент рудоносности изменяется от 0,4 до 0,7. Крайне прерывистые тела характеризуются спорадическими участками промышленных руд, разобленных крупными безрудными площадями; коэффициент рудоносности менее 0,4.

По степени равномерности распределения металла в рудных телах выделяются четыре группы: 1) весьма равномерные и равномерные, 2) неравномерные, 3) весьма неравномерные, 4) крайне неравномерные.

В рудных телах первой группы содержание металла слабо и плавно изменяется на больших площадях; коэффициент вариации редко достигает 40%. Типичными представителями являются осадочные морские, озерно-болотные и древнеречные месторождения черных металлов и бокситов. Телам с неравномерным распределением металла характерны существенные колебания в его содержании на значительных интервалах; коэффициент вариации колеблется в пределах от 40 до 100%. К этой группе относится широкий ряд эндогенных месторождений цветных металлов.

Рудные залежи с весьма неравномерным распределением металла характеризуются резкими, локальными отклонениями в со-

держании его от среднего уровня; коэффициент вариации изменяется от 100 до 150%. К данному типу относятся преимущественно месторождения редких металлов и золота.

Месторождениям с крайне неравномерным распределением металла характерны коэффициенты вариации, превышающие 150%. К ним относятся некоторые месторождения редких металлов и главным образом золота с исключительно неравномерным распределением гнезд сверхбогатой руды в рудных телах.

Исходя из перечисленных признаков выделено четыре группы рудных месторождений, в пределах которых для разведки запасов одной и той же категории необходимо применение горных выработок или буровых скважин, распределяемых на определенных, целесообразных для данной группы расстояниях. Эти приемы разведки, а также расстояния между выработками и скважинами для отдельных групп рудных месторождений в целом и конкретных их представителей, в частности рассматриваются не как твердо установленные, а как среднеопытные данные (табл. 5).

Первая группа — протяженные пластовые залежи, наиболее типичными представителями которых являются осадочные морские месторождения. Они обладают крупными размерами, непрерывным оруденением, выдержанной формой и равномерным распределением металла. К ним относятся осадочные месторождения железа типа Керченского бассейна, марганца типа Чиатур и Никополя и др.

Эта группа наиболее проста по условиям разведки. Запасы категории А могут быть определены бурением при расстояниях между скважинами 100–150 м (с частичным контролем неглубокими горными выработками). Запасы категории В тем более могут быть выявлены бурением при расстояниях между скважинами в 200–300 м. Запасы категорий C_1 и C_2 определяются экстраполяцией за пределами площади запасов более высоких категорий. Таким образом, при разведке месторождений первой группы распространены буровые системы разведок; для передачи их в промышленное освоение необходимо разведать 10% запасов категории А и 20% запасов категории В.

Вторая группа охватывает значительно более разнообразный круг месторождений различного генезиса, обладающих крупными размерами, непрерывным или слабо прерывистым оруденением и обычно относительно неравномерным распределением металла в рудных телах. К ней, в частности, относятся: 1) линзообразные залежи платформенных осадочных месторождений железа, марганца, бокситов; 2) плащеобразные залежи железных и марганцевых руд, крупные залежи силикатных никелевых руд, а также бокситы коры выветривания; 3) донные залежи, крупные штоки и поля вкрапленных руд хромитовых, ильменито-магнетитовых и медно-никелевых магматических месторождений;

Системы разведки и примерные расстояния между разведочными пересечениями для различных групп коренных рудных месторождений (по В.И. Смирнову)

Группа	Краткая характеристика	Система разведки	Среднее расстояние между пересечениями				Преобладающая система разведки	Преобладающие категории запасов
			A	B	C ₁	C ₂		
1	Крупные залежи непрерывного оруденения с выдержанной формой и равномерным распределением металла	Бурение Горные выработки	100-150 м Два-три блока	200-300 м Экстраполяция	Экстраполяция		Буровая	A + B
2	Крупные залежи непрерывного или слабо прерывистого оруденения, обычно с относительно неравномерным распределением металла	Бурение	25-50 м	50-100 м	Единичные скважины и экстраполяция	Экстраполяция	Буровая и горно-буровая	B
3	Средние по размерам залежи различной формы слабо прерывистого или прерывистого оруденения, с неравномерным, а также весьма неравномерным распределением металла	Бурение Горные выработки	-- Один блок	40-60 м Два блока	80-150 м Одиночные выработки и экстраполяция	Экстраполяция	Горная и горно-буровая	B + C ₁
4	Малые или протяженные, но по крайне прерывистые тела с неравномерным, весьма и крайне неравномерным распределением металла	Бурение Горные выработки	-- --	-- Один блок	40-60 м Более одного блока	Экстраполяция в пределах рудонесной по коэфф. рудности	Горная	C ₁ + C ₂

Примечания. 1. Указанные расстояния являются ориентировочными. Обоснованное отклонение от них, учитывающее конкретную геологическую обстановку, возможно.
2. Под блоком подразумевается нормальный эксплуатационный блок высотой 30-50 м и длиной 40-60 м.

4) крупные залежи железных руд в скарнах; 5) крупные линзообразные, жильобразные и штоковидные залежи сплошных колчеданных и вкрапленных полиметаллических и медных руд гидротермальных месторождений; 6) тонкоштокверковые гидротермальные месторождения прожилково-вкрапленных медных руд во вторичных кварцитах; 7) пластообразные залежи вкрапленных медных и полиметаллических стратиформных месторождений; 8) жильобразные и трубообразные тела концентрированных железных руд, залегающие среди железистых кварцитов.

Месторождения этой группы являются уже более сложными объектами разведки. Запасы категории *A* на них могут быть выявлены буровыми скважинами только при сближенном расстоянии между ними (до 25–50 м), при значительном общем их количестве (в общем случае не менее 20) и при обязательном контроле результатов бурения горными выработками. Часто запасы категории *A* выявляются только горными выработками или комбинацией горных выработок с буровыми скважинами. Запасы категории *B* на этих месторождениях легко выявляются бурением при расстояниях между скважинами 50–100 м. Запасы категории *C*₁ могут опираться на одиночные скважины, вынесенные за контур площадей с запасами высоких категорий, а также по способу экстраполяции. Запасы категории *C*₂ определяются экстраполяцией.

Передача месторождений этой группы для промышленного освоения требует разведки 20% запасов до категории *B*. В третью группу входят средние по размерам, преимущественно эндогенные месторождения главным образом цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов различной формы, слабо прерывистого или прерывистого оруденения, с неравномерным и весьма неравномерным распределением металла в рудных телах. В нее, в частности, включаются жилы медных, полиметаллических, некоторых золотых, кобальто-никелевых, оловянных, сурьмяных и других гидротермальных месторождений, большинство залежей цветных и редких металлов в скарнах; залежи силикатных никелевых руд коры выветривания трещинного типа и др.

Разведка месторождений третьей группы еще более сложная, запасы категории *A* могут быть получены в большинстве случаев только при помощи горных выработок путем нарезки нормальных эксплуатационных блоков при общем их количестве не менее 5–7. К запасам категории *B* относятся те части тел полезных ископаемых, которые разведаны горными выработками с расстоянием между ними, превышающим размеры нормальных эксплуатационных блоков как по падению, так и по простиранию, но не более чем в два раза. К запасам категории *B* относятся также те части тел полезных ископаемых, которые прилегают к площадям с запасами категории *A*, отстоят от нее не более чем на 100–150 м и разведаны буровыми скважинами с расстоянием между ними не более 40–70 м. Запасы категории *C*₁ могут определяться по данным

буровой разведки при расстоянии между скважинами до 80–150 м, а также экстраполяцией от контуров площади с запасами высших категорий на 1–2 этажа. Запасы категории C_2 определяются по единичным скважинам и экстраполяцией.

В месторождениях третьей группы наиболее распространены горные, а также горно-буровые системы разведки.

К четвертой группе принадлежат малые по размерам или протяженные, но крайне прерывистые по оруденению эндогенные месторождения ценных руд с неравномерным, весьма и крайне неравномерным распределением металла. К ним, в частности, относятся: шлиры магматических месторождений платины и алмазов; гнезда редкометалльных минералов в пегматитах; мелкие штоки богатых шеелитовых руд в скарнах; мелкие гидротермальные жилы, трубки, гнезда редких, радиоактивных и благородных металлов.

Месторождения четвертой группы разведывать наиболее трудно. Запасы категории A выявить даже горными выработками при нормальном расстоянии между ними, не превышающем размеры эксплуатационных блоков, невозможно. Запасы категории B устанавливаются только горными выработками в пределах участков, оконтуренных полностью эксплуатационными блоками. К запасам категории C_1 по отдельным рудным телам относятся участки, оконтуренные горными выработками, расположенными на расстоянии, превышающем размеры эксплуатационных блоков. К запасам категории C_1 относятся также запасы на участках, разведанных сближенными буровыми скважинами, прилегающими к горным выработкам и отстоящими от них не более чем на 50 м. Эти запасы могут определяться для части рудоносной структуры, прилегающей к разведанным участкам, по способу экстраполяции с учетом низкого коэффициента рудоносности. Запасы категории C_2 определяются для всей рудоносной структуры по коэффициенту рудоносности, имеющему в данном случае очень малую величину.

При разведке месторождений четвертой группы решающее значение имеют горные системы. Бурение применяется под землей в качестве вспомогательного приема для обнаружения и оконтуривания гнезд и поисков новых, а также с поверхности и из подземных горных выработок для выявления общих контуров рудоносной структуры. Для передачи промышленности запасы в этих месторождениях не разведуются выше категории C_1 .

Все описанные подходы к разведке месторождений различных групп сведены в табл. 5.

Глава 7. ОПРОБОВАНИЕ

Опробование является одним из важнейших способов получения информации в геологии. Пробы отбираются при поисках и разведке месторождений, при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, при геологическом картировании, при изучении осадочных, магматических, метаморфических пород, практически во всех видах геохимических, минералогических исследований и др. Опробование является по существу единственным, не имеющим альтернативы способом выявления достоверных, научно обоснованных сведений о качестве минерального сырья, его технологических свойствах, составе и строении тел полезных ископаемых, свойствах вмещающих пород и т.д.

Опробование осуществляется путем отбора проб, их обработки, выполнения соответствующих испытаний и оценки полученных результатов. Принято называть пробой порцию материала, отобранную от изучаемого объекта для проведения тех или иных испытаний. Такие пробы называют материальными; этот вид опробования наиболее распространен. Материал пробы может быть получен двумя способами: путем сплошного отбора в одном месте (сплошные пробы) или путем составления пробы из отдельных порций, взятых по определенной системе.

В настоящее время широко используются разнообразные методы (иногда их называют геофизическими) определения свойств пород (в том числе полезных ископаемых) непосредственно в естественном обнажении путем выполнения тех или иных замеров с помощью специальной аппаратуры или визуально. Каждый такой замер тоже следует рассматривать как пробу. Такие пробы называются нематериальными и подразделяются на приборные и визуальные.

Таким образом, по определению Л.И. Четверикова, проба рассматривается как локальный, специфический единичный замер (точнее, одиночное измерение), предназначенный для определения содержания какого-либо признака в объеме руды или породы.

Сплошные материальные пробы обладают свойством неповторимости. Каждая повторно отобранная проба, как бы близко она ни находилась к предыдущей, представляет собой самостоятельный и тоже неповторимый замер, относящийся к другому объему исследуемого материала. Это свойство заметно осложняет эмпирическую оценку их достоверности.

В отличие от материальных проб нематериальные могут быть повторены многократно в адекватных условиях. Это существенное преимущество их над материальными пробами.

Важнейшие методические вопросы, связанные как с отбором проб, так и с оценкой полученных результатов, наиболее детально

и всесторонне разработаны для опробования рудных месторождений. В этой области накоплен обширный эмпирический материал, разработаны теоретические основы, которые пока еще не в полной мере используются при опробовании в других видах геологических исследований. Поэтому целесообразно основные особенности опробования рассмотреть на примерах опробования рудных месторождений.

ОПРОВОВАНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В процессе разведки месторождений важную роль играет опробование. К числу его главнейших задач относятся: выявление качества минерального сырья, химического и минерального составов руд, технических и технологических свойств, а также закономерностей пространственного размещения руд, основных особенностей внутреннего строения рудных тел, их зональности и др. В.И. Смирнов отмечает: "Опробование является очень важной операцией геологоразведочных работ, так как оно дает возможность оценить качество руды по ее сортам и отдельным участкам месторождения, а также выяснить закономерности распределения оруденения в пространстве, в частности, определить особенности размещения обогащенных и разубоженных участков".

Как указывает Л.И. Четвериков, какие бы конкретные цели не ставились перед опробованием, осуществление их обычно связано с решением одной из двух основных задач. Первая заключается в определении среднего содержания, характерного или в целом для опробованного объекта, или для отдельной его части; вторая — в оценке наблюдаемой изменчивости и в определении закономерностей этой изменчивости.

В процессе разведки и эксплуатации месторождений опробование позволяет получить данные, необходимые для решения важнейших вопросов: 1) для определения запасов руды и металла; 2) для оконтуривания рудных тел, а также в их пределах участков, различных по качеству минерального сырья; 3) для направления геологоразведочных и подготовительно-эксплуатационных работ, что в первую очередь относится к месторождениям, на которых тела полезных ископаемых не имеют четких геологических границ и постепенно переходят во вмещающие породы; границы промышленно ценного минерального сырья устанавливаются только по результатам опробования; 4) для выбора способа переработки руд при их обогащении и металлургическом переделе; 5) для составления планов и программ добычи руды и металла; 6) для контроля за полнотой отработки рудных тел при эксплуатации; 7) для получения исходных данных для определения потерь, разубоживания и разработки мер борьбы с ними.

Выделяются четыре главных вида опробования: химическое, минералого-петрографическое, техническое и технологическое.

Химическое опробование производится для определения содержания полезных и вредных компонентов, выявляющего промышленную ценность отдельных участков и всего месторождения в целом. Надо заметить, что на самом деле определение содержаний различных компонентов проводится не только химическими анализами, но и разнообразными другими способами (спектральным, полярографическим, нейтронно-активационным и др.).

Минералого-петрографическое опробование применяется для изучения минерального состава пород и руд, их текстурно-структурных особенностей, которые, в частности, оказывают влияние на выбор способа переработки руд.

Техническое опробование проводится для определения физико-механических свойств минерального сырья, которое обычно применяется в народном хозяйстве без переработки и ценится именно этими свойствами. Например, строительные материалы исследуются на сопротивление сжатию, изгибу, на морозостойкость; в глинах определяются их керамические свойства (огнеупорность, пластичность, спекаемость, огневая усадка); листовая слюда подвергается испытаниям для определения электротехнических свойств и т.д. К техническому опробованию относятся определения объемной массы руды и ее влажности, что необходимо для подсчета запасов большинства месторождений полезных ископаемых.

Технологическое опробование проводится для изучения технологических свойств минерального сырья и выбора схемы его переработки. Испытания таких проб проводятся в лабораторных, полужаводских и заводских условиях.

В зависимости от характера предполагаемых испытаний размер, масса проб и характер материала бывают различны. Пробы для химических анализов могут быть представлены тонкораздробленным материалом, масса их составляет около 100–200 г (материал, отправляемый в лабораторию), хотя при отборе проб обычно получают значительно большее количество материала. Для минералого-петрографических определений отбирают сравнительно небольшие штуфы, а также мелкие сколки для изготовления шлифов и аншлифов.

При техническом опробовании отбирают штуфы или монолиты, размер которых зависит от характера испытаний: объемная масса и пористость определяются на небольших штуфах, для определения сопротивления сжатию или морозостойкости отбирают монолиты размером 20 × 20 × 20 см; оценка декоративных свойств камня проводится с отбором крупных блоков (0,05–0,1 м³ и более).

Для изучения технологических свойств минерального сырья в полужаводских и заводских условиях размеры проб обычно согласовываются с организацией, проводящей испытания. Масса таких

проб может колебаться в широких пределах — от нескольких сотен килограммов до сотен и первых тысяч тонн.

Способы отбора проб в горных выработках

Для отбора проб различного назначения главным образом для химических анализов используется несколько способов: штуфной, бороздовый, задиrkовый, валовый, шпуровой, точечный и вычерпывания.

Штуфной способ заключается в том, что в забое, стенке выработки или от уже отбитой массы отбирается 1–3 образца (штуфа) рудного тела или породы. Масса каждого образца 0,2–0,5 кг. Штуфное опробование производится быстро, просто и дешево, однако характеризуется низкой точностью и представительностью. По этой причине штуфные пробы отбирают в основном для минералого-петрографических исследований, определения физико-механических свойств, для технических испытаний (в этом случае отбирают монолиты соответствующей формы и размера) и почти никогда для химического анализа за исключением тех случаев, когда необходима предварительная, ориентировочная оценка качества минерального сырья.

Бороздовый способ пользуется наиболее широким распространением при опробовании рудных месторождений. Каждая индивидуальная проба отбирается выкалыванием или вырезанием из вскрытого в горных выработках или естественных обнажениях рудного тела узкой ленты — борозды, ориентированной по линии наибольшей изменчивости. Как было показано выше, наиболее изменчивым является направление по мощности рудного тела. Расположение бороздовых проб в горных выработках зависит от условий залегания тел полезных ископаемых и от ориентировки выработок (рис. 37). Бороздовые пробы отбираются в забоях, по стенкам горных выработок и в их кровле. Принцип ориентировки борозд по линии наибольшей изменчивости соблюдается и при опробовании изометричных и трубообразных тел: бороздовые пробы располагаются в плоскости поперечного сечения обычно по радиальным направлениям. В изометричных рудных телах, представленных штоками, штокверками, гнездами, борозды располагают по преобладающим направлениям чередования рудных прожилков или зон.

Иногда при опробовании маломощных рудных тел с крайне неравномерным распределением полезного компонента отбирают две или три параллельные борозды, объединяя материал в одну пробу; этим повышается представительность и надежность опробования.

В случае опробования зональных рудных тел, слоистых или полосчатых залежей, когда каждая зона или полоса характери-

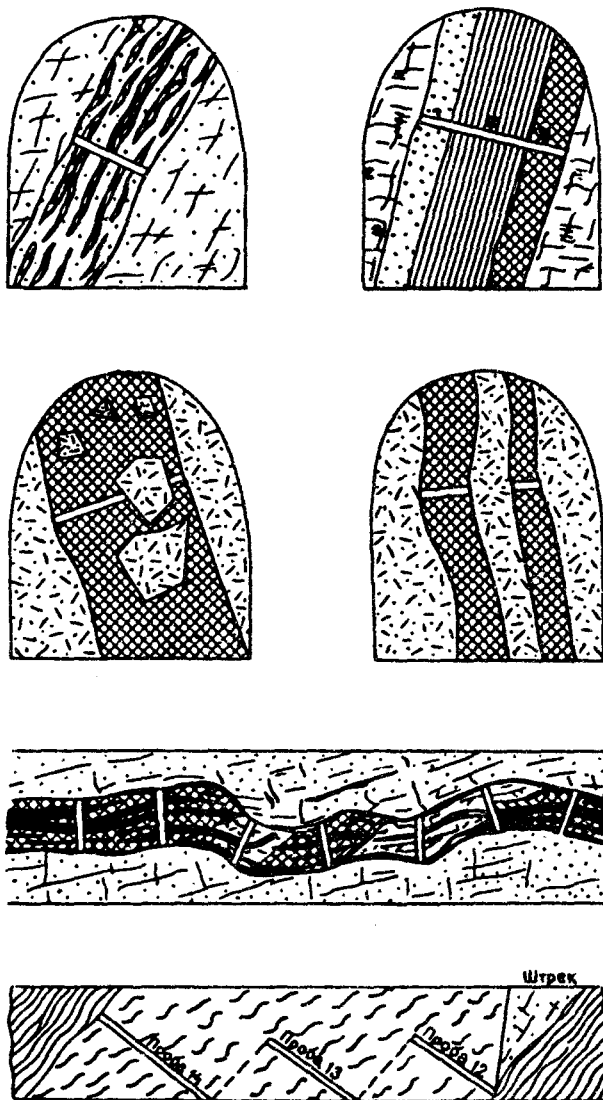


Рис. 37. Схемы расположения бороздовых проб в забоях и на стенках горных выработок

зуются различным строением, минеральным составом и концентрациями металлов, борозды разделяют на секции, соответствующие отдельным зонам. Каждая секция при этом представляет собой самостоятельную пробу. Например, при опробовании сульфидных тел самостоятельными секциями опробуются сплошные

сульфидные руды, прилегающие к ним, вкрапленные руды и минерализованные призальбандовые зоны (см. рис. 37). Секционное опробование позволяет более детально изучить распределение полезных компонентов в разных частях рудного тела, выделить сорта и типы руды, подлежащие селективной отработке. Секционное опробование используется и для определения границ рудных тел, которым свойственны постепенные переходы в безрудные боковые породы.

Длина бороздовых проб, отбираемых в рудных телах малой и средней мощности, определяется размером последней и может составлять 2–3 м. Если руды характеризуются крайне неравномерным распределением полезного компонента, они опробуются секционной бороздой с длиной секций до 1 м. При опробовании более мощных рудных тел (например, в кварцитах) борозда делится на секции в 1, 2 или 3 м в зависимости от характера распределения полезного компонента.

Форма сечения борозды может быть квадратной, прямоугольной и треугольной. Наиболее часто отбираются борозды прямоугольного сечения, при этом глубина борозды составляет 2–3 см, а ширина 5–15 см в зависимости от мощности тела и равномерности распределения полезного компонента: чем меньше мощность тела и неравномернее распределение металла, тем шире и глубже борозда. Принятое сечение должно сохраняться по всей длине борозды, чтобы количество материала, получаемого с единицы длины, было бы везде одинаковым. Нарушение этого правила снижает точность опробования и приводит к искажению результатов.

Главными достоинствами бороздового способа являются объективность и высокая точность, что делает его универсальным способом пробоотбора при разведке самых разнообразных месторождений полезных ископаемых. Он не может применяться лишь в очень редких случаях, к которым, по В.И. Смирнову, относятся: 1) опробование исключительно тонких одиночных рудных прожилок руд благородных и редких металлов, по которым поперечная борозда не обеспечивает надежной массы пробы; 2) опробование руд с очень редкими зернами ценных минералов (конгломераты с золотыми самородками, гнезда хромшпинелидов с крупными включениями платины и др.); 3) опробование руд с исключительно хрупкими вкрапленниками и скоплениями рудных минералов, интенсивно выкрашивающимися из трещиноватых пород при вырубании борозды.

Существенным недостатком бороздового опробования является его низкая производительность.

В ряде случаев используются разновидности бороздового способа: пунктирная борозда и пленочные пробы.

Отбор пунктирной борозды заключается в отбойке материала вдоль линии борозды в виде отдельных мелких кусочков диаметром 2–4 см. Расстояние между такими порциями 3–5 см. В данном случае отбирается не сплошная, а составная проба, так же как при точечном опробовании. Этот способ, позволяющий резко увеличить скорость отбора проб, применим при опробовании главным образом руд с равномерным и весьма равномерным распределением полезного компонента. Аналогичным образом рекомендуется отбирать пробы для петрохимических анализов из интрузивных пород в линейно вытянутых телах.

Пленочные пробы представляют собой модификацию бороздовых проб, глубина которых составляет 2–3 мм. Отбойка материала пробы в виде тонкой ленты дает хорошие результаты при опробовании однородных массивных руд.

Отбор бороздовых проб значительно упрощается при использовании пробоотборников режущего типа (конструкция которых основана на применении двух параллельных алмазных режущих дисков). В некоторых случаях пунктирная борозда может отбираться с помощью перфораторов.

Задирковый способ отбора проб осуществляется путем среза сплошного слоя руды со всей площади тела полезного ископаемого, вскрытого забоем горной выработки. Глубина среза составляет 3–5, реже 10 см. Объем задириковых проб зависит в основном от опробуемой площади рудного тела и изменяется в широких пределах от 0,05 до 1 м³ и более, а их масса колеблется от нескольких до сотен килограммов и даже тонн.

При отборе задириковых проб важно соблюдать постоянство глубины отбойки, чтобы обеспечить равномерное поступление материала с различных частей рудного тела.

Задирковое опробование трудоемкое и дорогое, поэтому его используют лишь в трех случаях: 1) при опробовании тонких рудных жил золотых и редкометальных месторождений, мощность которых не достигает 10 см в связи с нецелесообразностью опробования их поперечной бороздой, не обеспечивающей надежной массы пробы; 2) при контроле более простых способов пробоотбора, таких, как бороздовое, шпуровое, точечное; 3) иногда для отбора технологических проб вместо валовых; в этих случаях глубина задири увеличивается до 20 см и проба берется со всей площади забоя или стенки выработки.

Валовое опробование заключается в отборе всей рудной массы, получаемой в процессе проходки выработки, пересекающей рудное тело. В ряде случаев при пересечении крупных рудных тел количество полученного материала превышает разумные пределы и его сокращают. Такое сокращение осуществляется двумя способами: 1) в пробу отбирают материал по отдельным

интервалам выработки; 2) в пробу отбирают часть материала, сокращая его при погрузке или выгрузке отбитой рудной массы (например, в пробу направляют каждую вторую, третью или какую-то *n*-ю лопату, бадью, вагонетку). Второй способ дает более представительный материал. Во всех случаях сокращение валовых проб должно быть обосновано расчетами и соответствующим контролем.

Объем и масса валовых проб зависят от мощности рудного тела и сечения выработки и достигают в некоторых случаях десятков кубических метров и нескольких сотен тонн.

Положительной стороной валового опробования является его высокая точность, отрицательной — необходимость отбора, транспортировки и переработки большого количества материала, что усложняет и удорожает его. Поэтому валовое опробование применяется: 1) для контроля всех других способов отбора проб; 2) для опробования тел полезных ископаемых с крайне неравномерным распределением полезного компонента (золотоносные россыпи, коренные месторождения платины и др.); 3) для отбора проб на технологические и технические испытания, особенно нерудных полезных ископаемых (слюда, асбест и др.).

Шпуровой способ опробования осуществляется путем сбора материала, выбуриваемого в процессе проходки шпуров. Используются как специально задаваемые для отбора проб шпуры, так и шпуры, предназначенные для буро-взрывных работ. При этом опробовать следует шпуры, расположенные по линии мощности тел полезных ископаемых. Важной особенностью шпурового опробования является возможность отбора проб за пределами забоев и стен горных выработок. Это используется для опробования мощных рудных тел, не вскрываемых полностью горными выработками. Достоинствами шпурового опробования являются: 1) высокая представительность проб из шпуров, ориентированных вкрест простирания залежей; 2) механизация пробоотбора; 3) выдержанность сечения пробы; 4) тонкое измельчение материала; 5) возможность опробования за пределами выработок. Недостатки этого способа следующие: 1) практическая невозможность опробования (в связи с неудовлетворительной представительностью проб) выработок, идущих по простиранию рудного тела; 2) невозможность секционного отбора проб; 3) неточность геологической документации опробования; 4) большие потери выбуриваемого материала.

Тем не менее шпуровой способ широко используется при благоприятных условиях.

Точечный способ опробования заключается в отборе нескольких небольших порций материала, которые в совокупности составляют одну пробу, т.е. в этом случае берется не сплошная, а

составная проба. Порции, составляющие пробу, берутся по строго определенной системе, по сетке с размером ячеек 10 x 10, 20 x 20 см. Нередко используют ромбические или прямоугольные сети (10 x 10, 20 x 40 см и др.). Л.И. Четвериков считает, что составные пробы должны отбираться по сетке, анизотропия ячеек которой соответствует анизотропии опробуемого участка рудного тела. Только в этом случае проба может быть достоверной и представительной.

Число порций, составляющих одну пробу, колеблется от 10 до 20, масса одной порции от 50 до 100 г.

Точечный способ применяют также для опробования навалов отбитой руды в забоях выработок или погруженной в вагонетки, вагоны и т.д. Этот способ называют горстьевым. Его применение целесообразно в выработках, пройденных по сплошной руде.

Точечный способ отбора проб производительнее и дешевле бороздового опробования. Правильный выбор сети опробования и плотности отбора порций обеспечивает вполне удовлетворительную представительность и надежность проб даже для руд с весьма неравномерным распределением металла.

Одной из разновидностей точечного способа является способ *вычерпывания*, который применяется для опробования навалов отбитой руды. Так же как при точечном (горстьевом) способе, на навал, предварительно выровненный для уменьшения его высоты, набрасывают веревочную сеть и из центров или узлов ее отбирают порции, которые в отличие от горстьевого способа отбираются не по одному кусочку, а до дна навала. Такой прием обеспечивает равномерность опробования как легкой фракции, так и глыб, что повышает представительность проб. Обычно при равномерном распределении полезного компонента отбирают 12–16 порций по 50 г каждая; при неравномерном распределении — 20–25 порций по 100 г, а в случае весьма неравномерного распределения полезного компонента число порций увеличивается до 35–50, а их масса — до 200 г. Способ не очень удобен, отбор материала в виде лунок часто невозможен из-за наличия крупных глыб, поэтому он редко применяется.

Опробование по минеральному составу

Качество руды и приближенное количественное содержание полезных компонентов в ней можно определить по минеральному составу. Известно несколько приемов такого минералогического опробования: 1) по типам руд; 2) по шлиховым минералам; 3) люминесцентное и 4) по оценке площади рудных минералов.

Опробование *по типам руд* служит для ориентировочной оценки содержаний полезных компонентов. Оно заключается в том, что

по данным тщательной документации забоя или стенки выработки, вскрывающей рудное тело, с выделением типов руд и замерами площадей, сложенных каждым типом, подсчитывают содержания полезных компонентов, базируясь на эталонных коллекциях типов руд, для которых содержания установлены по данным химических анализов.

Опробование *по штиговым минералам* сводится к тому, что из материала пробы при его дроблении и промывке получают шлих, проводят количественный минералогический анализ его и пересчитывают содержания рудных минералов на содержания металлов. Этот способ применяется для быстрой оценки качества минерального сырья еще до выполнения химических анализов на некоторых типах месторождений преимущественно вкрапленных руд.

Люминесцентное опробование применяется для ориентировочной оценки качества руды, ценные минералы которой светятся в ультрафиолетовых, катодных или рентгеновских лучах, и осуществляется путем облучения руды (переносной лампой в забое выработки) и подсчета светящихся минералов.

Опробование *по оценке площади рудных минералов* основано на количественном минералогическом анализе руд в шлифах или аншлифах и пересчете количества рудных минералов на содержания металлов.

Все указанные способы опробования по минеральному составу позволяют получить лишь приблизительную оценку качества минерального сырья.

Выбор способа отбора проб имеет немаловажное значение в разведочном процессе. Как правило, выбранный в начале разведочных работ способ опробования сохраняется до их завершения, это необходимо для получения сопоставимых материалов по разным участкам рудного тела, сортам и типам руд, опробованным в разное время. Способ пробоотбора должен быть наиболее простым, удобным, дешевым и в то же время обеспечивать достоверность и надежность проб.

Ведущую роль в выборе способа отбора проб играют некоторые геологические особенности изучаемого месторождения и в первую очередь текстурные особенности руд, мощность рудных тел, характер распределения полезного компонента, крепость руд.

Определение расстояний между пробами

Тела полезных ископаемых по направлению мощности опробуются непрерывно. Например, при бороздовом опробовании даже очень мощных рудных тел проба берется в виде непрерывной борозды, которая может быть разделена на отдельные секции.

По направлениям простирания и падения тел пробы обычно располагаются на некотором расстоянии одна от другой. Выбор расстояний между пробами в первую очередь зависит от степени равномерности распределения полезного компонента. При этом на месторождениях с выдержанным оруденением и равномерным распределением металла пробы отбираются реже, расстояния между ними больше, а на месторождениях с неравномерным и весьма неравномерным распределением металла сеть опробования сгущается, расстояния между ними уменьшаются. При выборе расстояний между пробами можно ориентироваться на данные, приведенные в табл. 6, в основу которой положен большой фактический материал.

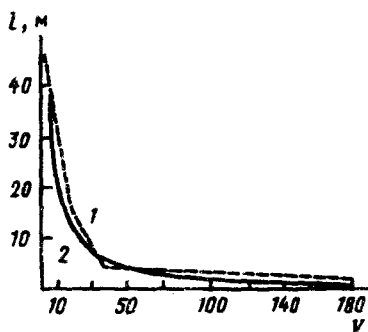


Рис. 38. Зависимость расстояний между пробами от коэффициента вариации содержаний полезного компонента (по А.П. Прокофьеву): 1 — по таблице; 2 — по формуле

Зависимость расстояний между пробами от величины основного показателя изменчивости — коэффициента вариации — можно представить в виде графика (рис. 38) и выразить в виде эмпирической формулы $l = 200/V$, где l — расстояние между пробами, а V — коэффициент вариации содержания полезного компонента.

Указанный способ оценки расстояний между пробами может дать лишь ориентировочные результаты, которые корректируются с учетом других данных.

В наиболее ответственных случаях рекомендуется определять расстояния между пробами экспериментально методом разрежений.

Для ориентировочной оценки расстояний между пробами иногда используют статистические характеристики. Известно, что относительная величина погрешности определения среднего содержания P определяется по формуле $P = Vt/\sqrt{n}$, где V — коэффициент вариации содержания полезного компонента, t — коэффициент вероятности, принимаемый часто за 1, что соответствует вероятности 0,68; n — число проб.

Задаваясь определенной допустимой величиной погрешности, можно рассчитать число проб, обеспечивающее вычисление среднего содержания с ошибкой, не превышающей заданную: $n = V^2 t^2 / P^2$.

Число проб помимо этого выражается как отношение длины опробуемого участка L к расстоянию между пробами l : $n = L/l$. Из этих двух выражений следует, что расстояние между пробами

Расстояния между пробами (по В.И. Смирнову)

Группа месторождений	Характер распределения металла, подлежащего определению	Коэффициент вариации содержания этого металла	Тип месторождения	Расстояние между пробами, м
I	Весьма равномерный	До 20	Морские осадочные месторождения железа и марганца	50-15
II	Равномерный	20-40	Осадочные месторождения железа, марганца, бокситов, некоторые метаморфические месторождения железа	15-4
III	Неравномерный	40-100	Большинство месторождений цветных металлов, некоторые месторождения редких металлов	4-2,5
IV	Весьма неравномерный	100-150	Преимущественно месторождения редких металлов, а также золота	2,5-1,5
V	Крайне неравномерный	Более 150	Некоторые месторождения золота и редких металлов	1,5-1

определяется как $l = P^2 L / V^2$. В этой формуле некоторой неопределенностью отличается величина L . При разведочных работах за L рекомендуется принимать суммарную длину горных выработок, в пределах которых по данным опробования должно быть установлено среднее содержание с допустимой погрешностью.

ОТБОР ПРОБ ПРИ БУРЕНИИ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

При бурении разведочных скважин отбор проб сопряжен с определенными особенностями и трудностями: 1) стенки скважин недоступны для осмотра; 2) повторный отбор проб затруднен, а в ряде случаев невозможен; 3) количество материала, поступающего в пробу, ограничено.

В зависимости от видов бурения (колонкового, ударно-канатного, роторного, бурения неглубоких скважин) различаются способы отбора проб.

При колонковом бурении могут применяться различные способы. В тех случаях когда получают kern хорошего качества при достаточно высоком выходе (удовлетворительным считается выход керна не ниже 70–75%), пробы отбирают из керна, представляющего собой в данном случае наиболее ценный для опробования материал. Эти пробы пригодны для химических, минералогическо-петрографических и технических испытаний, они в большинстве случаев весьма представительны для изучения структурных и текстурных особенностей руд.

Перед опробованием kern измеряют, взвешивают и тщательно документируют. В пробу идет часть керна: его разделяют на интервалы, отвечающие отдельным пробам. Интервалы выделяются в соответствии с изменчивостью тела полезного ископаемого и возможностью выделения зон, сложенных разными типами руд или минеральными, текстурно-структурными разновидностями и т.д. Поскольку разведочные скважины всегда ориентированы по направлению наибольшей изменчивости (или приближаются к этому направлению), схема опробования их по существу подобна секционному опробованию в выработках.

Отбор проб производят, раскалывая kern вручную или керноколом или распиливая его (что предпочтительнее) вдоль оси на две части. Половина идет в пробу, вторая распиливается в свою очередь на две части: одна из которой хранится в качестве дубликата, другая поступает в объединенную из нескольких скважин технологическую пробу или используется для изготовления шлифов, аншлифов, образцов и т.д. Иногда в пробу берут не половину, а несколько меньшую часть керна, в ряде случаев kern опробуют вырезая продольную узкую борозду.

В последние годы колонковые скважины все чаще используют для отбора технологических проб. В этом случае в пробу объединяется весь рудный керн из нескольких, специально пробуренных скважин.

Если при разбуривании тел полезных ископаемых не удается добиться удовлетворительного выхода керна, для получения надежных данных по содержанию полезных компонентов попутно с кернам опробуют и шлам. Шлам в обязательном порядке опробуют и в тех случаях, когда выход керна достаточно высок, но устанавливается избирательное его истирание. Проба шлама составляется из материала, осадившегося в течение данного рейса в шламовой трубе, и материала, собираемого из отстойников (в данном случае приходится применять специальные меры для улавливания, сохранения и опробования буровой мути с каждого интервала проходки скважины). Пробы шлама представляют собой менее ценный материал, чем керна, из-за их засорения примесями, неполного улавливания, а также практической невозможности разделения на секции, соответствующие секциям керна. Тем не менее, как указывал В.И. Смирнов, в случае избирательного истирания в кернах мягких или хрупких частей, сложенных богатыми или бедными рудными скоплениями, приводящему к заметному обогащению или обеднению проб керна, сбор шлама обязателен при любом выходе керна, не достигающем 100%.

При опробовании керна и шлама среднее содержание полезного компонента вычисляется по данным обеих проб пропорционально их объемам:

$$\bar{C} = C_k \frac{l_k d^2}{l_n D^2} + C_{ш} \left(1 - \frac{l_k d^2}{l_n D^2} \right),$$

где $\bar{C}$ — среднее содержание компонента в данном интервале; C_k — содержание компонента в кернах проб; $C_{ш}$ — содержание компонента в пробе шлама; D — диаметр скважины, мм; d — диаметр керна, мм; l_n — длина опробуемого интервала; l_k — длина керна.

Отбор проб при ударно-канатном бурении. Ударно-канатное бурение широко используется при разведке разнообразных месторождений, преимущественно крупных штокверковых залежей меди, молибдена, олова, вольфрама и др. Материалом опробования естественно служит шлам. Механическое ударно-канатное бурение характеризуется относительно высокой производительностью и обычно большими диаметрами, поэтому с каждого пробуренного метра получают от 45 до 222 кг и более довольно тонкого и хорошо смешанного материала, который идет в пробу полностью или может быть сокращен.

Шлам, отбираемый при канатном бурении, может загрязняться материалом из верхних частей скважины. Во избежание связанных с этим погрешностей опробования скважина изолируется обсадными трубами. Обязательна обсадка труб перед началом бурения по рудному телу, а также по отдельным мощным частям его, обладающим различной концентрацией металла. При опробовании скважины после каждого периода работы долота необходима тщательная очистка забоя, наиболее полное удаление шлама с забоя обеспечивается использованием поршневой желонки.

При механическом ударном бурении наиболее трудной задачей является отбор секционных проб, которые должны соответствовать разнородным зонам залежей. Для этих целей используют комплексный картаж скважин, а также косвенные признаки — изменение скорости бурения в зависимости от различной крепости пород и руд, окраску шлама или буровой мути.

При роторном бурении сплошным забоем шлам собирают в специальных отстойниках, где его по отдельным интервалам смешивают и сокращают. Отбор проб можно осуществлять различными пробоотборниками — грунтоносами.

Существенным недостатком такого опробования, особенно при бурении глубоких скважин, является отставание тяжелых частиц от легких при их выносе на поверхность, что искажает состав проб, создает большие трудности в привязке полученного шлама к тому или иному интервалу проходки. Это является одной из причин ограниченного применения роторного бурения сплошным забоем для разведочных целей.

Отбор проб при бурении неглубоких скважин. Бурение неглубоких скважин осуществляется разнообразными способами: колонковым, ударным, шнековым, вибрационным и др. (см. гл. 2). Технические средства отбора проб зависят от способа бурения и также весьма разнообразны. Однако определяющими факторами в отборе проб из неглубоких скважин являются геологические и горно-технические особенности опробуемого объекта. В основном неглубокими скважинами разведываются месторождения коры выветривания, россыпные, некоторые типы нерудных месторождений, в частности стройматериалов.

Буровая разведка и опробование сильно обводненных россыпных месторождений возможна только при опережающей обсадке скважин обсадными трубами. При опробовании россыпей отбирают секционные пробы, которые дают возможность установить мощность “пласта” и перекрывающих “торфов”, положение плотика, наличие ложных плотиков и т.д.

Опробование россыпей, разведываемых буровыми скважинами, обычно сопровождается заметными погрешностями — систематическим занижением содержания полезного компонента. Это

связано с тем, что обсадка скважин и долочение крупных валунов вызывает сотрясение рыхлого материала и перемещение вниз тяжелых частиц, вследствие чего определяемая по данным опробования мощность пласта уменьшается.

Кроме того, часть рыхлого материала при долочении может отжиматься в затрубное пространство, а в сильно обводненных отложениях, наоборот, поступать в скважину из затрубного пространства.

В связи с недостаточно надежными данными буровой разведки россыпей результаты опробования буровых скважин требуют систематического контроля путем проходки и опробования, сопряженных со скважинами шурфов, в результате устанавливается поправочный коэффициент, обычно превышающий единицу.

При бурении и опробовании кварцевых, стекольных, формовочных и строительных песков, суглинков, иногда диатомита, трепела и других сыпучих сухих и влажных, но не обводненных полезных ископаемых, в качестве рабочего наконечника применяют ложку. Достоверность опробования обеспечивается при условии, если обсадные трубы опережают забой скважины. Поднятый буровой ложкой материал высыпается на деревянный щит; после просмотра и документации в одну пробу объединяется материал с нескольких забурок. Длина пробы зависит от строения залежи и колеблется от 0,5 до 2,0 м. Иногда для опробования используются грунтоносы.

При бурении и опробовании каолинов, различных глин и глиноподобных материалов, некоторых адсорбентов, иногда силикатных никелевых руд в качестве рабочего наконечника применяют змеевики и шнеки. При подъеме материал загрязняется вышележащими породами и его необходимо по возможности очищать. После этого его просматривают и документируют.

В зависимости от мощности и строения залежи отбираются секционные пробы, длина секций колеблется от 0,5 до 2 м и более. Отбор проб может осуществляться и различными грунтоносами.

Обработка и сокращение химических проб

Начальная масса химических проб зависит от способа пробоотбора и колеблется в широких пределах от 0,5 до 50 кг и более. Для химического анализа с учетом дубликатов требуется от 50 до 200 г материала (для анализа на благородные металлы требуются пробы большей массы). В связи с этим пробы подлежат сокращению. При этом сокращение начальных масс проб до конечных, отправляемых в лабораторию, должно быть выполнено так, чтобы содержание металла (или минерала) в конечной пробе было равно содержанию его в начальной пробе. Это достигается повышением равномерности содержания металла в ней путем ее измельчения и тщательного перемешивания. Раздробленная и перемешанная проба может быть сокращена сразу или в несколько

приемов. В этом случае материал дробится до определенного размера кусков и сокращается, затем эта часть вновь дробится до меньших размеров кусков и вновь сокращается и так далее до конечной массы пробы. Размер кусков пробы, при котором возможно ее сокращение, контролируется просеиванием на ситах. Все операции по дроблению, просеиванию и сокращению материала проб производят в определенной последовательности по заранее составленной схеме. Для составления такой схемы используют зависимость между массой пробы (в кг) и диаметром наибольших ее частиц, при которой сохраняется представительность пробы; такая зависимость выражается формулой $Q = Kd^2$, где Q — масса пробы, кг; d — диаметр наибольших частиц, мм; K — коэффициент, характеризующий степень равномерности распределения полезного компонента в руде. Величина коэффициента колеблется от 0,25 до 1.

Дробление проб производится на специальных лабораторных дробилках различных конструкций, зависящих от крупности поступающего материала. Перемешивание осуществляется перелопачиванием, способом “кольца и конуса” в шаровых мельницах. Для деления — квартования проб — используют ящичные, конусные делители.

Таким образом, обработка и сокращение проб ведется в такой последовательности: 1) подбирается коэффициент K , обеспечивающий правильное сокращение начальных масс проб и представительность конечных масс, направляемых для лабораторных анализов; 2) составляется общая схема обработки и сокращения проб; 3) производится измельчение материала пробы (дробление) до размера, при котором осуществляется первый этап сокращения; 4) проверка полноты измельчения осуществляется грохочением (просеиванием); 5) перемешивается измельченный материал для сообщения ему равномерности; 6) производится сокращение пробы до предельной массы (промежуточной, иногда — конечной); 7) дробление, просеивание, перемешивание и квартование повторяются до получения конечной навески.

Достоверность и представительность проб. Два основных понятия используют для характеристики качества опробования, его точности и надежности: достоверность и представительность проб.

Под достоверностью понимается степень соответствия значения признака (в частности, содержания полезного компонента), показанного пробой, реальному значению этого признака в объеме пробы. Более строгое определение этому понятию дано Л.И. Четвериковым: под достоверностью понимается та точность, с которой данная проба фиксирует значение признака в области замера, т.е. в том объеме, который в идеальном случае

должна иметь сплошная проба или из которого отобрана составная проба. Достоверность проб должна обеспечивать получение несмещенной оценки среднего содержания с заданной точностью и вероятностью.

Количественным выражением достоверности пробы является ее техническая ошибка, которая складывается из погрешности отбора материала пробы, погрешности его обработки и погрешности анализа:

$$\alpha_g = \sqrt{\alpha_o^2 + \alpha_c^2 + \alpha_a^2},$$

где α_g — техническая ошибка пробы; α_o — погрешность отбора; α_c — погрешность обработки (сокращения); α_a — погрешность анализа.

Погрешности могут быть случайными и систематическими. Случайные погрешности характеризуются переменным знаком и при достаточно большом количестве проб взаимно компенсируются. Случайные погрешности снижают точность оценок средних содержаний в подсчетных блоках, однако с возрастанием числа наблюдений эти оценки приближаются к истинным. Отрицательное влияние случайных погрешностей тем сильнее, чем меньше число единичных наблюдений и выше уровень погрешностей. Поэтому величины случайных погрешностей не должны превышать установленных пределов.

Систематические погрешности опробования возникают в результате направленного однозначного действия каких-либо факторов в процессе отбора, обработки или анализов проб и характеризуются постоянным знаком. При наличии систематических погрешностей независимо от числа наблюдений средние результаты будут либо завышены, либо занижены по сравнению с истинными. Систематические погрешности являются наиболее опасными, каких-либо допустимых величин систематических ошибок нет и не может быть установлено. Систематическая ошибка в любую сторону (+ или -) недопустима. В каждом конкретном случае должны быть точно установлена величина систематической погрешности и устранены причины, вызывающие ее.

Представительностью пробы принято называть степень соответствия содержания компонентов в пробе содержанию их в том объеме тела полезного ископаемого, на который распространяются данные этой пробы. Поэтому одна и та же проба обладает разной представительностью в зависимости от того, на какой объем тела распространяются ее данные. В этом понимании для оценки представительности пробы необходимо знать истинное среднее содержание компонента в соответствующем объеме, что невозможно. Поэтому, по предложению Л.И. Четверикова,

следует оценивать вероятную представительность проб данного вида в пределах какого-либо геологически однородного блока. В этом случае термин "представительность пробы" можно определить как возможную точность в ее вероятностном выражении, с какой полностью достоверная проба представляет выделяемую часть объекта опробования (т.е. выделяемый блок рудного тела).

В качестве количественного показателя представительности пробы используется в общем виде погрешность аналогии пробы, т.е. вероятностная оценка коэффициента вариации случайной составляющей содержаний по пробам в пределах геологически однородного блока: $\alpha_n = tV_0$, где α_n — представительность пробы (погрешность аналогии); t — коэффициент вероятности (степень принимаемой вероятности оценки погрешности аналогии); V_0 — коэффициент вариации содержания в пробах данного вида в пределах конкретного блока.

Контроль опробования. Для выявления уровня случайных погрешностей и получения надежных данных, подтверждающих отсутствие систематических погрешностей, все основные операции по опробованию подвергаются обязательному контролю. По А.Б. Каждану, достоверность результатов опробования устанавливается по отсутствию систематических погрешностей, а их точность — по уровню средних случайных погрешностей.

Контроль пробоотбора. Погрешность пробоотбора может быть вызвана разными причинами: небрежностью отбора материала, использованием несовершенных инструментов и способов, свойствами объекта, например различной хрупкостью минералов, слагающих руду. Случайные погрешности пробоотбора возникают в связи с несовершенством способов отбора материала проб от монолитных пород, а систематические погрешности — в связи с резкими различиями физико-механических свойств полезных минералов, жильных минералов и вмещающих пород, что приводит к избирательным потерям хрупкого материала (или к обогащению им) в процессе пробоотбора. Оценка величины погрешности отбора проб осуществляется специальными мероприятиями по контролю пробоотбора, которые проводятся по трем направлениям. 1. Постоянно производится проверка фактической массы отобранных проб путем сопоставления ее с теоретической массой, рассчитанной для предусмотренного заданием объема проб. Допустимыми считаются отклонения, не превышающие $\pm 10-20\%$. 2. Независимо от степени совпадения теоретической и практической масс проб периодически (один раз в квартал или полугодие) проводится контрольный отбор проб под строгим геологическим надзором. Отбирается не менее 20–30 проб в тех же местах, где отбирались основные (рядовые) пробы. Результаты контрольного опробования сопоставляются с рядовым для определения случайных погрешностей. 3. Во всех ответственных случаях

для надежной оценки качества минерального сырья и выявления возможных систематических погрешностей пробоотбора производят контрольное опробование другим, более надежным способом по сравнению с принятым основным. Чаще всего используют валовый способ, реже задиrkовый, или бороздовый, с большим сечением борозды. Для контроля керновых проб используются скважины ударно-канатного бурения или отбор проб в специально пройденных горных выработках. Сопоставляя результаты основных и контрольных проб, вычисляют систематическую ошибку в абсолютном и относительном выражении для введения соответствующих поправок к результатам основного опробования.

Количество контрольных проб во всех случаях зависит от изменчивости содержания полезного компонента и определяется самостоятельно для каждой разновидности руды.

Контроль обработки проб сводится к выявлению погрешности обработки, которая представляет собой разницу между фактическим содержанием в исходном материале пробы и содержанием в анализируемой части этого материала после его сокращения. Ошибка обработки может быть случайной и закономерной, будучи обусловленной как факторами технического, так и методического порядка.

Существуют три возможных способа эмпирической оценки ошибки обработки. 1. Получив основную навеску, оставшийся после обработки материал собрать вместе и по той же схеме, но с максимальной тщательностью провести повторную операцию, в результате которой выделяется дополнительная контрольная навеска. Расхождения между содержаниями в основной и контрольной навесках принимаются за ошибку обработки. 2. Оставшийся после получения рядовой навески материал дробится до возможно полного его вскрытия и затем квартованием или делением на механическом сократителе выделяется контрольная навеска, которую можно рассматривать как практически лишенную ошибки обработки. 3. Методически наиболее правильным является третий способ. Принцип его заключается в получении контрольных навесок после каждого этапа сокращения материала пробы в процессе его обработки.

Контроль анализов. Достоверность химических анализов устанавливается при контрольных мероприятиях, направленных на выявление погрешностей.

Случайная погрешность — наиболее распространенная ошибка химического анализа. Она является результатом частных, непостоянно действующих факторов при анализе в каждом конкретном случае. Величина случайной погрешности — одна из характеристик качества работы лаборатории. Она может быть выявлена и оценена при внутреннем контроле, произведенном в

той же лаборатории, где выполняются основные анализы рядовых проб. Контроль состоит в том, что лаборатория выполняет анализы некоторого количества дубликатов проб. Величина средней случайной погрешности определяется как среднее арифметическое из отклонений содержаний полезного компонента в основных и контрольных пробах без учета знака отклонения $\bar{\Delta} = \frac{\sum \Delta_i}{n}$. Чаще в практике опробования используют относительную величину случайной погрешности $\bar{\Delta}_{отн} = \frac{\bar{\Delta}}{C_0} 100\%$. Таким образом, относительная случайная погрешность зависит от уровня содержания полезного компонента в пробах. Поэтому при организации внутреннего контроля необходимо группировать пробы по классам содержаний. Для каждого класса величина относительной случайной погрешности не должна выходить за допустимые пределы, установленные инструкциями ГКЗ.

Систематическая погрешность — результат постоянно действующего фактора, поэтому относится к ошибкам методического характера. Эти ошибки наиболее опасны, для них каких-либо допустимых пределов не существует.

Использование рядовых анализов, несущих в себе систематическую погрешность, для оконтуривания и подсчета запасов, всегда приводит к ошибкам и поэтому не допускается. Если выявляется наличие систематической ошибки, должна быть установлена и устранена вызывающая ее причина. Выявление систематической ошибки проводится внешним контролем. Отобранные для него пробы передаются в химическую лабораторию, зарекомендовавшую себя высоким уровнем работы. Отбор материала для этого производится из остатков проб, хранящихся в основной лаборатории. Набирать материал из дубликатов не рекомендуется, так как в этом случае на погрешности анализа накладываются погрешности обработки проб. Внешний контроль осуществляется систематически, не реже одного раза в квартал; пробы группируются по классам содержаний, типам руд, времени производства анализов и др.

Средняя абсолютная систематическая погрешность определяется по формуле

$$\bar{d} = \sum d_i / n.$$

Средняя относительная систематическая погрешность равна

$$\bar{d}_{отн} = (\bar{d} / C_0) \cdot 100\%.$$

Наличие систематической погрешности наиболее просто устанавливается в тех случаях, когда отчетливо наблюдается преобладание одних знаков расхождения. Значимость систематической

погрешности определяется по величине коэффициента однородности $K_0 = \bar{d}/\Delta$.

При отсутствии систематической погрешности должно соблюдаться неравенство $K_0 \leq \frac{2,45}{\sqrt{n}}$, где величина 2,45 отвечает значению точки стандартного нормального распределения для доверительной вероятности 99%, или, что то же самое, для 1%-го уровня значимости.

При обнаружении систематической погрешности, для того чтобы подтвердить результаты внешнего контроля, производятся арбитражные анализы. После подтверждения достоверности контрольных анализов решается вопрос о применении поправочного коэффициента $K_0 = \frac{\bar{C}_n}{C_0}$.

ОТБОР ПРОБ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Одним из наиболее широко распространенных методов изучения магматических пород при геологической съемке и специальных петрографических исследованиях является петрохимический метод. Он заключается в определении химического состава наиболее типичных разностей пород, выявлении закономерностей их изменчивости и т.д.

Универсальной системы отбора проб для петрохимических исследований не существует, поэтому в каждом конкретном случае при опробовании магматических пород следует исходить из поставленной задачи и руководствоваться некоторыми общими рекомендациями.

Пробы для определения первичного состава отбираются из наиболее свежих пород, без следов выветривания, не содержащих прожилков, ксенолитов боковых пород, не имеющих других признаков изменчивости, кроме тех случаев, когда именно эта изменчивость является целью исследования. При сильной фациальной изменчивости отбираются самостоятельные пробы из наиболее типичных фациальных разновидностей.

При работе с вулканогенными породами на химический анализ отбираются эффузивные разности. Однако при отсутствии эффузивных пород или малом их количестве для петрохимической характеристики вулканических толщ допускается использовать анализы туфов. В этом случае необходимо тщательное микроскопическое исследование образцов, чтобы на анализ не попадали разности пород, засоренные инородным материалом. Вообще химическому анализу должно предшествовать тщательное микроскопическое изучение пород. Это поможет выбрать для анализов наиболее представительный материал, избежать случайностей и существенно за счет этого сократить объемы аналитических работ.

В тех случаях, когда изучается химизм наложенных процессов, пробы берут из пород, измененных в разной степени. При этом, если есть возможность, отбирают бороздовые, а не штучные пробы. Бороздовые пробы следует отбирать также при изучении пегматитов и других жильных образований, которые характеризуются неравномерным распределением минералов и химических элементов и зональным строением.

В большинстве случаев для получения более представительного материала пробы отбирают точечным способом с площади определенного размера. Чем меньше число проб предполагается отобрать из изучаемого массива или чем выше требуемая точность, тем обширнее должна быть площадь опробования. Иногда для одной пробы на силикатный анализ из какой-либо интрузивной фазы в качестве площади опробования используют всю территорию развития данной фазы.

При точечном опробовании объектов, характеризующихся неоднородным строением (линейно-вытянутыми зонами, полосчатой текстурой и др.), необходимо выбирать ячейки опробования, геометрия которых обеспечит представительность пробы.

Наряду с точечным способом отбора проб нередко используют штучный способ, особенно в случае плохой обнаженности, когда невозможно выбрать необходимые для отбора представительных точечных проб площадки. Повышение точности опробования при штучном способе пробоотбора достигается за счет увеличения числа проб.

Оптимальная масса штучных проб 2 кг, геохимических 0,5 кг. Однако обычно отбирают каменного материала на 1-1,5 кг больше с тем, чтобы эту часть пробы использовать для очистки дробилки от материала предыдущей пробы. Кроме того, масса пробы зависит от степени текстурно-структурной однородности породы, размера зерен и минеральных агрегатов и др. Штучные пробы характеризуются невысокой представительностью, поэтому при использовании этого способа пробоотбора необходимо оптимизировать систему опробования: увеличить число проб, добиться равномерного расположения пунктов отбора, определить необходимую массу пробы. Опробование сопровождается взятием образцов, шлифов и аншлифов. Места отбора проб обязательно фиксируются на картах фактического материала и в журналах документации.

Некоторые виды анализов, в частности определения *абсолютного возраста*, выполняются на материале мономинеральных проб. Поэтому объем отбираемых проб пород зависит от необходимого количества анализируемого минерала, содержания его в породе, возможностей и способов извлечения. В ряде случаев поэтому отбираются пробы массой 20, 100 и даже 500 кг.

В связи с тем что методы аналитических исследований постоянно совершенствуются и видоизменяются, создается много новой аппаратуры и новых методов, изменяются и требования к материалу проб. Поэтому прежде чем отбирать те или иные пробы, следует согласовать все основные требования к ним с той лабораторией, где будут выполняться анализы, выяснить методику анализа и характер операций по подготовке проб к анализу.

Наряду с петрохимической характеристикой пород, их ассоциаций, комплексов важная роль принадлежит выяснению их геохимических особенностей, т.е. выявлению закономерностей распределения в них различных элементов. С этой целью производится отбор геохимических проб, которые анализируются затем спектральным или химическим методом.

В соответствующих руководствах рекомендуется, для того чтобы избежать разнобоя в методике, отбор геохимических проб производить только штучным способом, который применим в любых условиях. Оптимальная масса штучных проб, при которой достигается усреднение химического состава пород, составляет, как было указано, 0,5 кг.

К качеству геохимических проб, предназначенных для характеристики первичного состава пород, предъявляются те же требования, что и к пробам на силикатный анализ: материал должен быть отобран из свежих пород, без корок выветривания, прожилок, ксенолитов и обломков посторонних пород.

Для объективной геохимической характеристики пород свиты или комплекса достаточно иметь 30–50 проб, отобранных по опорным разрезам (для вулканогенных толщ) или по равномерной сети, охватывающей всю площадь развития пород данного комплекса (для интрузивных образований). Для характеристики отдельной пачки или разновидности пород необходимо не менее пяти проб.

Минералогическое опробование проводится с целью выделения из проб и последующего изучения аксессуарных или других минералов. Пробы отбираются из всех важных для изучения района разновидностей пород. Обработка таких проб осуществляется по специально разработанным схемам путем дробления, промывки, выделения шлиха и деления его на фракции.

Из интрузивных образований минералогические пробы, число которых на фазу обычно не превышает 5–10, чаще всего берутся точечным способом с площадок размером 10 × 10 или 20 × 20 м. В первом случае при массе пробы 10 кг достигается получение средних проб для ведущих аксессуарных минералов, во втором — средних проб практически для всех имеющихся в породе минералов, в том числе и для минералов поздней стадии образования, характеризующихся крайне неравномерным распределением в породе.

Из вулканогенно-осадочных образований для решения стратиграфических вопросов из каждого слоя, пласта, покрова отбирают пробу массой до 0,5 кг. При этом, как и во всех других случаях, необходимо отбор проб проводить по одной методике.

Для более полного изучения акцессорных минералов и решения некоторых специальных вопросов комагматичности и металлогенической специализации из главных разностей пород отбирают пробы массой 15–20 кг. Эти пробы составляют из отдельных кусков (каждый 100–200 г), отбираемых точечным способом с площади 50–100 м².

При изучении осадочных и метаморфических образований минимальная масса пробы, при которой выход акцессорных минералов достаточен для их определения, сравнения проб между собой, подсчетов, спектральных и некоторых других анализов, 2–3 кг. Из наиболее интересных разновидностей метаморфических пород, особенно для установления их первичной природы, могут отбираться большие минералогические пробы (порядка 10–20 кг) или могут быть объединены пробы, взятые по простиранию из одного и того же слоя (пласта, горизонта).

Для достижения единообразия в опробовании обычно рекомендуется отбирать штучные пробы; однако во всех случаях, когда приходится опробовать осадочные или метаморфические породы (т.е. слоистые, полосчатые образования с отчетливо проявленной анизотропией свойств), всегда следует стремиться к тому, чтобы обеспечить возможность оптимального пробоотбора — бороздовым или точечным методом.

ОТБОР ПРОБ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

Инженерно-геологические изыскания, в частности работы по обоснованию проектирования и строительства крупных гидротехнических, промышленных и других сооружений, направлены в первую очередь на изучение инженерно-технических свойств грунтов. Для этих целей производится опробование грунтов в различных типах горных выработок и буровых скважин. Характеризуя особенности инженерно-геологического опробования, М.Н. Альбов отмечает, что на первых стадиях исследований отбирают образцы пород для типизации грунтов по физико-механическим свойствам. Основное число образцов для определения прямых показателей отбирается при детальном изыскании. Для каждого инженерно-геологического элемента необходимо отбирать не менее 25–30 образцов грунта, по параметрам которых можно вычислить средние значения свойств грунтов. Образцы грунтов бывают двух видов: 1) с ненарушенной структурой, когда структура образца претерпела лишь незначительные изменения при его

отборе; 2) с нарушенной структурой, т.е. в отобранном материале структурные связи между частицами разрушены. Образцы с нарушенной структурой (монолиты) отбираются из горных выработок, а также из скважин колонкового бурения с достаточным выходом керна. Монолиты должны иметь форму куба, параллелепипеда или цилиндра объемом от $100 \times 100 \times 100$ до $300 \times 300 \times 300$ мм. Монолиты из кернов буровых скважин должны иметь диаметр 60–100 мм и длину 500–1500 мм. Следует учитывать, что при бурении происходит нарушение периферийной зоны монолита (керна) мощностью от 3 до 10 мм.

В практике инженерно-геологических исследований принят принцип точечного опробования; для характеристики грунтов используются средние значения показателей, вычисленные по нескольким пробам.

Известны три группы технических средств, используемых при отборе образцов грунтов: 1) вспомогательные механизмы и инструменты, с помощью которых от массива отделяется определенный объем грунта; 2) грунтоотборники — буровые инструменты, для взятия образцов грунта с нарушенной структурой; 3) грунтоносы — специальные приборы для отбора монолитов грунтов.

К вспомогательным механизмам и инструментам относятся отбойные молотки, дисковые пилы и др.

Грунтоотборники не имеют широкого применения при инженерно-геологических изысканиях. Наиболее часто применяется шнековое бурение.

Грунтоносы используют для отбора при бурении образцов рыхлых грунтов (глины, песка, суглинка, супеси) с сохранением их природного сложения. Грунтоносы бывают различных конструкций, но основным их элементом является тонкостенная стальная труба, заполняемая грунтом. Для взятия сыпучих грунтов грунтоносы внизу снабжаются секторным затвором или клапанами. Основными способами погружения грунтоносов в грунт являются задавливающий, забивной, вибрационный, вращательный.

Из горных выработок, пройденных по мягким и вязким породам, монолиты отбирают ручным способом. Намечают контур монолита в забое, вырезают боковые и верхнюю грани монолита. Затем подрезают нижнюю грань, после чего монолит осторожно снимают, выравнивают, наносят на его грани ориентирующие метки (верх-низ, азимут).

Глава 8. ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Запасы полезных ископаемых — массовое или объемное количество полезного ископаемого и его компонентов, заключенное в недрах на определенной территории. Это понятие определяет также и качество полезного ископаемого, т.е. возможность использования его для каких-либо целей. Запасы всегда представлены в виде геологических тел конкретной формы, характеризующихся определенными условиями залегания.

Подсчетом запасов называется определение количества промышленно пригодного минерального сырья в недрах. Подсчет запасов — завершающая операция разведки месторождения или его части и производится обычно в конце каждой стадии разведочного процесса.

Запасы какого-либо компонента, например металла в недрах рудного месторождения, определяются по формуле $P = Q\bar{C}$, где P — запасы компонента, Q — запасы минерального сырья, руды, $\bar{C}$ — среднее содержание компонента в контуре подсчитываемых запасов, среднее содержание металла в руде. Если C выражено в процентах, то $P = Q \frac{\bar{C}}{100}$. Запасы руды Q определяются по формуле $Q = Vd$, где V — объем тела полезного ископаемого или части его, по которой производится подсчет запасов, d — объемная масса минерального сырья в недрах. Объем тела полезного ископаемого или части его, по которой подсчитываются запасы, определяется по формуле $V = S\bar{m}$, где S — площадь тела полезного ископаемого или части его, по которой подсчитываются запасы, $\bar{m}$ — средняя мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчитываемых запасов.

Таким образом, практически для любого способа подсчета запасов твердых полезных ископаемых необходимо знать следующие основные параметры.

Запасы минерального сырья в недрах обычно измеряются в следующих единицах: 1) руды коренных металлических месторождений и большинство остальных видов твердых полезных ископаемых — в тоннах; 2) пески россыпных месторождений, строительных материалов, мраморов и др. — в кубических метрах.

Запасы компонентов в основном измеряются в тоннах. При этом для железа, марганца, хрома, ванадия, титана, т.е. для черных металлов, определяются и утверждаются только запасы сырой руды Q и средние содержания металла в ней $\bar{C}$, а запасы металлов P не вычисляются. Запасы благородных металлов (золото, платина, серебро) определяются в килограммах, алмазов — в каратах или в граммах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Измерение площадей рудных тел проводится на вертикальных, горизонтальных или наклонных проекциях различными способами: геометрическим, с помощью планиметра, курвиметра или палетки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В пределах контура подсчета запасов мощность рудного тела определяется по данным горных выработок или буровых скважин, либо непосредственными измерениями (для рудных тел с четкими границами), либо по данным опробования. Среднее значение мощности определяется способом среднего арифметического: если изменение мощности тела не подчиняется какой-либо закономерности или эта закономерность не выявлена.

Если изменение мощности является закономерным (например, плавное сокращение мощности при выклинивании тела), то при резко неравномерном распределении пунктов замера мощностей средняя мощность должна определяться способами средневзвешенного.

Объемная масса, влажность и другие физико-механические свойства минерального сырья определяются лабораторными методами, иногда полевыми (объемная масса).

Содержания полезных компонентов. Для коренных месторождений твердых полезных ископаемых содержание элемента или его химических соединений определяется в % или в г(мг)/т минерального сырья.

Содержание висмута, железа, никеля, олова, ртути, свинца и многих других металлов определяется в виде элементов. Бериллий, ванадий, вольфрам и другие определяются в виде оксидов. Содержание барита, графита, корунда подсчитывается в процентах этих минералов к массе минерального сырья. Содержание слюды определяется в кг/1 м³ сырья, а оптических минералов — в кг/1 м² площади тела полезного ископаемого.

Для россыпных месторождений определяется содержание ценного компонента на 1 м³ породы: золота, платины — в г (мг), ильменита, вольфрамита, касситерита, киновари, корунда, монацита — в г или кг, алмазов — в кар. или мг.

Среднее содержание полезного компонента в выработках, разрезах, разведочных сечениях для подсчета запасов подсчитывается обычно среднеарифметическим или средневзвешенным способом.

ОКОНТУРИВАНИЕ

При оконтуривании тел полезных ископаемых различают следующие виды контуров (Прокофьев, 1973).

1. Нулевой, характеризующий полное выклинивание тела полезного ископаемого. Он строится путем соединения крайних внешних точек, в которых мощность тела или содержания полезного компонента равно нулю.

2. Промышленный контур, отделяющий промышленные участки тела от непромышленных, проводится через точки, характеризующиеся наименьшими промышленными показателями, т.е. точки с минимальной мощностью, минимальным промышленным содержанием или же минимальными значениями метропроцента.

3. Сортвой контур, разделяющий различные сорта минерального сырья внутри общего промышленного контура, проводится по точкам, характеризующим границы распределения различных сортов минерального сырья.

По способу проведения контуров они разделяются на следующие виды.

1. Внутренний контур интерполяции проводится через крайние разведочные или эксплуатационные выработки, расположенные на площади подсчета запасов.

2. Внешний контур проводится за пределами крайних выработок или проб, расположенных по периферии площади подсчета запасов. При этом различают внешний контур: а) ограниченной экстраполяции, если за пределами кондиционных выработок имеются выработки некондиционные; б) неограниченной экстраполяции, если за пределами кондиционных выработок других выработок нет (см. рис. 36).

Фактическим материалом для оконтуривания являются данные отдельных разведочных выработок; чтобы правильно оконтурить тело в плане или на разрезе, необходимо использовать способы и приемы определения контуров тела в забоях и стенках отдельных выработок, между ними и за их пределами. Подробно эти приемы изложены в учебниках В.И. Смирнова (1960) и А.П. Прокофьева (1973).

Требования промышленности к минеральному сырью (кондиции)

Для оконтуривания и подсчета запасов необходимо знать требования промышленности к качеству минерального сырья и дать промышленно-экономическую оценку месторождению. Для этого надо иметь ряд показателей, обоснованных специальными технико-экономическими расчетами.

Основные показатели, которые требуют обоснования и должны предусматриваться условиями, следующие: 1) минимальное

промышленное содержание полезного компонента балансовых запасов; 2) бортовое содержание полезного компонента, при котором производится оконтуривание балансовых запасов (при отсутствии четких геодогических границ); 3) максимально допустимое содержание вредных примесей в руде; 4) попутные компоненты, запасы которых подлежат учету; 5) минимальная мощность рудных тел, включенных в подсчет запасов и др.

Связь одного показателя с другим очевидна, но жесткой функциональной математической зависимости между ними не установлено, что приводит к необходимости использовать метод вариантов. Этот метод предусматривает выбор наиболее оптимальных кондиций.

Существуют: 1) временные кондиции, применяемые на стадии предварительной разведки; 2) основные промышленные кондиции, которые утверждаются ГКЗ и служат основой для промышленной оценки месторождения; 3) эксплуатационные, или оперативные — на стадии эксплуатационной разведки, служат для уточнения основных кондиций.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента является наиболее ответственным показателем кондиций. Это среднее содержание компонента в подсчетном блоке, при котором полезное ископаемое является пригодным для промышленного использования. Однако минимальное промышленное содержание обеспечивает лишь безубыточное использование сырья; прибыль определяется превышением фактического среднего содержания над минимальным промышленным.

Минимальное промышленное содержание определяется из условий равенства стоимости получаемой готовой продукции (концентратов, металлов) и полной себестоимости добычи и переработки руды: $C \cdot \Pi = Z$, где C — количество готовой продукции в единице руды (например, в 1 т); Π — цена за единицу готовой продукции; Z — затраты на добычу и переработку единицы руды.

Минимальное промышленное содержание рассчитывается по формуле

$$C_{\min \text{ пр}} = \frac{Z \cdot 100}{\Pi_{\text{пр}}},$$

где Z — сумма всех затрат, связанная с добычей, переработкой и транспортировкой единицы минерального сырья; Π — установленная государственная цена за единицу полезного компонента; r — коэффициент извлечения полезного компонента из руды; ρ — коэффициент, учитывающий разубоживание.

Бортовое содержание — это нижний предел содержания полезного компонента в крайних пробах, при котором эти пробы включаются в подсчетный контур промышленной руды,

при условии получения среднего содержания по подсчетным блокам не ниже минимального промышленного. Величина бортового содержания зависит от принятого минимального промышленного содержания, установленного для данного месторождения, и от характера распределения полезного компонента в руде на данном участке.

Для некоторых видов минерального сырья оконтуривание проводится с учетом требований, отвечающих особым техническим условиям или ГОСТам. В остальных случаях определение бортового содержания сопровождается сложными расчетами методом вариантов. Оптимальный вариант выбирается путем сравнения расходов на производство конечных продуктов полезного компонента со стоимостью конечного продукта, получаемого на заводе в течение года.

Максимально допустимое содержание вредных примесей в руде. В минеральном сырье нередко присутствуют вредные примеси; они либо затрудняют переработку его, либо ухудшают качество конечного продукта, а иногда делают невозможным его использование. Освобождение от вредных примесей требует дополнительных затрат, а при высоком их содержании может быть экономически нецелесообразным. Максимально допустимое содержание вредных примесей определяется по результатам технологических испытаний.

Попутные компоненты, подлежащие наряду с основными обязательному учету с подсчетом их запасов, устанавливаются в зависимости от потребности и возможности их извлечения. Содержания их учитываются соответствующими переводными коэффициентами. Совместно залегающие другие полезные ископаемые (в виде отдельных тел во вмещающих породах), а также перекрывающие горные породы (вскрытые при открытой разработке), пригодные для промышленного использования, учитываются наряду с основными полезными ископаемыми при расчете кондиций.

Минимальная мощность рудных тел, включаемая в подсчет запасов. При подземной разработке минимальная технически допустимая ширина очистного пространства для крутопадающих рудных тел 0,7 м, для горизонтальных и пологих 1,2 м; поэтому минимальная мощность часто устанавливается в этих пределах. Однако учитываются и ценность минерального сырья, и горнотехнические условия отработки месторождения: чем богаче руда, тем меньшей мощности рудное тело может быть отработано с выгодой.

МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Все методы подсчета запасов, как отмечают В.И. Смирнов и А.П. Прокофьев, основаны на двух главных принципах: 1) рас-

пространении фактических данных о параметрах подсчета, полученных в отдельных естественных обнажениях, горных выработках и скважинах, на прилегающие участки; 2) преобразовании сложных по форме тел полезных ископаемых в равновеликие им по объему простые тела и определении объема, а следовательно, и запасов минерального сырья в пределах последних.

В настоящее время известно более двадцати способов подсчета запасов твердых полезных ископаемых, из них наиболее часто используются лишь три — геологических блоков, эксплуатационных блоков и геологических разрезов. Другие методы применяются в единичных случаях или используются в качестве параллельных методов для получения сравнительных данных. Дело в том, что в последнее время в связи с широким применением компьютерной техники возникла возможность вести подсчет запасов одновременно несколькими методами, что нередко используется геологами для сопоставления данных, полученных по разным методам и их сравнительной оценки.

Способ геологических блоков, впервые описанный В.И. Смирновым в 1950 г., является самым простым и наименее трудоемким. Частным случаем его является метод среднего арифметического или, как его иногда называют, суммарный метод, когда все тело полезного ископаемого рассматривается как один блок.

Оконтуривание рудного тела производится обычным способом. Площадь тела на графической проекции измеряется планиметром или палеткой. Мощность $\bar{m}$ вычисляется как среднее арифметическое по данным всех горных выработок и скважин, пересекших тело полезного ископаемого: $\bar{m} = \sum m_i / n$. Объем тела V вычисляется как произведение площади на среднюю мощность. Таким образом, при подсчете запасов этим способом ограниченное сложными поверхностями тело приравняется к равновеликой фигуре, имеющей форму пластины с постоянной высотой и периметром, соответствующим внешнему контуру тела (рис. 39). Среднее содержание компонентов $\bar{C}$ определяется так же как среднее арифметическое всех частных содержаний по отдельным выработкам: $\bar{C} = \sum c_i / n$. Так же определяется средняя величина объемной массы. Запасы сырья Q определяются по формуле $Q = Vd$; запасы компонентов P — по формуле $P = Q \cdot \bar{C}$.

Способ среднего арифметического применяется в основном для ориентировочной оценки запасов, однако при достаточно большом количестве пересечений рудного тела выработками или скважинами он дает вполне точные результаты. К недостаткам этого метода относится излишнее упрощение формы и недостаточная надежность результатов в случае месторождений со сложными телами. Кроме того, этот метод не дает возможности раздельного подсчета запасов различных сортов и типов руд.

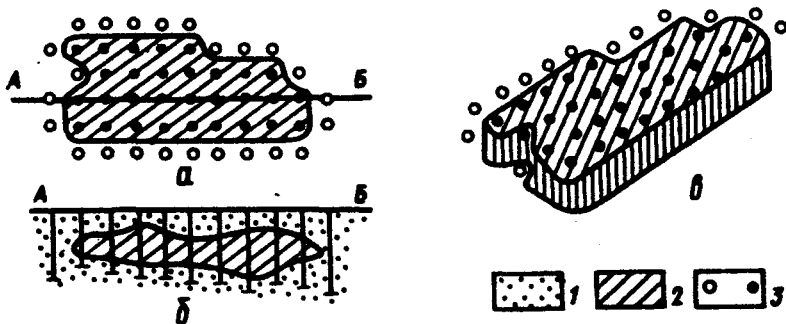


Рис. 39. Схема преобразования формы тела полезного ископаемого при подсчете запасов методом среднего арифметического (по А.П. Прокофьеву):

а — план; б — разрез; в — аксонометрическая проекция преобразованного тела.

1 — вмещающие породы; 2 — тело полезного ископаемого, 3 — горные выработки, вскрывшие (черные кружки) и не вскрывшие (белые кружки) полезное ископаемое

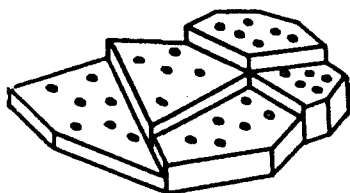


Рис. 40. Преобразование тела полезного ископаемого в группу сомкнутых разновеликих фигур при подсчете запасов по способу геологических блоков (по В.И. Смирнову)

При подсчете запасов способом геологических блоков площадь полезного ископаемого разделяется на отдельные участки, и подсчет запасов в пределах выделенных таким образом блоков производится по способу среднего арифметического. Тело полезного ископаемого в данном случае как бы преобразуется в ряд сомкнутых призм, высота которых равняется средней мощности каждого блока (рис. 40). Графические построения сводятся к общему оконтуриванию рудного

тела наиболее приемлемым в данном случае способом и расчленению на блоки площади, охваченной общим контуром. Разделение рудного тела на блоки может производиться по различным признакам, но обязательно существенным для характеристики качества, условий залегания, надежности оценки запасов или других особенностей месторождения. К числу таких признаков относятся: 1) сорта и типы полезного ископаемого, отличающиеся уровнем содержания полезных и вредных компонентов, технологическими свойствами и др.; 2) степень разведанности запасов и возможность выделения запасов различных категорий; 3) участки тел различной мощности, определяющей особенности систем разработки; 4) участки, характеризующиеся существенными особенностями горнотехнических условий.

Разделять площадь тела полезного ископаемого на блоки по другим признакам (в частности, с единственной целью получения наибольшего количества блоков малых размеров) не рекомендуется. Точность подсчета запасов зависит при прочих равных условиях от количества исходных данных; поэтому чем крупнее будут блоки и чем на большее количество пересечений будет опираться подсчет, тем точнее он будет выполнен. Общие запасы минерального сырья и компонентов получают суммированием запасов по отдельным участкам или блокам.

Метод геологических блоков можно рекомендовать для подсчета запасов как простых, так и сложных тел полезных ископаемых. Основным достоинством метода являются необычайная простота, скорость графических построений и вычислительных операций, благодаря чему результаты подсчета получаются во много раз быстрее по сравнению с другими методами.

Способ эксплуатационных блоков применяется при подсчете запасов жильных или маломощных пластовых месторождений по отдельным эксплуатационным блокам, на которые нарезается рудное тело горными выработками. Блоками являются части рудного тела, оконтуренные и опробованные с четырех сторон: сверху и снизу — штреками, а по бокам — восстающими. Некоторые блоки могут быть оконтурены не полностью, и тогда в расчет принимаются только те их стороны, которые ограничены горными выработками. Подсчет запасов в пределах каждого блока производится по среднеарифметическому способу, а общие запасы определяются суммированием запасов всех блоков. Таким образом, сложная форма тела полезного ископаемого как бы преобразуется в ряд сомкнутых по штрекам и восстающим разновеликих параллелепипедов (или напоминающих их тел), высота которых равняется средней мощности по каждому блоку, а основание — площади блоков.

Графические построения сводятся к изображению продольной проекции тела полезного ископаемого на основании маркшейдерских данных.

Запасы минерального сырья по каждому блоку определяются произведением площади блока на среднюю мощность по блоку и на объемную массу, запасы компонента — произведением запасов сырья на среднее содержание, вычисленное для блока.

Достоинства способа эксплуатационных блоков заключаются в простоте графических построений и вычислительных операций, возможности выделения участков минерального сырья различного качества, удобстве для проектирования эксплуатационных работ.

Недостатками этого способа являются ограниченные возможности его применения — только при условии нарезки тел полезных ископаемых горными выработками; при этом мощность рудного тела не должна превышать ширину выработок.

Способ геологических разрезов применяется при подсчете запасов месторождений, разведанных выработками, расположенными по разведочным линиям, на основании которых можно построить геологические разрезы.

Строить разрезы, пересекающие тела полезных ископаемых, можно в плоскостях, секущих тело либо в вертикальном направлении, когда разведка осуществлялась по вертикальным линиям, либо в горизонтальном, когда разведка производилась по горизонтам. В связи с этим различают две разновидности этого метода — вертикальных и горизонтальных разрезов. Принципы подсчета запасов для этих разновидностей одни и те же.

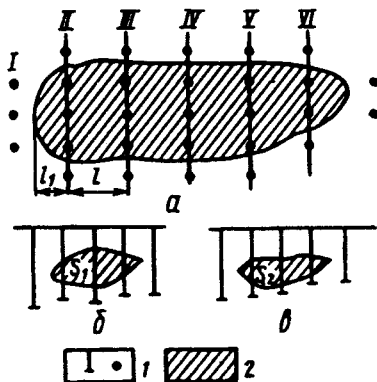


Рис. 41. Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов методом разрезов (по А.П. Прокофьеву).

a — план; $б$ — разрез по линии II; $в$ — разрез по линии III.

l — разведочные выработки, 2 — рудное тело

Геологические разрезы расчленяют тело на отдельные блоки. Все блоки, кроме расположенных в краевых частях, ограничены двумя секущими плоскостями. Крайние блоки ограничены плоскостью сечения только с одной стороны, а с остальных их ограничивает неправильная поверхность тела полезного ископаемого (рис. 41). Запасы минерального сырья и компонентов определяются отдельно для каждого из выделенных блоков. Общие запасы получаются суммированием запасов отдельных блоков.

Для вычисления объема блока используются следующие формулы.

1) Когда площади сечений тела полезного ископаемого, ограничивающие блок, более или менее равновелики, а сечения близки к параллельным, используют формулу призмы

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l,$$

где V — объем блока; S_1 и S_2 — соответственно площади сечений блока; l — длина блока (расстояние между разрезами);

2) Если площади параллельных сечений, ограничивающих блок, имеют изометрическую форму и подобны, но по величине резко отличаются друг от друга (более чем на 40%), объем вычисляют по формуле усеченной пирамиды

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} l$$

при тех же значениях параметров.

Для крайних блоков, которые опираются только на одно сечение, объем может быть определен также по нескольким формулам в зависимости от характера выклинивания тела полезного ископаемого.

1) По формуле клина

$$V = \frac{S_1 l_1}{2},$$

где l_1 — расстояние от плоскости сечения до точки выклинивания тела полезного ископаемого;

2) По формуле конуса

$$V = \frac{S_2 l_2}{3}$$

при тех же значениях параметров.

Запасы минерального сырья определяются умножением объема блока на объемную массу. Средние значения объемной массы, как и средние содержания полезного компонента для блока, определяются по замерам в выработках для каждого сечения, а затем, если блок ограничен двумя сечениями, из данных двух разрезов способом среднего арифметического или среднего взвешенного на площади сечений.

Полученные значения среднего содержания полезного компонента для каждого блока, умноженные на запасы минерального сырья в блоке, дают возможность определить запасы по всему телу.

Способ разрезов обеспечивает наиболее правдоподобное преобразование объемов залежей, позволяет наиболее полно учесть и отразить геологические особенности строения месторождений. Применение этого способа эффективно при подсчете запасов в залежах сложной формы и большой мощности. Наиболее существенный недостаток способа разрезов — ограниченность его применения только для случаев разведки системами поперечных разведочных разрезов.

Способ изолиний. Сущность способа состоит в том, что тело полезного ископаемого, ограниченное со всех сторон сложными поверхностями, преобразуется в равновеликое тело, ограниченное с одной стороны плоскостью, а с другой — топографической поверхностью, т.е. поверхностью, которая может быть изображена системой замкнутых изолиний равной высоты (рис. 42). Объем такого тела, а следовательно, и запасы его могут быть вычислены по известным формулам определения объема, ограниченного топографической поверхностью.

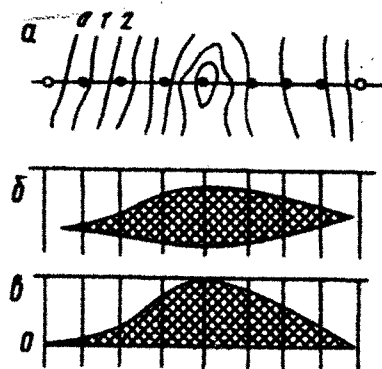


Рис. 42. Подсчет запасов по методу изолиний (по А.П. Прокофьеву)

а — план части тела полезного ископаемого в изолиниях мощности; б — разрез тела полезного ископаемого по разведочной линии; в — разрез равновеликого тела, ограниченного с одной стороны плоскостью, а с другой — топографической поверхностью

Графические построения при этом способе сводятся к следующему. На подсчетном плане рядом с каждой выработкой, пересекающей залежь, указывается ее мощность. Затем обычным способом интерполяции проводятся изолинии мощности. Объем тела, ограниченного топографической поверхностью (т.е. системой изолиний мощностей), определяется одним из трех способов по формулам: 1) приближенного интегрирования; 2) усеченного конуса или 3) трапеций.

Вычисление по формуле приближенного интегрирования:

$$V = \frac{h}{3} [(S_0 + S_n) + 4(S_1 + S_3 + S_5 + \dots) + 2(S_2 + S_4 + S_6 + \dots)] \pm \frac{1}{3} \sum S_m h;$$

где V — объем тела, ограниченного системой изолиний равных высот; h — расстояние между сечениями (цена сечения); S_0 — площадь, ограниченная нулевой изолинией; S_1, S_2 — площади, ограниченные соответствующими изолиниями; S_m — площадь, ограничивающая конечные впадины и выступы в системе изолиний; площади впадин берутся со знаком минус, а площади выступов со знаком плюс.

Вычисление по формуле усеченного конуса:

$$V = \frac{h}{3} \sum (S_{n-1} + S_n + \sqrt{S_{n-1} \cdot S_n}) \pm \frac{1}{3} \sum S_m \cdot h.$$

Вычисление по формуле трапеций:

$$V = h \left(\frac{S_0}{2} + S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right) \pm \frac{1}{3} \sum S_m \cdot h.$$

Вычисление объема можно производить также при помощи палетки.

Запасы руды вычисляются умножением объема на среднюю объемную массу. Запасы металла определяются умножением объема тела на среднее содержание $\bar{C}$ и среднюю объемную массу.

Вместо изолиний равных мощностей можно строить сразу изолинии произведения мощности на объемную массу, тогда при вычислении получается запас руды; если строить изолинии равных произведений мощности на содержание и объемную массу, то при вычислении получаются сразу запасы металла.

Главным достоинством метода изолиний является наглядность. Недостаток его в сложности графических построений. В настоящее время этот способ используют при подсчете запасов месторождений строительных материалов, разрабатываемых открытым способом. В ряде случаев для подсчетов запасов могут быть использованы топографические карты.

Точность подсчета запасов зависит от сложности геологического строения объекта, детальности его разведки и точности определения основных параметров, входящих в подсчет. Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: 1) геологические (ошибки аналогии), связанные с распространением фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на ближайшие участки; 2) технические, связанные с техникой замеров и определения исходных параметров для подсчета запасов, к которым относятся точность замеров мощности, химических анализов, точность определения объемной массы и др.; 3) связанные с применением различных методов подсчета запасов.

Погрешности аналогии подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости месторождения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологическими погрешностями обусловлены наиболее крупные ошибки подсчета запасов. Установлено, что геологическая погрешность при подсчете запасов высоких категорий *A* и *B* может достигать до 10–15%. В отдельных случаях при неправильном понимании особенностей геологического строения месторождений она может быть и выше.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку обладая переменным знаком они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности, обладая одним знаком, оказывают одностороннее влияние на результаты подсчета и искажают их, в чем заключается их чрезвычайная опасность. Поэтому, если имеются данные о возможности таких погрешностей, категории запасов должны быть снижены. Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами. На основании контрольных работ данные основных параметров могут быть откорректированы путем введения соответствующих поправочных коэффициентов. К их числу относятся, например, коэффициент рудоносности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др.

Применение того или иного метода подсчета запасов не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Конечные цифры запасов, подсчитанные различными методами в пределах одних и тех же контуров тел полезных ископаемых, отличаются на 1-5% и не превосходят пределов точности технических операций подсчета. Поэтому наиболее целесообразным считается применение таких методов подсчета, которые прежде всего дают возможность учитывать и отражать геологические особенности строения месторождения, его структуру, распределение сортов и типов минерального сырья и в то же время позволяют сократить затраты времени и средств, связанные с подсчетом запасов.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Промышленная оценка месторождения полезного ископаемого состоит в определении его промышленного значения в данное время и в конкретных географо-экономических условиях. Промышленное значение месторождения зависит от количества и качества полезного ископаемого, возможности использования его в народном хозяйстве, потребностей промышленности, технических возможностей и экономической целесообразности добычи и переработки сырья, заключенного в недрах месторождения.

Промышленная оценка месторождения производится на всех стадиях его разведки и освоения. На ранних стадиях исследования, в процессе поисково-оценочных работ дается только ориентировочная оценка возможной промышленной значимости месторождения по методу простых аналогий, т.е. при сравнении изучаемого месторождения с подобными объектами по их натуральным показателям — размеру, качеству руд, условиям залегания и др. На стадии предварительной разведки оценка производится при обосновании временных кондиций к подсчету запасов и при составлении технико-экономического доклада по результатам подсчета запасов. На этой стадии существенная роль также отводится методу аналогий. В стадию детальной разведки оценка месторождения осуществляется на основании оценочных показателей, рассчитанных по достаточно надежным результатам разведки, с изучением возможностей добычи и переработки полезного ископаемого, а также экономики района. В результате детальной разведки обеспечивается оценка основных промышленных параметров будущего предприятия и важнейших технико-экономических показателей его эксплуатации.

Таким образом, промышленная оценка может быть предварительной, осуществляемой на предварительной стадии разведки, проектной, выполняемой по завершении детальной разведки, являющейся основанием для проектирования добычи и переработки полезного ископаемого.

ую массу.

Промышленная ценность месторождения определяется различными факторами.

Основой экономической оценки месторождения являются горно-геологические факторы, определяющие количество, качество запасов и условия их залегания в недрах. Социально-экономические факторы связаны с потребностями народного хозяйства в данном виде минерального сырья и перспективами его использования. Они определяются обеспеченностью промышленности данным сырьем, степенью его дефицитности, экспортно-импортными возможностями. Экономико-географические факторы определяются положением месторождения, экономическим развитием и промышленной освоенностью района. При этом учитывается влияние эксплуатации месторождения на экономическое развитие района, а также ущерб, который может быть причинен народному хозяйству в связи с отторжением плодородных земель, нарушением режима подземных вод и т.д.

При оценке промышленной значимости месторождения учитывается весь комплекс факторов и важнейших оценочных показателей, в число которых входят следующие.

1. Запасы полезного ископаемого разведанные ($A + B + C_1$) и перспективные (C_2 и прогнозные). В комплексных месторождениях учитываются запасы всех полезных компонентов, заключенных в рудах, и другие полезные ископаемые, находящиеся в пределах месторождения. Запасы полезного ископаемого определяют масштабы месторождения и такой важный показатель, как годовая производительность будущего горного предприятия. Чем крупнее месторождение, тем выше годовая производительность и ниже себестоимость добычи руды.

2. Качество минерального сырья влияет на экономику горного предприятия, так как себестоимость конечного продукта обратно пропорциональна содержанию полезного компонента в руде. Промышленная ценность руд в значительной степени определяется их технологическими свойствами, эффективностью технологических схем обогащения руд и извлечения из них полезных компонентов (коэффициентами извлечения основных и сопутствующих компонентов в концентраты и в конечный продукт, величинами потерь ценных компонентов в хвостах, шлаках и других отходах производства, расходами материалов и реагентов и т.д.).

3. Условия залегания полезных ископаемых определяют способы отработки месторождений и себестоимость добычи руды. Важными параметрами при этом являются глубина залегания, углы падения залежей, морфология и внутреннее строение их, характер вмещающих пород, гидрогеологические условия месторождения и др.

4. Ценность месторождения может быть выражена потенциальной ценностью извлекаемой части запасов полезного ископаемого, т.е. величиной этих запасов за вычетом потерь полезных компонентов при добыче и переработке, умноженной на цену товарной продукции, получаемой из этих запасов (извлеченная ценность). В свою очередь извлекаемая ценность полезного ископаемого Π , заключенная в 1 т руды, может быть вычислена на основании данных разведки и технологических испытаний как:

$$\Pi = \frac{1-p}{100} \sum_{i=1}^k \Pi_k \bar{C}_i,$$

где p — коэффициент разубоживания руды при добыче (доли единицы); k — число полезных компонентов; Π_k — цена одной тонны полезного компонента (руб.); $\bar{C}$ — среднее содержание полезного компонента в руде (%); i — коэффициент извлечения полезного компонента (доли единицы).

5. Производительность будущего горного предприятия определяется в зависимости от масштабов месторождения и способа добычи — подземного и открытого. Она выражается в среднегодовой добыче полезного ископаемого или среднегодовом производстве концентратов или иной товарной продукции.

6. Себестоимость добычи и первичной переработки полезного ископаемого, представляющая собой отношение затрат на добычу к качеству добываемого полезного ископаемого или затрат на обогащение к количеству получаемого концентрата, рассчитывается обычно на 1 т продукции. В этом экономическом показателе отражаются необходимые эксплуатационные расходы.

7. Рентабельность разработки месторождения вычисляется путем сопоставления предполагаемой суммы среднегодовой прибыли с ожидаемой себестоимостью продукции. Расчеты ведутся по следующей схеме.

Определяется прибыль от добычи, переработки и передела минерального сырья для 1 т: $\Pi = \Pi - C_T$, где Π — прибыль от 1 т готовой продукции; Π — цена 1 т металла как конечного продукта переработки (или 1 т концентрата, или добытой руды, если рассчитывается прибыль каждого этапа производства); C_T — себестоимость 1 т металла (концентрата или руды).

Годовая прибыль предприятия (Π_r) определяется по формуле: $\Pi_r = \Pi \cdot A$, где A — годовой выход конечной продукции — металла, или концентрата, или руды.

Рентабельность разработки месторождения исчисляется в % как отношение прибыли к себестоимости продукции:

$$H = (\Pi_r : C_T) \cdot 100,$$

где H — рентабельность; Π_r — годовая прибыль; C_t — себестоимость годовой продукции.

В показателе рентабельности разработки месторождения полезного ископаемого выражается конечный экономический эффект его использования в народном хозяйстве.

8. Капитальные затраты и их эффективность, определяющая возможность строительства горного предприятия в данное время.

Эффективность капитальных затрат определяется их удельной величиной на 1 т извлекаемых запасов полезного ископаемого, на 1 т годовой производительности предприятия и на 1 руб. годовой продукции предприятия. Основным показателем экономической эффективности капитальных затрат на строительство горнорудного предприятия является срок окупаемости их (T) прибылью от реализации товарной продукции в годах: $T = K/\Pi_r$, где K — капиталовложения в строительство (млн руб.). Средний нормативный срок окупаемости капитальных вложений в горнодобывающей промышленности установлен 6–7 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. А л ь б о в М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1975. 232 с.
2. В о з д в и ж е н с к и й Б.И., В о л к о в С.А., В о л к о в А.С. Колонковое бурение. М., Недра, 1982. 360 с.
3. В о л о д и н Ю.И. Разведочное бурение. М., Недра, 1972. 320 с.
4. К а ж д а н А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки. М., Недра, 1984. 285 с.
5. К р е й т е р В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1964. 400 с.
6. К у д р я ш о в Б.Б., Я к о в л е в А.М. Бурение скважин в мерзлых породах. М., Недра, 1983. 286 с.
7. К у л и ч и х и н Н.И., В о з д в и ж е н с к и й Б.И. Разведочное бурение. М., Недра, 1973. 440 с.
8. Л а р и н К.Л. Геологоразведочное дело. Киев, Вища школа, 1981. 592 с.
9. М а к с и м о в А.А., М и л о с е р д и я Г.Г., Е р е м и н Н.И. Краткий курс геологоразведочного дела. М., Изд-во МГУ, 1980. 320 с.
10. П р о к о ф ь е в А.П. Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., Изд-во МГУ, 1973. 320 с.
11. П р о к о ф ь е в А.П. Технические средства разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., Изд-во МГУ, 1975. 230 с.
12. С м и р н о в В.И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М., Изд-во МГУ, 1957. 588 с.
13. С м и р н о в В.И. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Изд-во МГУ, 1960. 673 с.
14. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин. Т. 1. М., Недра, 1984. 512 с.; Т. 2. 1984. 437 с.
15. Технология и техника разведочного бурения. // Шамшев Ф.А., Тараканов С.Н., Кудряшов Б.Б. и др. М., Недра, 1983. 565 с.
16. Ч е т в е р и к о в Л.И. Методологические основы опробования пород и руд. Воронеж, Изд-во Воронежск. ун-та, 1980 124 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Часть I. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	4
Глава 1. Проходка горных выработок.....	4
Типы разведочных горных выработок.....	4
Свойства горных пород.....	9
Способы проходки и крепления горных выработок.....	14
Проходка и документация горных выработок.....	41
Глава 2. Бурение скважин.....	46
Общие сведения о буровых работах.....	46
Колонковое бурение.....	47
Роторное бурение и бурение забойными двигателями.....	80
Ударно-канатное бурение.....	82
Бурение гидрогеологических и водозаборных скважин.....	85
Бурение скважин по многолетнемерзлым породам.....	89
Механическое бурение неглубоких скважин ..	93
Глава 3. Мероприятия по охране окружающей среды при геологоразведочных работах ..	98
Часть II. МЕТОДИКА РАЗВЕДКИ И ОПРОБОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	106
Глава 4. Месторождения полезных ископаемых как объекты разведки.....	106
Формы тел полезных ископаемых.....	107
Особенности размещения и локализации месторождений.....	110
Изменчивость тел полезных ископаемых.....	112
Промышленные типы месторождений.....	116
Глава 5. Методика поиска месторождений.....	119
Геологические предпосылки поисков.....	119
Поисковые признаки.....	125
Основные методы поисков месторождений полезных ископаемых.....	133
Глава 6. Разведка месторождений полезных ископаемых ..	139
Технические средства разведки.....	141
Принципы разведки.....	143
Системы детальной разведки.....	146
Расположение разведочных выработок.....	149
Основы классификации запасов.....	154
Группировка коренных месторождений для единых методов разведки.....	158
Глава 7. Опробование.....	164
Опробование рудных месторождений.....	165
Отбор проб при изучении магматических пород.....	185
Отбор проб при инженерно-геологических изысканиях.....	188
Глава 8. Подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых.....	190
Определение параметров для подсчета запасов.....	191
Оконтуривание.....	192
Методы подсчета запасов.....	194
Промышленная оценка месторождений полезных ископаемых.....	202
ЛИТЕРАТУРА	206

Учебное издание

Авдонин Виктор Васильевич

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКА
РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Зав. редакцией *И.И. Щегуря*

Редактор *Г.С. Савельева*

Художественный редактор *М.Ф. Ефстафьева*

Технический редактор *Н.И. Смирнова*

Оператор ПЭВМ *С.Ю. Панкратьева*

Корректоры *В.В. Конкина*

В.И. Долгина

ИБ № 7325

ЛР № 040414 от 27.03.92

Сдано в набор 29.09.93. Подписано в печать 28.02.94.

Формат 60 x 90/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Офсет. печать.

Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 13,73.

Тираж ~~1000~~ экз. Заказ № ~~726~~. Изд. № 2232

Оригинал-макет подготовлен
с использованием издательской системы **TeX**
в ЛВМ механико-математического факультета МГУ

Ордена "Знак Почета" издательство

Московского университета.

103009, Москва, ул. Герцена, 5/7.

Щербинская типография