В. М. Крейтер

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

2

В. М. КРЕЙТЕР

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для геологических вузов и факультетов

Часть 2

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
(ПОЛНОСТЬЮ ПЕРЕРАБОТАННОЕ)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР
МОСКВА 1961

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГЛАВА I

ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВЕДКИ

Разведка представляет собой комплекс исследований и необходимых для их выполнения работ, направленных на определение промышленного значения данного месторождения.

Разведочные работы на месторождении полезного ископаемого производятся прежде всего в целях определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных и экономических условий, в которых находится месторождение.

Качество полезного ископаемого является прямой функцией требований промышленности к данному минеральному сырью. Для разных полезных ископаемых эти требования весьма различны. Качество руд определяется главным образом процентным содержанием в них полезных металлов или минералов. Главным показателем качества минерального топлива служит калорийность. Качество многих нерудных полезных ископаемых, в частности строительных материалов, обусловлено их физическими свойствами. Выяснение качественной характеристики полезного ископаемого является первой, важнейшей задачей разведки.

Количество полезного ископаемого определяется занимаемым им объемом; следовательно, цель разведки в этом отношении заключается в выяснении формы и размеров разведываемого месторождения.

Количество и качество полезного ископаемого предстают перед исследователем недр в неразрывном единстве, так как, с одной стороны, форма месторождения устанавливается в зависимости от качественного минимума (кондиций), определяющего контуры промышленных участков и тел полезного ископаемого, а с другой стороны, качество полезного ископаемого заключено в пределах некоторой формы тел, образующих месторождение, и вне ее рассматриваться в недрах не может.

Форма тела не только определяет количество полезного ископаемого, но в известной степени характеризует и геологические условия его залегания (элементы залегания, отношение к рельефу земной поверхности, соотношение с вмещающими горными породами и т. п.). Таким образом, зная форму тела полезного ископаемого и его основные размеры, уже можно составить некоторое представление о геологической позиции месторождения.

Выяснение качества полезного ископаемого должно сводиться не только к определению химического и минерального состава и природных типов руд, но также к установлению технологических свойств руд и их сортов.

Кроме чисто геологических данных о залегании тела полезного ископаемого, в процессе разведки необходимо выяснить и другие сведения, характеризующие условия, в которых находится изучаемое месторождение. Это, во-первых, горнотехнические условия: глубина залегания, водоносность участка, физические свойства вмещающих пород и руд, возможности вскрытия и отработки месторождения; во-вторых, экономические условия: обжи-

тость района, энергетические ресурсы, транспортные возможности, наличие питьевой и технической воды, строительных материалов и т. п.

Из перечня основных задач разведки следует, что она представляет собой совокупность геологических, технических и экономических проблем. Обычно геолог интересуется геолого-минералогической стороной проблемы, но нередко решающее значение при оценке промышленного значения месторождения имеют горнотехнические или экономические условия, ибо недостаточно только выявить хорошую руду,— надо, чтобы природная и техническая обстановка позволила извлечь ее из недр, перевезти и употребить с должным эффектом.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Несмотря на то, что в процессе разведки приходится решать сложный комплекс геологических, технических и экономических вопросов, разведочное дело базируется прежде всего на геологии. Учение о поисках и разведке является ветвью геологического древа наук. Это положение с неизбежностью вытекает из того, что природные условия залегания, состав, форма и генезис всякого тела полезного ископаемого, являющиеся главными чертами, характеризующими месторождение, исследуются именно геологическими методами.

Всякое тело полезного ископаемого обладает большей или меньшей изменчивостью формы, слабее проявляющейся в пластовых телах и чрезвычайно прихотливой в месторождениях сложного строения — различного рода трубчатых, ветвящихся залежах, сложных жильных зонах и т. п. Еще более изменчиво качество полезного ископаемого, иногда резко различающееся в отдельных пунктах, особенно в рудных телах драгоценных и редких металлов. Если бы тела полезных ископаемых не обладали изменчивостью формы и качества, то разведка их сводилась бы к некоторым простейшим единичным измерениям и исследованиям. Вся современная методика и техника разведки создавалась исходя из необходимости учитывать эту изменчивость.

Таким образом, в основе задач, стоящих перед разведкой, лежит необходимость эффективного изучения геологических закономерностей, предопределяющих изменчивость форм, качества и условий залегания полезного ископаемого. Поэтому естественно, что учение о разведке принадлежит к циклу геологических дисциплин.

В самом понятии и з м е н ч и в о с т ь необходимо различать две стороны явления — х а р а к т е р изменчивости и ее и н т е н с и в н о с т ь.

Понятие изменчивости свойств полезных ископаемых еще не приобрело вполне законченного определения и различными исследователями трактуется по-разному. Так, П. Л. Каллистов (1956) подразделяет изменчивость по характеру на два вида: закономерную, или локальную, и случайную, или беспорядочную. В то же время Д. А. Зенков (1955) выделяет четыре типа изменчивости: 1 — плавную, непрерывную, закономерную; 2 — плавную, непрерывную, незакономерную; 3 — прерывистую, скачкообразную, закономерную; 4 — прерывистую, скачкообразную, незакономерную.

Еще больше расходятся ученые во мнениях о количественном выражении характеристик изменчивости свойств тела полезного ископаемого. Различные взгляды на эту проблему высказывались В. К. Котульским и Н. Н. Куреком, Л. И. Шаманским, Н. В. Барышевым, П. Л. Каллистовым, Д. А. Казаковским и др. Несмотря на разногласия, обусловленные разными подходами к решению задачи и различными математическими приемами, в основе всех построений лежит теория вероятности и математическая статистика, т. е. анализ случайных, функционально не связанных величин; только Д. А. Казаковский использует вторые разности и анализ бесконечно малых.

Ниже приводятся элементы математической статистики, используемые в теории разведочного дела.

Коэффициент вариации V является основным средством количественного выражения изменчивости свойств тела полезного ископаемого. Он определяется как отношение среднеквадратического отклонения σ результатов ряда измерений величины M (мощности тела, содержания металла, объемного веса и т. п.) к среднему арифметическому $M_{ср}$, вычисленному для этого же ряда (табл. 1), и выражается большей частью в процентах:

$$V = \frac{\sigma}{M_{ср}} \cdot 100\%. \qquad (1)$$

Величина среднего арифметического находится обычным способом:

$$M_{ср} = \frac{\Sigma M}{n}. \qquad (2)$$

Среднее квадратическое отклонение характеризует среднюю амплитуду отклонений отдельных измерений от среднего арифметического:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (M - M_{ср})^2}{n-1}}, \qquad (3)$$

где $(M - M_{ср})$ — отклонение отдельного измерения от среднего арифметического;

n — число измерений в данном ряду.

Таблица 1

Пример вычисления коэффициента вариации

Измеренные значения M	Отклонения от среднего арифметического $M - M_{ср}$	Квадраты отклонений от среднего арифметического $(M - M_{ср})^2$
5	—2	4
3	—4	16
8	+1	1
12	+5	25
6	—1	1
4	—3	9
7	0	0
5	—2	4
13	+6	36
$\Sigma M = 63$		$\Sigma (M - M_{ср})^2 = 96$

$$M_{ср} = \frac{\Sigma M}{n} = \frac{63}{9} = 7; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (M - M_{ср})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{96}{9-1}} \approx 3{,}46;$$

$$V = \frac{\sigma}{M_{ср}} \cdot 100 = \frac{3{,}46}{7} \cdot 100 \approx 49\%.$$

Следует иметь в виду, что величина V выражает лишь степень изменчивости исследуемого параметра, но не отражает характера его изменчивости (рис. 1). Представление о характере изменчивости может быть получено путем построения соответствующих графиков (рис. 2).

Теория вероятности исследует стохастическое распределение, т. е. такое, при котором значения признака в изучаемом коллективе не связаны между собой численной зависимостью. При наличии же координированных изменений какого-либо признака (свойства) вычисленная величина коэффициента вариации дает преувеличенное представление об изменчивости. В связи с этим П. Л. Каллистов (1956) рекомендует давать раздельно характеристики: а) случайной изменчивости, довольно точно определяемой

с помощью коэффициента вариации, и б) координированной изменчивости, выражаемой кривой регрессии признака (свойства), которую получают путем «сглаживания»[1] значений этого признака (рис. 3).

В результате такого «сглаживания» условно выявляется некоторая закономерная изменчивость в виде плавных колебаний кривой регрессии.

Таким образом, в общем случае изменчивость какого-либо свойства слагается из отклонений координированной изменчивости (ординаты y') и отклонений случайной изменчивости (ординаты y''). Разумеется, значения коэффициента вариации, вычисленные с учетом и без учета координированных изменений, будут различны. Величина V несколько колеблется также в зависимости от условий сглаживания.

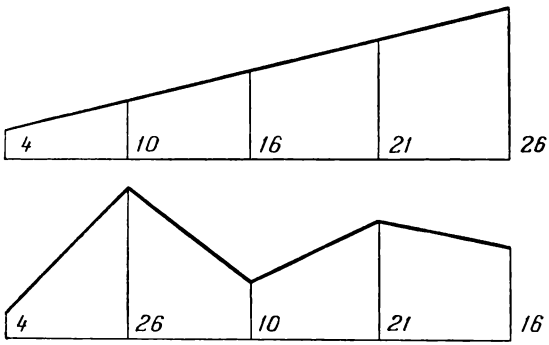


Рис. 1. Различный характер изменчивости при одинаковой степени изменчивости

Числовые значения σ и V, вычисленные с учетом и без учета влияния координированных изменений, в соответствии с рис. 3 даны в табл. 2.

Из этих данных видно, что по мере увеличения приемов сглаживания σ и V вначале уменьшаются, а затем возрастают, возвращаясь к значениям, полученным путем вычисления без сглаживания. Воз-

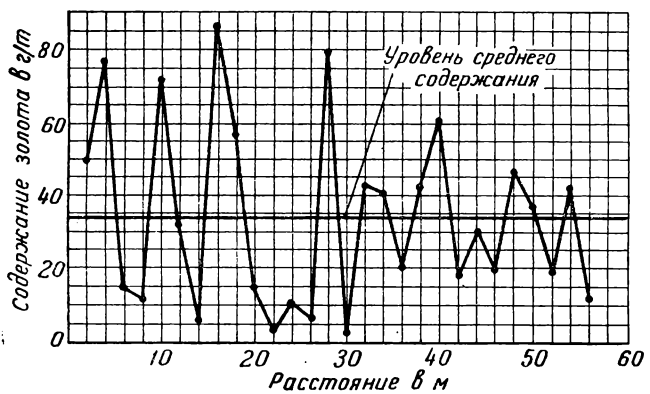


Рис. 2. Беспорядочные колебания содержаний полезного компонента (по П. Л. Каллистову)

можно, что минимальные значения σ и V являются наиболее точными, но это логичное предположение требует дополнительных доказательств.

Вследствие влияния координированных изменений значения V возрастают с увеличением размера исследуемого участка. Поэтому величины σ и V, вычисленные для участка одного размера, не могут быть безоговорочно распространены на участок другого размера или на тело полезного ископаемого в целом. Это обстоятельство ограничивает возможности экстраполяции

[1] Сглаживание ломаной кривой, отражающей резкие колебания свойства, производится путем так называемого «скользящего статистического окна». «Окно» представляет собой некоторый интервал, откладываемый вдоль оси абсцисс, в котором производится усреднение нескольких (трех-пяти) измерений свойства, т. е. разбросанные точки заменяются одной. Благодаря этому получается плавная кривая изменчивости свойства.

Таблица 2

Вычисление значений σ и V при сглаживании кривой

(по П. Л. Каллистову)

Способ вычисления	σ	V
Обычный — через отклонения данных проб от среднего содержания	25,2	73,6
Через отклонения данных условных содержаний после одного сглаживания	21,3	62,2
То же после двух сглаживаний	20,7	60,4
То же после трех сглаживаний	21,9	63,9
То же после четырех сглаживаний	22,4	65,5

значений изменчивости свойств тела полезного ископаемого, выраженных коэффициентами вариации. Тем не менее использование V для приближенной оценки степени изменчивости того или иного свойства во многих случаях целесообразно.

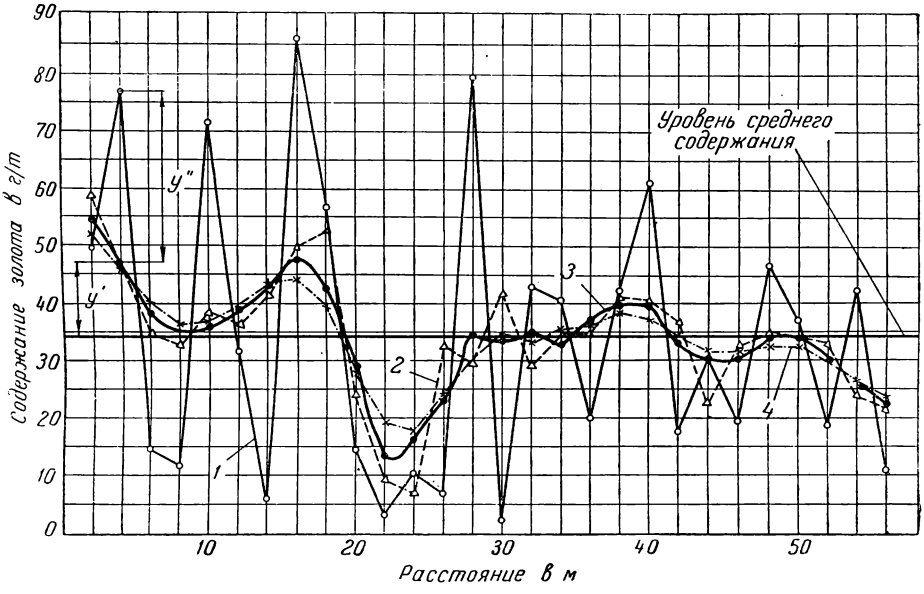


Рис. 3. Построение кривой регрессии (по П. Л. Каллистову)

1 — кривая, построенная по данным анализа; *2* — та же кривая после первого сглаживания; *3* — то же после второго сглаживания; *4* — то же после третьего сглаживания; *y'* — величина отклонения координированной изменчивости; *y''* — величина отклонения случайной изменчивости

Иногда бывает полезно иметь представление о некотором общем коэффициенте вариации, характеризующем суммарный эффект изменчивости нескольких свойств тела полезного ископаемого, например мощности (m), содержания (C) и объемного веса (d). В этом случае общий коэффициент вариации может быть найден из выражения

$$V_0 = \sqrt{V_m^2 + V_c^2 + V_d^2}\,. \qquad (4)$$

Ошибка определения средней величины. При определении средних величин в математике всегда учитывается погрешность (m), величина которой прямо пропорциональна среднеквадратичному отклонению ряда и обратно пропорциональна корню квадратному из числа

измерений[1]:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \qquad (5)$$

Эту погрешность удобно выражать в процентах по отношению к среднему арифметическому:

$$p = \pm \frac{m}{M_{ср}} \cdot 100\%. \qquad (6)$$

Из сравнения формул (1) и (5) следует:

$$\left.\begin{aligned} \sigma &= m\sqrt{n} = \frac{VM_{ср}}{100} \\ \text{или} \quad m &= \frac{VM_{ср}}{100\sqrt{n}} \end{aligned}\right\}. \qquad (7)$$

Подставив последнее выражение в формулу (6), получим:

$$\left.\begin{aligned} p &= \frac{V}{\sqrt{n}} \\ \text{или} \quad n &= \left(\frac{V}{p}\right)^2 \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Иными словами, число необходимых измерений прямо пропорционально квадрату коэффициента вариации и обратно пропорционально квадрату погрешности определения среднего арифметического. Это важное положение указывает на аналитически рациональные приемы определения характера и числа различного рода измерений и исследований в процессе разведки.

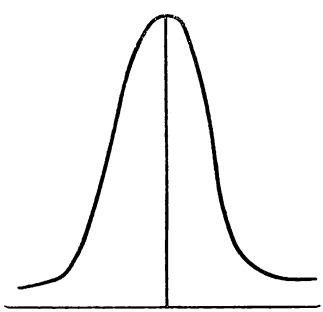


Рис. 4. Кривая нормального распределения

В уравнение (8) должен вводиться множитель t, характеризующий вероятность того, что ошибка определения среднего значения признака, найденного в результате серии наблюдений, не будет больше величины p. Тогда это уравнение принимает вид

$$p = \frac{tV}{\sqrt{n}}. \qquad (9)$$

При нормальном распределении значений признака (свойств) по закону Гаусса (рис. 4) каждому значению t соответствует определенная величина вероятности (табл. 3). Эта характеристика служит критерием надежности расчетов.

Таблица 3

Соотношение между значениями t и величиной вероятности

t	Вероятность в %	t	Вероятность в %
1	68,3	2,0	95,0
1,2	77,0	2,5	98,8
1,5	87,0	3,0	99,7
1,7	91,0		

К сожалению, в практике разведочного дела определение величины n наталкивается на значительные трудности в связи с тем, что статистическое распределение значений какого-либо свойства полезного ископаемого

[1] Вывод соотношения (5) и анализ причин погрешности можно найти в курсах теории вероятности и математической статистики (Романовский, 1939).

в большинстве случаев не следует закону нормального распределения (кривой Гаусса). Обычно статистическое распределение содержаний полезного компонента в рудах отличается резкой асимметрией относительно среднего содержания (рис. 5). Поэтому равновероятные положительные и отрицательные ошибки не равновелики, а равновеликие ошибки не равновероятны (Каллистов, 1956). Кроме того, при асимметричном распределении количества положительных и отрицательных отклонений неодинаковы. Все это не позволяет непосредственно использовать существующие формулы (или таблицы) нормального интеграла вероятностей.

В результате всего изложенного затрудняется использование коэффициента вариации в качестве меры изменчивости того или иного свойства полезного ископаемого, если статистическое распределение значений этого свойства сильно отклоняется от распределения Гаусса. В практике разведки известны случаи полного подчинения закону Гаусса (например, опробование руды в вагонах). Во многих случаях коэффициентом вариации целесообразно пользоваться для ориентировочных суждений.

К о э ф ф и ц и е н т к о р р е л я ц и и. Весьма важно отметить еще одну проблему, связанную с изменчивостью свойств полезного ископаемого. Дело в том, что, рассматривая месторождение в целом, можно наблюдать два рода изменчивости различных свойств. В одном случае изменения двух или нескольких свойств месторождения происходят более или менее согласованно, например: с уменьшением мощности рудного тела уменьшается (или увеличивается) и содержание металла в руде или с уменьшением содержания свинца уменьшается и содержание серебра в руде. В другом случае, напротив, изменения различных свойств происходят несогласованно (изменения мощности и содержания, изменения содержаний нескольких полезных компонентов и т. п.). В целях рационального ведения разведочных работ и получения достоверных результатов всегда желательно выяснить не только качественную сторону этих явлений (согласованность или несогласованность изменчивости свойств), но и количественные соотношения, позволяющие делать прогнозы и на основании этого более или менее достоверно интерполировать и экстраполировать значения тех или иных свойств полезного ископаемого в процессе разведки.

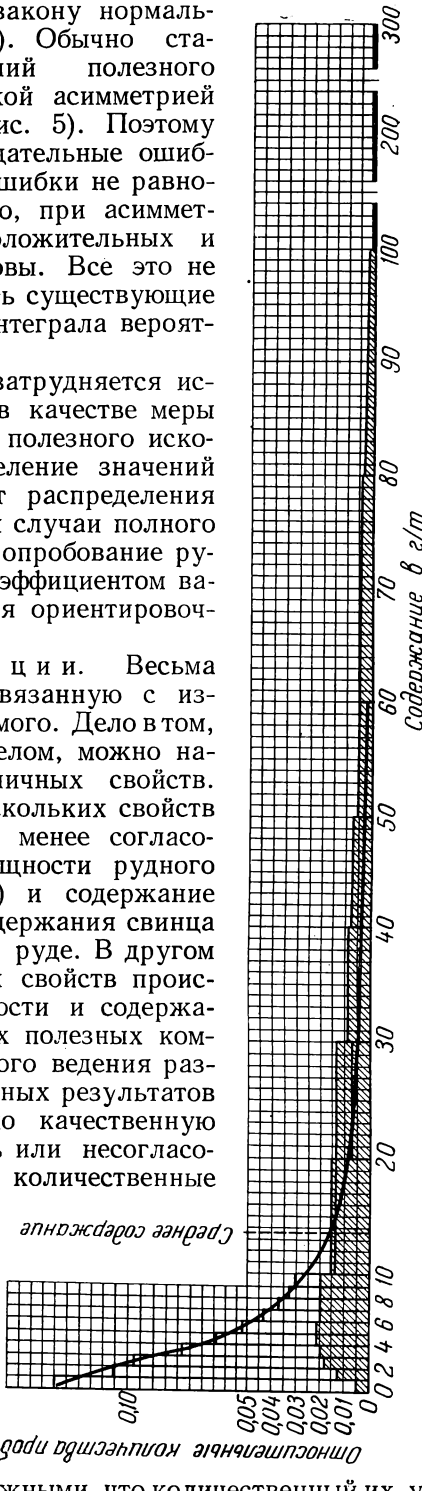


Рис. 5. Распределение значений содержания золота по жиле «М»

В большинстве случаев явления изменчивости различных свойств полезного ископаемого порождаются весьма разнообразными и многочисленными причинами, часто настолько сложными, что количественный их учет поддается лишь статистическим методам. В математической статистике проблеме выяснения связей между совместно наблюдаемыми явлениями посвящена специальная теория — теория корреляции (Романовский, 1939). Ниже кратко излагаются лишь некоторые выводы теории корреляции применительно к запросам разведочного дела.

В отличие от функциональной зависимости, когда каждому значению x соответствует одно определенное значение y, зависимость статистическая характеризуется тем, что всякому значению x соответствует не одно значение y, а некоторое распределение значений y, изменяющееся вместе с изменением x. Практически исследуются связи между некоторыми условными средними значениями одной величины и соответствующими значениями другой. Связь между условными средними значениями x и соответствующими значениями y называется корреляционной связью.

Мерой линейной связанности x и y служит коэффициент корреляции r. Когда $r = 0$, то значения x и y (а следовательно, и выражаемые ими свойства) не связаны между собой. При $r = \pm 1$ значения x и y находятся между собой в функциональной зависимости. Все значения коэффициента корреляции в промежутке между 0 и ± 1 характеризуют ту или иную степень их линейной статистической зависимости. Чем ближе r к ± 1, тем теснее связь между явлениями (свойствами); чем ближе r к нулю, тем связь между ними слабее.

Вычисление коэффициента корреляции может быть произведено несколькими путями. По теории математической статистики (Романовский, 1939) коэффициент корреляции двух свойств представляет собой отношение

$$r = \frac{\mu}{\sigma_x \sigma_y}, \tag{10}$$

где μ — некоторая величина (ковариация), полученная суммированием данных по двум рядам измерений $[\mu = \Sigma n_{h_i} (x_h - \bar{x})(y_i - \bar{y})]$;

σ_x, σ_y — среднеквадратичные отклонения соответствующих рядов измерений.

Один из употребительных способов вычисления состоит в следующем. С некоторыми упрощениями выражение r представляется в виде

$$r = \frac{\Sigma a_x a_y}{\sqrt{\Sigma a_x^2 \cdot \Sigma a_y^2}}, \tag{11}$$

где a_x — отклонения измерений от среднего значения для ряда измерений одного свойства;

a_y — отклонения измерений от среднего значения для ряда измерений другого свойства.

Для удобства определения $\Sigma a_x a_y$, Σa_x^2, Σa_y^2 составляют таблицы, в которые сводят значения измеренных свойств, вычисленные отклонения и произведения $a_x a_y$. Например, если хотят выяснить степень тесноты корреляционных связей между мощностью рудной жилы и содержанием в ней полезного минерала (металла), данные измерений и анализов оформляют, как показано в табл. 4[1].

Подставив полученные в таблице итоги в формулу (11), найдем величину коэффициента корреляции

$$r = \frac{\Sigma a_x a_y}{\sqrt{\Sigma a_x^2 \cdot \Sigma a_y^2}} = \frac{1146{,}3}{\sqrt{862{,}9 \cdot 2227{,}7}} = 0{,}92.$$

3. ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ФОРМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В отличие от предшествующих стадий геологоразведочного процесса с момента, когда месторождение вступает в период собственно разведки, оно подвергается изучению во всех трех измерениях пространства. Если в период поисков иногда намечается только контур месторождения в плане, а на поисково-разведочном этапе работы обычно затрагивают небольшой приповерхностный слой участка, занятого месторождением (не считая гео-

[1] Данные опробования заимствованы из книги В. И. Смирнова «Подсчет запасов минерального сырья» (1950).

Таблица 4

Вычисление коэффициента корреляции

№ пробы	Содержание золота			Мощность жилы			Произведения отклонений $a_x a_y$
	результаты измерений в $г/т$	отклонения от среднего содержания в $г/т$ a_x	квадраты отклонений a_x^2	результаты измерений в $см$	отклонения от средней мощности в $см$ a_y	квадраты отклонений a_y^2	
25	10,5	+1,59	2,53	32	+4,5	20,25	7,1
26	6,8	—2,11	4,45	36	+8,5	72,25	17,9
27	6,7	—2,21	4,84	35	+7,5	56,25	16,6
28	8,3	—0,61	0,37	28	+0,5	0,25	0,3
29	27,2	+18,29	334,40	48	+20,5	420,25	375,4
30	19,5	+10,59	112,34	56	+28,5	812,25	202,0
31	8,4	—0,51	0,26	22	—5,5	30,25	2,8
32	4,0	—4,91	24,00	20	—7,5	56,25	36,8
33	22,4	+13,49	182,10	16	—11,5	132,25	155,5
34	5,7	—3,21	7,04	20	—7,5	56,25	24,1
35	3,9	—5,01	25,10	26	—1,5	2,25	7,5
36	4,2	—4,71	22,12	18	—9,5	90,25	44,7
37	2,7	—6,21	38,46	20	—7,5	56,25	46,6
38	1,8	—7,11	50,55	14	—13,5	182,25	96,2
39	1,6	—7,31	54,34	12	—15,5	240,25	113,0
Сумма	133,9	—	862,9	413	—	2227,75	1146,3
Среднее	8,91	—	—	27,5	—	—	—

физических работ), то разведочные мероприятия направлены главным образом на раскрытие глубин месторождения с последующей корректировкой данных предшествующего приповерхностного изучения месторождения и увязкой их с данными, добытыми на глубине.

Таким образом, в процессе разведки весьма разнообразные формы месторождений более или менее полно обнаруживаются и в своих пространственных очертаниях. Основные формы месторождений неоднократно упоминались в главе о «промышленных типах» (см. первый раздел).

Структурные черты и обогащенные участки. Кроме получения общего представления о форме, весьма важной задачей, от решения которой зависит успех изучения как формы, так и размеров месторождения, является выяснение геологической структуры месторождения и в особенности тех структурных черт, которые часто определяют ход и результаты разведочного процесса. К ним относятся: рудные столбы, внутри- и послеминерализационные нарушения, тектонические нарушения, фациальные изменения, влияющие на морфологию и пространственное распределение полезного ископаемого, характер контактов.

Под названием «рудный столб» понимается участок руд значительно более высокого качества по сравнению с другими рудами данного месторождения. Нередко это и наиболее мощное скопление полезного ископаемого, выходящее за пределы средних величин мощности или поперечного сечения остальных частей месторождения.

Формы рудных столбов разнообразны, иногда рудному столбу можно присвоить название линзы, гнезда, куста, трубы. Понятие «рудный столб» не следует отождествлять с понятием «рудное тело»: рудный столб это лишь наиболее богатая часть рудного тела. С глубиной и по простиранию рудные столбы могут выклиниваться и вновь появляться в пределах одного и того

же рудного тела. И лишь иногда рудный столб и рудное тело оказываются ограниченными одними и теми же контурами.

В эндогенных месторождениях образование рудных столбов обусловливается тремя основными факторами: 1) структурными условиями, опре-

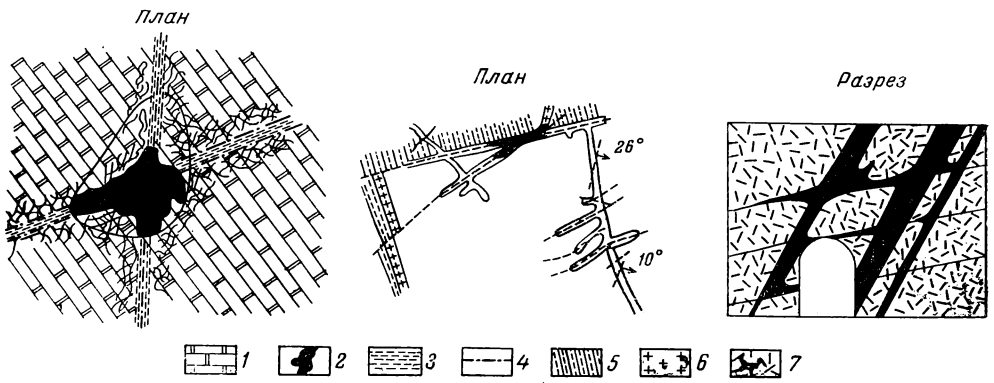


Рис. 6. Рудные столбы на пересечениях трещин

1 — известняки; *2* — рудные тела; *3* — тектоническая глинка; *4* — тектонические швы; *5* — кристаллические сланцы; *6* — пегматиты; *7* — эффузивные породы

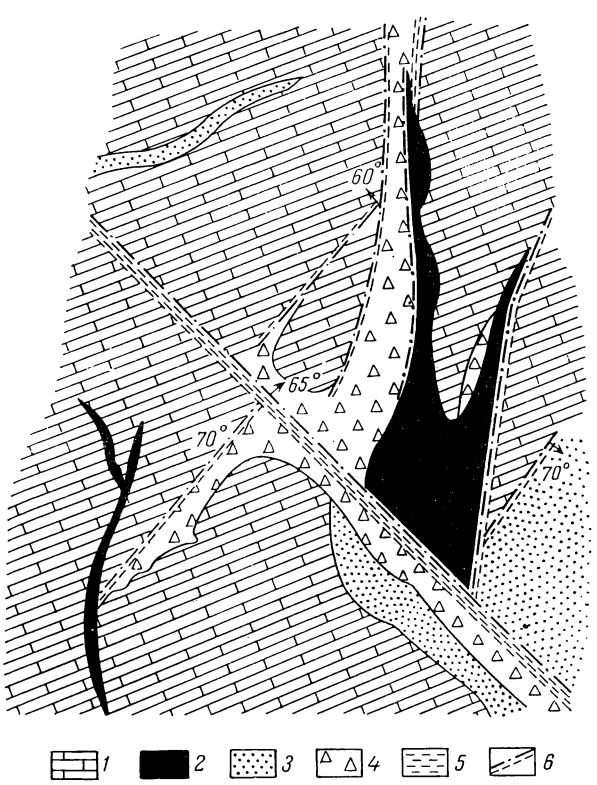


Рис. 7. Рудный столб в месте причленения оперяющей трещины

1 — известняки; *2* — рудные тела; *3* — участки окварцевания; *4* — зоны брекчирования; *5* — минерализованные тектонические швы; *6* — трещина с тектонической глинкой

деляющими появление открытых полостей; 2) характером рудообразующего раствора; 3) свойствами вмещающих пород.

Структурное разнообразие рудных столбов довольно велико и, вероятно, еще полностью не учтено. В работе «Структуры рудных полей и месторож-

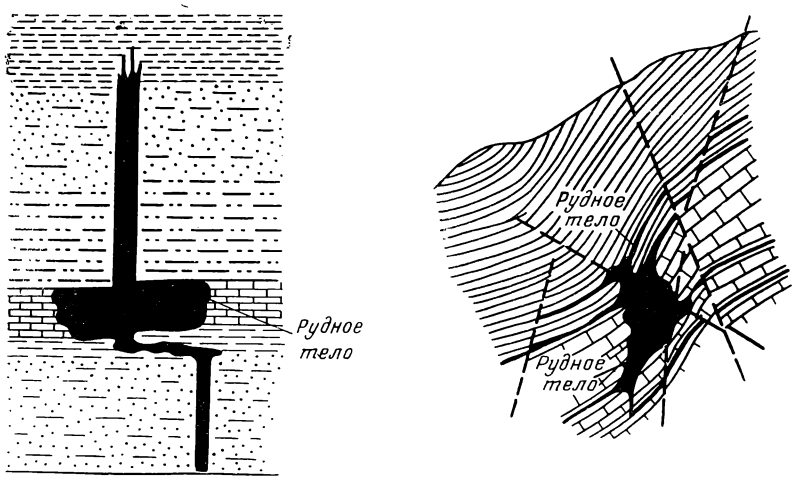


Рис. 8. Рудные столбы на пересечении трещиной породы, легко поддающейся метасоматозу

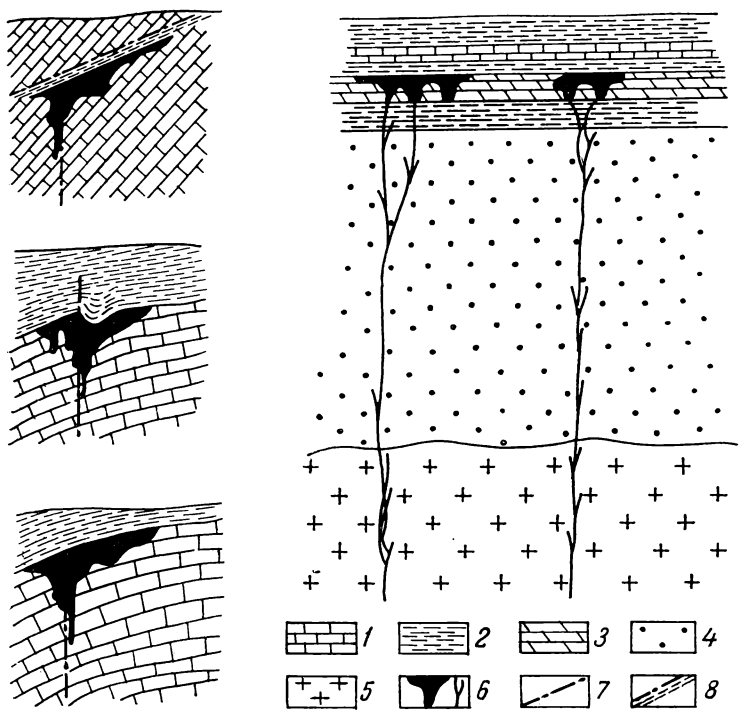


Рис. 9. Рудные столбы под покрышкой непроницаемых горных пород

1 — известняки; *2* — сланцы; *3* — доломиты; *4* — кварциты; *5* — граниты; *6* — руда; *7* — дорудные дизъюнктивные нарушения; *8* — то же с глинкой трения

дений» (Крейтер, 1956) выделено 14 структурных типов рудных столбов. Все эти типы для разведочных целей можно объединить по признаку рудовмещающей структуры в следующие шесть групп:

1. Столбы на участках приоткрывания сбросо-сдвиговых трещин.

2. Столбы в пунктах сопряжения или пересечения трещин. В этой группе можно различать: а) столбы в сопряжении и на пересечении рудоконтролирующих трещин (рис. 6); б) столбы в местах причленения оперяющих трещин к главной рудоконтролирующей трещине (рис. 7); в) столбы в стыке рудоподводящей трещины с экранирующей, возникшей вследствие заполнения тектонической глинкой поперечной трещины; г) столбы в коленчатых смещениях дорудной трещины.

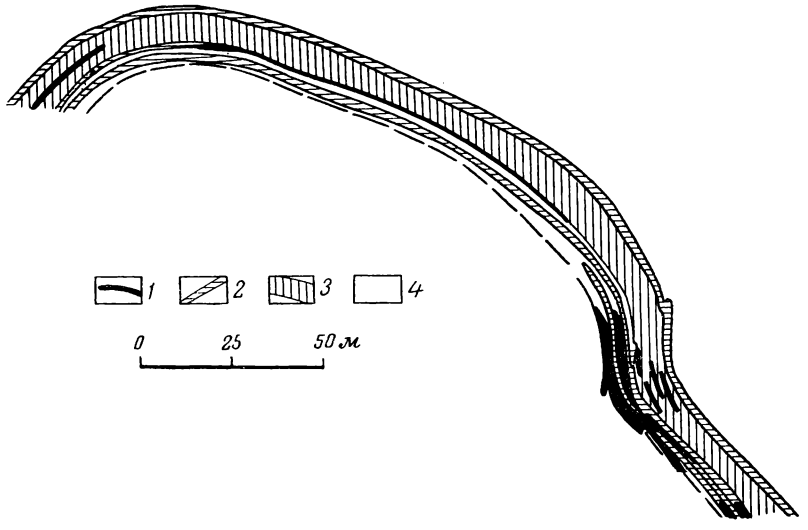


Рис. 10. Рудный столб в полости приоткрывания на крыле складки (по А. Бэллу)

1 — руда; *2* — сланцы; *3* — кварцит крепкий; *4* — кварцит

3. Столбы на участках пересечения трещиной благоприятных для рудоотложения горных пород. Здесь могут быть два основных случая: а) пересечение хрупких горных пород, приводящее к образованию широких пористых полостей, и б) пересечение горных пород, легко поддающихся метасоматозу и просачиванию растворов (рис. 8).

4. Столбы под покрышкой непроницаемых для рудоносных растворов горных пород (рис. 9).

5. Столбы на участках перехода рудовмещающей трещины в зону дробления.

6. Столбы в благоприятных элементах складчатых сооружений. Среди них типичны: а) столбы в виде седловидных или корытообразных залежей в шарнирах складок и б) столбы в полостях приоткрывания на крыльях складок (рис. 10).

Рудные столбы обычно легче обнаружить и проследить в процессе эксплуатации, т. е. в период работы рудничного геолога. Но «нацеливаться» на них нужно еще при разведке, тем более, что последняя во многих случаях ведется горными работами.

В большинстве случаев рудные столбы образуются не единовременно, а в несколько этапов (стадий), в результате последовательного отложения нескольких порций рудного вещества, иногда, видимо, в продолжение значительного времени. Такое постепенное накопление рудного вещества в месторождении происходит благодаря повторным подвижкам, сопровождаемым приоткрываниями трещин и других рудовмещающих полостей и именуемым внутриминерализационной тектоникой.

Роль внутриминерализационной, или внутрирудной, тектоники была подмечена еще М. В. Ломоносовым. Позднее К. И. Богданович (1912 г.), Г. Берг (1927 г.), С. В. Хьюлин (1929 г.) и другие исследователи доказали, что рудные жилы могут наращиваться путем заполнения периодически образующихся в них мелких трещин новыми порциями рудного вещества. А. Г. Бетехтин (1937 г.) наиболее полно осветил текстуры и структуры руд, возникающие в результате внутрирудной тектоники.

Нельзя не отметить, что внутрирудная тектоника за редкими исключениями подчиняется принципу унаследованности структур и поэтому выражается преимущественно в частичном оживлении старых нарушений и в подновлении элементов дорудной структуры.

В экзогенных месторождениях, таких, как залежи солей, осадочных железных руд, бокситов, силикатного никеля, песков, гравия и др., а также

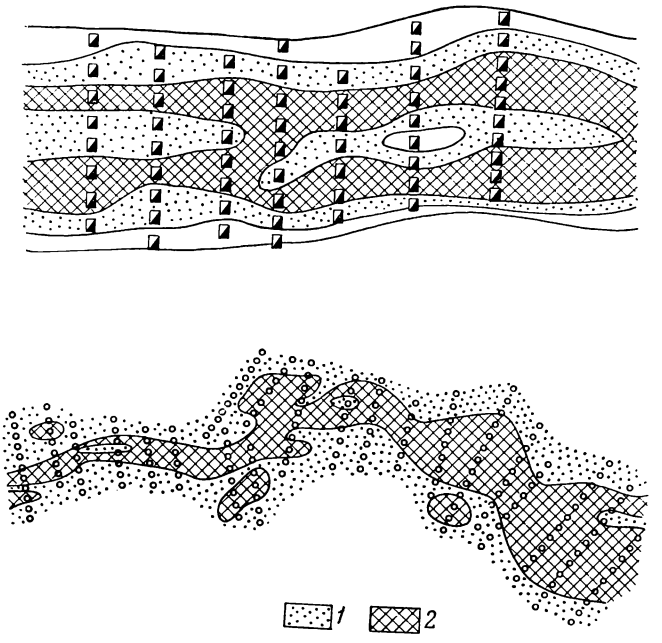


Рис. 11. Обогащенные «струи» в россыпях (по Купер-Конину)

1 —участки с убогим содержанием золота;
2 — богатая «золотая струя»

остаточные месторождения коры выветривания и россыпи, нередко имеются участки повышенной концентрации полезного ископаемого, образующиеся главным образом вследствие фациальной изменчивости осадконакопления. В некоторых случаях на их возникновение влияют процессы диагенеза и, возможно, регионального метаморфизма, вызывающие частичное перераспределение вещества в осадочных месторождениях.

Такие участки повышенной концентрации полезных компонентов в осадочных или осадочно-метаморфических месторождениях имеют такое же разведочное значение, как рудные столбы в месторождениях эндогенных. Поэтому изучение закономерностей осадконакопления, условий и причин, вызывающих подобные богатые скопления полезного ископаемого, являются важным элементом разведочного процесса.

Как структуры эндогенных рудных столбов, так и структуры обогащенных участков осадочных и метаморфических месторождений многообразны. Ценные столбоподобные участки экзогенных месторождений лучше изучены среди рыхлых отложений. Месторождения, представленные твердыми, уже диагенезированными телами полезных ископаемых и тем более прошед-

шие определенную стадию глубинного метаморфизма, менее изучены в отношении закономерностей, обусловивших местные повышения концентрации полезного ископаемого.

К наиболее распространенным видам обогащенных участков в экзогенных месторождениях относятся:

1. Рудные струи в россыпях, обусловленные древним рельефом и характером водных потоков (рис. 11). Струйчатое распределение богатых участков россыпи объясняется различными скоростями течения в разных частях потока, отлагавшего материал россыпи, который в свою очередь распределяется в зависимости от рельефа русла, характера плотика, от изменений режима переноса и отложения.

2. Линзы и пропластки среди лагунных песчано-глинистых отложений, сложенные высокосортными солями, ценной огнеупорной глиной, чистым кварцевым песком, сплошными массами гётита (железная руда).

3. Карманы, гнезда и другие подобные им скопления среди рыхлых отложений и в коре выветривания (рис. 12). Для аллювиальных россыпей

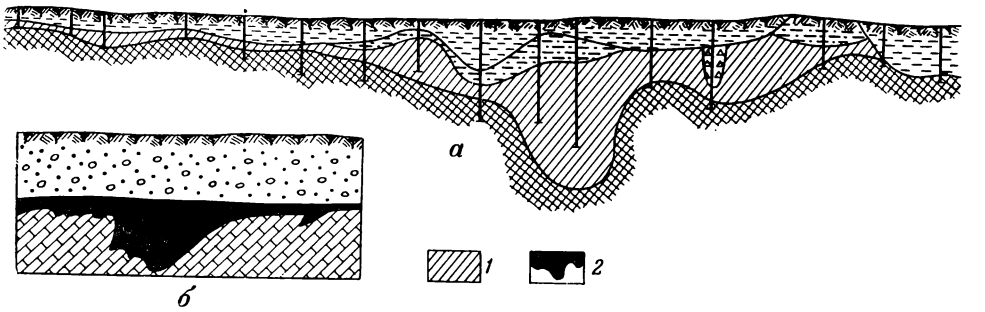


Рис. 12. «Карманы» экзогенных месторождений
а — никелевое месторождение коры выветривания; *б* — золотая россыпь; *1* — карман с никеленосной рудой; *2* — богатый золотоносный карман

большое значение имеют карстовые и другие углубления в плотике («корчаги»), часто выполненные богатыми песками. Для месторождений коры выветривания среди каолиновых накоплений и других экзогенных образований характерны богатые гнезда бокситов, силикатов никеля, магнезита и др. Сюда же следует отнести и различного рода обогащенные участки элювиальных и делювиальных россыпей. Иногда удается установить факторы, управляющие образованием таких обогащенных участков; это прежде всего микрорельеф поверхности, зоны трещиноватости и брекчирования, карсты.

4. Бугры и гряды, образованные скоплениями песков, галечника, торфа (озы, камы, друмлины, прибрежные валы, дюны и барханы). Все они обязаны своим происхождением исключительно условиям отложения, способствующим той или иной сортировке обломочного материала.

5. Соляные купола, формирование которых происходило под действием процессов, вызвавших выжимание солей в ослабленные зоны и образование мощных их скоплений.

Позднейшие тектонические нарушения разрывают и разобщают отдельные части тела полезного ископаемого, что затрудняет разведку таких месторождений. Возникает необходимость проходки дополнительных разведочных выработок в поисках оторванных частей тела полезного ископаемого. Вследствие дробления и засорения, наблюдаемого иногда в значительных участках тела полезного ископаемого, ухудшается его качество и усложняются горнотехнические условия эксплуатации.

Изменчивость формы. Наконец, весьма важным вопросом в процессе разведки является качественная и количественная характеристика изменчивости формы. Чаще всего изменчивость формы выражается через некоторые показатели колебаний мощности.

Большинство месторождений полезных ископаемых представлено телами с двумя длинными размерами и одним коротким (пласты, плиты, линзы, жилы). Для таких тел изменчивость формы удобнее всего выражать именно через колебания мощностей, так как два других размера обычно подвержены менее значительным колебаниям. Линия мощности почти всегда является направлением, в котором форма тела полезного ископаемого испытывает наибольшие изменения.

Реже встречаются тела полезных ископаемых в виде труб, ветвящихся и им подобных неправильных залежей, изменчивость формы которых неудобно выражать через колебания мощностей. Такие тела, обладающие иногда весьма интенсивной изменчивостью формы, следует изучать путем сопоставления площадей в системе каких-либо сечений тела (горизонтальных или вертикальных).

Часто изменчивость морфологических свойств носит плавный и непрерывный характер. Все изменения мощности, за исключением резких тектонических разрывов, могут быть отнесены к направленным, или координированным, изменениям, т. е. к таким, которые связаны определенной зависимостью. Во многих случаях изменения мощности тела полезного ископаемого являются практически закономерными, так как приращения мощности на некотором участке имеют постоянную величину и одинаковый знак. Это обстоятельство позволяет производить интерполяцию между пунктами измерений на основании прямолинейной функции $y = f(x)$.

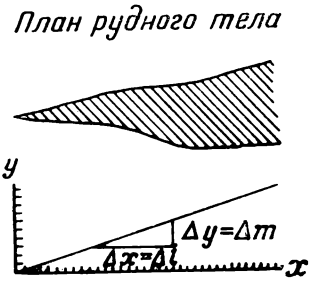


Рис. 13. Математическое выражение закономерной изменчивости формы

Следует иметь в виду, что изменчивость тел большой мощности, с правильными контактами, ближе к закономерной. Тела же маломощные, с неправильными контактными поверхностями, обладают изменчивостью, приближающейся к незакономерной (беспорядочной).

В случае закономерной изменчивости нет необходимости прибегать к математической статистике для выяснения интенсивности изменчивости. Закономерные (или близкие к закономерным) изменения формы могут быть выражены уравнением вида: $y=ax$ (рис. 13), где $a = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$. Отсюда $\Delta y = a\Delta x$ или, если обозначить Δx через Δl, а Δy через Δm (где Δl — отрезок длины рудного тела, а Δm — приращение мощности на этом отрезке), то

$$\Delta m = a\Delta l. \qquad (12)$$

В случае же беспорядочных, или случайных, изменений мощности или площади сечения какого-либо причудливого метасоматического тела, например полиметаллической залежи в известняках, изменчивость его формы может быть весьма приблизительно охарактеризована с помощью коэффициента вариации по мощности: $V_m = \frac{\sigma_m}{M_{\text{ср}}}\ 100\%$, или по площади сечения: $V_s = \frac{\sigma_s}{S_{\text{ср}}} \cdot 100\%$.

Нередко тела полезного ископаемого пережимаются, т. е. их мощность на каком-то интервале уменьшается до нуля. Так же часто месторождение бывает сложено серией параллельных кулисообразно расположенных рудных тел. Иногда месторождение представляет собой группу мелких гнезд, разделенных более или менее значительными интервалами пустых пород. Таким образом, во многих случаях не наблюдается непрерывности промышленной минерализации. В связи с этим возникло понятие о степени прерывистости минерализации, которая выражается коэффициентом продуктивности, или коэффициентом рудоносности.

Коэффициент продуктивности (рудоносности) может быть определен как отношение суммы площадей, занятых промышленной минерализацией, ко всей площади месторождения:

$$\gamma = \frac{\Sigma s}{S}. \qquad (13)$$

В тех случаях, когда за недостатком разведочных данных не удается определить величины площадей, можно получить менее точное значение коэффициента продуктивности из линейных соотношений по отдельным горным выработкам, направленным по простиранию или по падению тела полезного ископаемого:

$$\gamma' = \frac{\Sigma l}{L}, \qquad (14)$$

где Σl — сумма длин промышленных участков по выработке;
L — длина выработки.

4. ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Под качеством полезного ископаемого следует понимать его свойства, определяющие способность ископаемого удовлетворять потребности общественного производства. Качество полезного ископаемого является прямой функцией потребности народного хозяйства в данном ископаемом. Чем выше потребность и чем меньше возможности ее удовлетворения, тем худшие сорта полезного ископаемого вовлекаются в производство, и наоборот, с сокращением потребности и расширением возможностей сырьевой базы той или иной отрасли промышленности начинают использоваться лишь лучшие его сорта.

Понятие о качестве полезного ископаемого зависит также от технического прогресса и прежде всего от технологии переработки (если речь идет о руде) или от условий прямого использования минерального сырья (уголь, строительные материалы). Бывает, что промышленно ценный металл содержится в таких минеральных формах, которые при современном состоянии техники переработки не дают возожности его полностью извлечь (алюминий в глине, сурьма, молибден и цинк в окисленных рудах и т. п.). Но с развитием металлургии и усовершенствованием технологии переработки руд появляется возможность извлекать металлы из прежде недоступных руд (как это было, например, с извлечением никеля из силикатов, алюминия из алунитов, нефелина и т. п.), в связи с чем и качество этих руд оценивается уже по-другому.

Аналогичные примеры зависимости качества полезного ископаемого от уровня развития техники можно привести в отношении минерального топлива (горючие сланцы, обогащаемые угли), строительных материалов и других видов индустриального сырья.

Качество полезного ископаемого обычно определяется несколькими показателями, которые можно подразделить на два вида.

К первому виду относятся показатели, характеризующие содержание полезных компонентов и вредных примесей. Эти показатели выражаются для разных полезных ископаемых по-разному: в процентах, в граммах на тонну, в граммах на кубический метр. Для одних полезных ископаемых определяется содержание элементов (Cu, Pb, Au, Ni и др.), для других — содержание окислов (WO_3, Cr_2O_5, BeO) или минералов (графит, флюорит). Показателями первого вида оцениваются руды металлов, сырье для химической промышленности, угли, нефть и некоторые другие типы индустриального сырья.

Качественные показатели второго вида характеризуют физические свойства полезного ископаемого: размеры кристаллов или моноблоков, твердость, хрупкость, вязкость, эластичность, гибкость, крепость, морозостойкость, влагоемкость, кусковатость, удельный и объемный вес. Часть этих

показателей используется и при оценке руд, но главное применение они находят при качественной характеристике нерудного минерального сырья. Многие виды сырья оцениваются в зависимости от их специфических качественных показателей — сопротивления сжатию, коэффициентов электропроводности, теплопроводности, огнестойкости, прозрачности и т. п. Минеральное топливо оценивается по теплотворной способности (калорийности).

Таким образом, определение и оценка качества разведываемого полезного ископаемого представляют довольно сложную задачу, которую приходится решать несколькими способами, с применением различных методик исследования вещества.

Комплексность полезного ископаемого. Большая часть полезных ископаемых представляет собой комплексное минеральное сырье, т. е. содержит несколько ведущих полезных компонентов, не говоря уже о рассеянных элементах, и может быть использована в нескольких направлениях. Поэтому и исследования полезного ископаемого должны быть комплексными, т. е. в процессе этих исследований нужно определять как содержание полезных компонентов, так и их важнейшие физические свойства, чтобы можно было установить пригодность полезного ископаемого для использования в тех или иных отраслях промышленности. Особое внимание надо обращать на присутствие в рудах редких элементов или рассеянных, свойственных почти всем рудам.

Выяснение промышленного значения разнообразных полезных компонентов, находящихся в составе разведываемого полезного ископаемого, является первой, важнейшей задачей изучения качества полезного ископаемого.

Неоднородность месторождений и тел полезных ископаемых. Большинство месторождений, особенно рудных, имеют неоднородное строение, обусловленное различными природными факторами. Иногда в пределах месторождения можно встретить совершенно различные по вещественному составу рудные тела. Всякое рудное тело, за редкими исключениями, представляет собой сложное сочетание разнообразных минеральных скоплений, распределение которых иногда обусловливает образование слоистых, полосчатых, пятнистых, брекчиевидных, порфировидных и других текстур. В некоторых случаях распределение компонентов приводит к возникновению отдельных участков, обогащенных полезными минералами, и т. д. Реже встречаются тела, выполненные рудным веществом однородного сложения, но и в этих случаях удается установить изменение качества в направлении выклинивания тела по простиранию, по падению или по мощности.

Неоднородное строение месторождения и отдельного тела полезного ископаемого вызывает необходимость разделения всей его массы на природные типы и промышленные сорта[1]. При этом в одних случаях природный тип полезного ископаемого может соответствовать определенному сорту минерального сырья, в других — промышленный сорт включает в себя несколько природных типов полезного ископаемого, а в третьих — в составе природного типа различается несколько промышленных сортов.

Правильное разделение полезного ископаемого по природным типам и промышленным сортам также является весьма важной задачей разведки месторождения.

Причины неоднородности месторождений полезных ископаемых заключаются в их генетических особенностях, порождающих зональность, изменчивость качества и др. Целесообразно различать два вида зональности: 1) первичную, обусловленную особенностями процесса формирования месторождения, и 2) вторичную, вызванную экзогенными процессами окисления,

---

[1] Конечно, все руды — природные; здесь приведены два термина: «природные типы» и «промышленные сорта» — только для того, чтобы подчеркнуть важнейший факт — технологическую освоенность некоторых природных типов руд.

выщелачивания и переотложения элементов и соединений, слагающих месторождение.

Разгадка причин и выяснение характера как первичной, так и вторичной зональности играют большую роль в разведке месторождения, помогая понять закономерности распределения полезного ископаемого в пространстве, занимаемом месторождением.

Не менее важно изучать и текстурную неоднородность полезного ископаемого. Такое изучение, во-первых, позволяет правильно организовать опробование и, во-вторых, способствует выяснению технологических свойств полезного ископаемого, которые в конечном счете имеют решающее значение для оценки его качества. Минеральный состав и текстура руды обусловливают выбор способов и схемы обогащения. Крупность зерен и агрегатов полезного минерала предопределяет степень дробления руды в процессе обогащения. От текстурных особенностей полезного ископаемого зависит выбор способа опробования, а также методика их испытания.

Таким образом, детальное изучение минерального состава и текстурно-структурных особенностей полезного ископаемого является одним из важнейших звеньев изучения его качества.

Характер и степень изменчивости качества полезного ископаемого. Основным показателем качества для большинства видов полезных ископаемых является процентное содержание в них полезного компонента (или компонентов). По этому показателю и оцениваются как характер, так и степень изменчивости качества полезного ископаемого.

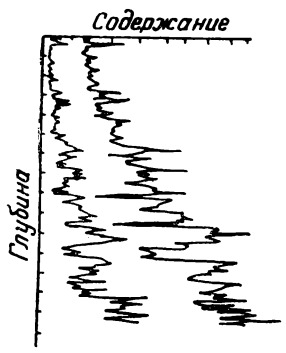


Рис. 14. График закономерной прерывистой изменчивости содержания с глубиной (по Д. А. Зенкову)

Изменчивость содержания полезного компонента часто носит прерывистый и скачкообразный характер. Нередко эта изменчивость беспорядочна, и ничто в ней не указывает на какую-либо закономерность вариаций (см. рис. 2). В иных случаях наблюдается некоторая закономерность, выражающаяся в общем убывании или возрастании содержания полезного компонента в определенном направлении при сохранении скачкообразного прерывистого характера изменчивости (рис. 14). В этих случаях характер изменчивости свидетельствует о комбинации двух видов изменчивости: случайной и координированной.

Интенсивность изменчивости содержания полезного компонента определяется по-разному в зависимости от характера изменчивости.

При беспорядочной изменчивости степень ее может быть найдена непосредственно с помощью коэффициента вариации.

При участии же координированных изменений в общей изменчивости полезного ископаемого они должны быть выявлены вначале путем построения кривой регрессии, как показано выше. Затем случайная изменчивость определяется путем вычисления разностей между данными анализов и ординатами кривой регрессии (см. рис. 3). Эти разности (y'') являются отправными величинами для определения условного среднего содержания $C'_{ср}=\frac{\Sigma C'}{n}$.

Так же с помощью величин C' и $C'_{ср}$ вычисляется среднеквадратичное отклонение аналитических данных от кривой регрессии ($\sigma_{c'}$). Полученный в результате коэффициент вариации $V_c=\frac{\sigma_{c'}}{C'_{ср}}\cdot 100\%$ будет характеризовать интенсивность случайной изменчивости без участия координированных изменений, а потому его значение будет наиболее близким к истинному.

Следует иметь в виду, что качество полезного ископаемого, характеризуемое не содержанием полезного компонента, а каким-либо другим свойством (твердостью, электропроводностью, прозрачностью и т. п.), очевидно,

также будет подчинено закономерной или локальной изменчивости и ее интенсивность может быть вычислена тем же путем, что и интенсивность изменчивости содержания.

При характеристике изменчивости качества полезного ископаемого может найти применение коэффициент корреляции r, с помощью которого можно оценить степень согласованности изменений каких-либо двух признаков: содержания различных металлов в рудах, или содержания полезного компонента и какого-либо физического свойства, или качества и формы и т. п.

Наличие корреляционных связей, например, между содержанием свинца и серебра в полиметаллических рудах позволяет с помощью коэффициента корреляции достаточно точно подсчитать запасы серебра в зависимости от запасов свинца, сократив число дорогостоящих химических анализов на серебро. Эта же зависимость помогает решать вопросы технологической переработки полиметаллической руды.

5. ВЫЯСНЕНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Одновременно с решением основных задач разведки — определением формы месторождения и качества полезного ископаемого — необходимо выяснить и некоторые важные условия деятельности будущего горного или горнометаллургического предприятия. Для этого требуется осветить прежде всего следующие вопросы:

1. Глубина и элементы залегания всех частей месторождения. Выяснение этих вопросов должно производиться с достаточной степенью точности. так как данные о глубине и элементах залегания месторождения определяют выбор способа вскрытия и отработки месторождения.

2. Физические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород. Главными физическими свойствами, подлежащими учету при разведке любого полезного ископаемого, являются: объемный вес, крепость, устойчивость, влагоемкость, кусковатость, коэффициент разрыхления, пыленосность, газоносность.

3. Гидрогеологические условия: обводненность месторождения и необходимая мощность водоотлива при будущей эксплуатации; ресурсы питьевой и технической воды.

4. Транспортные возможности как в отношении передвижения грузов на территории будущего предприятия (автодороги, железнодорожные ветки, подвесные канатные дороги и т. п.), так и в отношении связи с внешним миром (железнодорожные магистрали, водные артерии, авиалинии и т. п.).

5. Энергетические ресурсы и топливо, ТЭЦ, гидростанции, возможности заготовок и добычи местного топлива, условия завоза топлива из других районов. Напряженность энергетического баланса в районе и возможности расширения энергетической базы.

6. Виды местных строительных материалов и возможности их использования для промышленного и бытового строительства; крепежный лес.

7. Особенности экономического и бытового уклада населения района; экономический профиль района; смежные отрасли промышленности; рентабельность и направление сельского хозяйства района; возможности продуктивного снабжения будущего предприятия за счет местных ресурсов.

Из изложенного видно, что разведчику недр приходится в процессе разведки вникать в разнообразные вопросы от чисто геологических до специальных горнотехнических, технологических и экономических. Таким образом, разведка полезного ископаемого представляет собой сложный комплекс мероприятий, имеющих целью решение различного рода теоретических и практических задач.

ГЛАВА II

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ. ПРОСЛЕЖИВАНИЕ И ОКОНТУРИВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЦИПОВ РАЗВЕДКИ

Несмотря на большое разнообразие месторождений полезных ископаемых, в основу разведки любого месторождения 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.

Научной базой разведочного процесса служит геология во всем своем объеме. Учение о поисках и разведке, оторванное от других геологических наук, потеряло бы всякий смысл и не могло бы иметь практического значения. Поэтому изложение принципов разведки ведется с учетом того, что каждый из них и все они вместе построены на геологической основе и прежде всего на геолого-структурных представлениях.

В то же время учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых есть прикладная геологическая наука, выясняющая условия нахождения и способы наиболее эффективного выявления промышленных месторождений полезных ископаемых. Поэтому и само учение о поисках и разведке и практика геологоразведочного дела должны быть подчинены общему принципу социалистического хозяйства: народнохозяйственной целесообразности. В соответствии с этим рассматриваемые ниже частные принципы разведки опираются на общий принцип народнохозяйственной целесообразности.

При рассмотрении проблем разведки следует помнить, что мы имеем дело с природными телами, обладающими различной степенью изменчивости свойств, причем формы и распределение месторождений полезных ископаемых в пространстве, а также рудного вещества внутри месторождений подчиняются многообразным закономерностям. Задача выявления промышленных запасов полезного ископаемого довольно сложна, и успешно решить ее можно, лишь опираясь на основные положения разведки.

Такими основными положениями являются:

1) принцип полноты исследования;
2) принцип последовательных приближений;
3) принцип равномерности (равной достоверности);
4) принцип наименьших трудовых и материальных затрат;
5) принцип наименьших затрат времени.

Первый принцип отражает целевое назначение всяких разведочных работ, сводящееся в конечном счете к наиболее полному выявлению запасов полезного ископаемого. Два следующих принципа определяют методологию процесса разведки. Четвертый и пятый принципы учитывают технико-экономические возможности и условия определенного этапа развития общественных производительных сил. Иначе говоря, месторождение должно быть разведано полно, в разумной последовательности, равномерно, экономно и как можно быстрее.

Принцип полноты исследования выражается прежде всего в необходимости освещения с большей или меньшей детальностью всего пространства, занимаемого разведываемым месторождением. Несоблюдение этого принципа наносит ущерб народному хозяйству, так как приводит к излишним затратам или влечет за собой потери полезного ископаемого. В далеком прошлом нередко имела место частичная разведка месторождений, когда выдвигался случайный, кажущийся наиболее богатым участок месторождения и разведка этого участка велась одновременно с хищнической эксплуатацией (алтайские полиметаллические месторождения, медные колчеданы Урала и многие другие).

Зарегистрированы и в последнее время случаи детальной разведки отдельных участков месторождений, в то время как общие перспективы этих месторождений оставались невыясненными, а также случаи, когда отдельные детально разведанные участки оказывались неувязанными между собой.

Подобная разведка не может быть признана полноценной, так как она не освещает всех перспектив месторождения и поэтому не дает возможности правильно спроектировать его эксплуатацию. Все это ведет к необходимости повторной организации разведочных работ и вызывает перерасход средств. Отсюда вытекает первое требование принципа полноты: *обязательность оконтуривания всего месторождения.*

Само собой разумеется, что точность, с которой оконтуривается месторождение, может быть различной в зависимости от детальности исследования. Но уже в начальный период разведки для приближенного определения промышленных перспектив месторождения и для рационального планирования дальнейших разведочных работ необходимо иметь представление об общих масштабах и условиях залегания месторождения. Поэтому проблема оконтуривания всего месторождения имеет большое значение уже в самом начале разведочных работ.

Если месторождение состоит из нескольких тел полезных ископаемых, то оценка перспектив месторождения, определение характера и направления дальнейших разведочных работ вызывают необходимость более детального изучения объекта. Принцип полноты исследования в случае сложного месторождения требует *оконтуривания всех тел полезного ископаемого, составляющих месторождение.*

В некоторых случаях проблема оконтуривания становится особенно сложной,— например, когда приходится сталкиваться с рудным полем крупного масштаба, или с каменноугольным бассейном типа Донецкого, или с соляным бассейном типа Соликамского, или с мощными и протяженными толщами горных пород, используемых в качестве строительных материалов, и т. д. Задача разведочного оконтуривания такой весьма большой продуктивной площади, естественно, должна решаться по частям. Но и в этом случае целесообразно очертить общие контуры рудного поля или бассейна с помощью структурно-геологического картирования, геофизических или геохимических поисково-разведочных средств. Известны также месторождения полезных ископаемых, распространяющиеся на большие глубины — до нескольких километров. Оконтуривание таких месторождений на глубине должно проводиться опять-таки по частям, в соответствии с технической доступностью и экономической целесообразностью.

Небольшие тела — гнезда, линзочки, трубки, занорыши и погреба,— которые разведываются одновременно с добычей, предварительному оконтуриванию не подвергаются или иногда предварительно оконтуриваются лишь на поверхности. Полное их оконтуривание осуществляется в процессе эксплуатации с небольшим опережением добычи, а при очень малых телах — в едином разведочно-эксплуатационном процессе.

Оконтуривание месторождения в целом и оконтуривание отдельных тел полезных ископаемых, составляющих сложное месторождение, невозможно успешно осуществить без доброкачественного геологического картирования. Поэтому принцип полноты исследования предполагает в качестве непременной составной части геологоразведочного процесса геологическое картирование как на поверхности, так и под землей в соответствии с каждым этапом разведки.

Второе требование принципа полноты заключается в обязательности *полного пересечения тела полезного ископаемого разведочными выработками.* Только при условии полного пересечения тела полезного ископаемого можно установить его мощность, условия залегания, величину запасов полезного ископаемого, распределение различных типов и сортов руд в пределах рудного тела.

Если исключить из рассмотрения случаи небрежного ведения работ, то неполное пересечение зоны промышленного оруденения или какого-либо мощного тела полезного ископаемого может объясняться тем, что часто бывает трудно решить, где должна быть остановлена разведочная выработка.

Уместно напомнить, что тела полезных ископаемых, не имеющие отчетливых контактов — различного рода прожилково-вкрапленные руды, образующие штокверки, неправильные пластообразные и жилообразные залежи, у которых граница между рудой и пустой породой определяется только опробованием,—оконтуриваются с трудом. Большие осложнения при определении границ и внутреннего распределения полезного ископаемого вызывает многократно повторяющееся чередование его с пустыми породами («чересполосица»).

Принцип полноты исследования включает в себя также требование *всестороннего изучения качества полезного ископаемого*. Необходимость комплексного изучения рудных месторождений определяется прежде всего тем, что в природе почти нет мономинеральных руд. Большинство месторождений черных и цветных металлов и некоторые нерудные месторождения содержат несколько полезных компонентов, в том числе редкие и рассеянные элементы. В пределах месторождения какого-либо полезного ископаемого иногда присутствуют сближенные или пространственно обособленные скопления другого полезного ископаемого в боковых породах или в виде самостоятельных тел (уголь и огнеупорные глины, уголь и железные руды, железные руды и бокситы, полиметаллы и флюорит, полиметаллы и барит или гнезда ванадиевых руд и т. п.).

Проблеме комплексного изучения месторождений полезных ископаемых посвящено немало специальных исследований и ряд директив Правительства. Однако нельзя сказать, что в практике разведки достигнута желательная степень комплексности. Поэтому геологи нередко возвращаются к уже изучавшимся рудным полям с целью разведки ранее неучтенных полезных компонентов, а чаще всего для повторного анализа проб на большее число элементов.

Известно немало случаев, когда месторождение или отдельные его части признавались непромышленными вследствие того, что заключенные в них полезные минералы и металлы были недоступны для извлечения или полезные ископаемые не могли быть использованы ввиду несовершенства технологии переработки (окисленные руды сурьмы и молибдена, рассеянные сульфиды никеля в основных породах, медь в силикатах, нефелины и т. п.). Это вызывает необходимость уже в процессе разведки изучать технологические свойства полезного ископаемого.

При проведении дорогостоящих разведочных выработок всегда целесообразно использовать их для попутного выяснения гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических вопросов, чтобы предотвратить излишние затраты на эти виды исследований.

В заключение следует подчеркнуть, что принцип полноты исследования не преследует цели исчерпывающего, всеобъемлющего познания исследуемого месторождения. Неограниченная теоретическая возможность познания месторождения на практике лимитируется уровнем техники и соображениями народнохозяйственной целесообразности. Следовательно, принцип полноты исследования в геологоразведочном деле является понятием относительным, вытекающим из запросов практики.

Итак, принцип полноты исследования в процессе разведки базируется на необходимости относительно полного и всестороннего освещения всего месторождения. Он включает в себя четыре главных требования:

1) оконтуривание всего месторождения или всех тел полезного ископаемого, составляющих месторождение;

2) полное пересечение тела полезного ископаемого или рудной зоны разведочными выработками;

3) полное и всестороннее изучение качества основного полезного ископаемого и сопутствующих ему полезных минеральных скоплений как промышленных, так и временно непромышленных (забалансовых);

4) использование всех данных, полученных с помощью разведочных выработок, и других наблюдений для выяснения гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических особенностей месторождения.

Принцип последовательных приближений состоит в наращивании знаний о месторождении по определенным этапам. Он прямо связан с принципом полноты исследований. В результате разведки мы хотим и должны получить исчерпывающие данные о строении месторождения, о запасах и качестве полезного ископаемого, необходимые для проектирования и эксплуатации. Но сразу получить достаточно точные данные о месторождении практически невозможно, особенно в случае крупного или сложного месторождения. Об этом свидетельствует вся практика геологоразведочных работ.

Когда месторождение имеет сложную форму или когда на поверхности не удается установить элементы залегания тел полезного ископаемого, можно допустить крупные ошибки в заложении и направлении разведочных выработок. Поэтому прежде, чем приступить к систематической разведке месторождения с одновременным применением многих разведочных выработок, нередко приходится провести две-три различно ориентированные выработки с тем, чтобы установить необходимое направление всех остальных. Следовательно, разведка в таких случаях в силу необходимости производится по крайней мере в два приема, или в две стадии. Изменение условий залегания с глубиной может обусловить применение двух-трех или большего количества приемов.

Если не требуется или невозможно вводить в эксплуатацию все месторождение, то после его предварительного оконтуривания и оценки целесообразно выбрать для детальных разведок наиболее перспективный участок, который может эксплуатироваться в ближайшее время. В противном случае произойдет омертвление капитала, затраченного на преждевременную детальную разведку, как это было уже на многих месторождениях; например, на Баркинском месторождении огнеупорных глин детально разведаны запасы, обеспечивающие добычу почти на 400 лет.

Таким образом, процесс разведки неизбежно разбивается на стадии, в каждую из которых месторождение изучается с различной, все возрастающей детальностью. Эти этапы, или стадии, количество которых принципиально может быть велико, и создают цепь последовательных приближений в познании месторождения. В обычном случае разведки целесообразно различать четыре этапа. Но строго говоря, почти каждая новая разведочная выработка создает новый «этап приближения».

Первая стадия разведки, представленная поисково-разведочными работами, приуроченными преимущественно к поверхности, имеет целью установить промышленный тип и размеры месторождения, а значит и дать ему начальную, весьма приближенную геолого-промышленную оценку. На этой стадии производится первая отбраковка месторождений.

Вторая стадия — предварительная разведка — дает возможность определить условия залегания, приближенно наметить формы рудных тел и подсчитать общие запасы месторождения. На основании предварительной разведки обязательно производится промышленная оценка месторождения, естественно опережающая вложение средств в детальную разведку. Иногда по данным предварительной разведки можно составить задание на проектирование разработки месторождения.

На третьей стадии, при детальной разведке, с точностью, достаточной для составления технического проекта разработки месторождения, выясняется форма рудных тел, распределение различных сортов и типов полезног ископаемого и их качественная характеристика, подкрепленная исследо-

ваниями по технологии переработки, производятся гидрогеологические и инженерно-технические наблюдения.

Четвертая стадия — эксплуатационная разведка — продолжается до момента полной отработки месторождения. Она отличается наибольшей детальностью и точностью учета запасов различных сортов полезного ископаемого. Эта стадия разведки дает основание для производственного планирования добычи полезного ископаемого.

Стадии разведки, проверенные многолетней практикой, хорошо согласуются во времени с этапами промышленного освоения месторождения, начиная от первых шагов в его оценке и кончая заложением эксплуатационных выработок.

Принцип последовательных приближений в изучении месторождений полезных ископаемых достаточно прочно укоренился в практике геологоразведочных работ. Геологическая служба организуется в соответствии с этим принципом. В первый период изучения объекта действуют поисково-разведочные, часто сезонные партии. Затем в случае благоприятных результатов организуются стационарные геологоразведочные партии, осуществляющие вначале предварительную разведку месторождения. По мере накопления данных предварительной разведки становится яснее проблема промышленного освоения месторождения и начинается его детальная разведка, которая с момента начала добычи полезного ископаемого переходит в стадию эксплуатационной разведки, осуществляемой уже геологической службой рудника (шахты). Система отчетности и контроля строится также по принципу последовательных приближений в изучении месторождений полезных ископаемых.

Неправильно параллелизовать стадии геологоразведочного процесса с годовым или сезонным циклом работ. В одних случаях стадия предварительной разведки требует нескольких лет (Курская магнитная аномалия, каратауские фосфориты и др.). В других — при небольших размерах и простом геологическом строении месторождения — в течение одного сезона может быть выполнена и предварительная и даже детальная разведка.

Правильность этого принципа проверена многолетним опытом. Он выражается в том, что на каждой стадии изучения месторождения применяются специфические методики и технические средства: вначале, как правило, более простые, дающие только приближенные результаты, а затем более точные, но обычно более громоздкие.

Применение принципа последовательных приближений должно осуществляться с учетом особенностей каждого месторождения.

Принцип равномерности (равной достоверности) вытекает из необходимости более или менее равномерного освещения разведываемого месторождения.

Ясно, что если разведочные выработки будут сосредоточены на одном участке месторождения, а другие участки не будут вскрыты выработками, то правильное представление о формах и условиях залегания тел полезных ископаемых не может быть получено и, следовательно, одна из важнейших задач разведки не будет решена.

Ясно также, что если на одном участке месторождения тела полезного ископаемого подвергнутся опробованию, а на другом участке не будут опробованы, то получить правильное представление о качестве полезного ископаемого и о распределении его типов и сортов в пространстве не удастся и, следовательно, вторая важнейшая задача разведки не будет решена.

В основе этого принципа лежит положение о том, что природные тела полезных ископаемых характеризуются изменчивостью форм и качества, уловить которую можно лишь при более или менее равномерном распределении разведочных выработок и пунктов опробования в пределах пространства, занимаемого месторождением.

Следует, однако, предостеречь от упрощенного и формального понимания принципа равномерности. Применение этого принципа в геологоразве-

дочном процессе отнюдь не предполагает, что расстояния между разведочными выработками должны быть одинаковыми. Напротив, если тело полезного ископаемого в одном направлении, например по простиранию, обладает небольшой изменчивостью, а в другом, например по падению, изменчивость этих свойств значительно больше, то, естественно, разведочные выработки по простиранию целесообразно располагать реже, чем по падению.

Именно такое расположение разведочных выработок, отвечающее природным свойствам тела полезного ископаемого, обеспечит его равномерное освещение. И наоборот, расположение выработок на равных расстояниях в случае, когда тело полезного ископаемого обладает различной степенью изменчивости свойств в разных направлениях, обусловит неравномерность его освещения. В приведенном примере, когда по падению степень изменчивости свойств полезного ископаемого значительно больше, чем по простиранию, расположение выработок на равных расстояниях может привести к тому, что по простиранию густота выработок окажется достаточной или даже излишней, в то время как по падению такое же количество выработок не позволит выяснить морфологические и качественные особенности тела полезного ископаемого. Очевидно, правильное применение принципа равномерности возможно только на основе правильного понимания геологических особенностей месторождения.

В практике разведочных работ нередко одна часть месторождения находится в стадии детальной разведки, а другая подвергается еще предварительной разведке. Само собой разумеется, что в таких случаях расположение выработок в целом по месторождению не может быть равномерным. Но для всех участков, находящихся в одной стадии разведки, должна быть обеспечена равномерность в расположении выработок и точек отбора проб.

Детальность и достоверность исследований, отвечающие данной стадии разведки, а также приблизительная равноточность достигаются соответствующим расположением точек наблюдений и измерений. В простых случаях может быть принята равномерная сеть, но ее нельзя понимать геометрически.

Таким образом, принцип равномерности предполагает прежде всего равномерное распределение пунктов наблюдений в соответствии с характером изменчивости месторождения и в зависимости от стадии разведки отдельных его участков. Кроме того, этот принцип требует равной точности измерений различного рода, производимых на каждой стадии разведки. В противном случае получаются несоизмеримые результаты исследований как в отношении форм, так и в отношении качества полезного ископаемого, и, следовательно, задача разведки остается нерешенной.

В целях равномерного освещения месторождения необходимо на различных его участках применять равноценные по результатам технические средства разведки. Нельзя, например, разведать с одинаковой точностью один участок месторождения горными выработками, а другой геофизическими работами без проходки разведочных выработок. По той же причине применяемые методики исследования вещества должны быть равнозначны. Например, радиометрическое опробование, позволяющее определить содержание полезного компонента в руде, является равнозначным опробованию с химическими анализами. Напротив, электрометрические измерения, позволяющие отбить только границы рудного тела, но не дающие необходимых сведений о содержании в нем полезного компонента, не равнозначны опробованию с химическими анализами.

Итак, принцип равномерности предполагает выполнение следующих требований:

1) равномерное освещение разведочными выработками всего месторождения или отдельных его участков, находящихся в одной и той же стадии разведки;

2) равномерное распределение пунктов опробования в пределах разведочной выработки или участка месторождения;

3) применение на разных участках месторождения технических разведочных средств, дающих соизмеримые результаты;

4) применение равнозначных и равноточных методик исследования вещества.

Принцип равномерности может быть неправильно понят как полное признание существующих в практике формальных разведочных сеток.

Многие десятилетия разведка пользовалась способом аналогий, использующим опыт разведочных работ во всем мире. Отсюда заимствованы и принятые расстояния между выработками (искусственными обнажениями) в разведочных линиях и сетках. Естественно, что с ростом обеих ветвей науки о полезных ископаемых, т. е. с установлением разнообразных закономерностей, число необходимых выработок должно уменьшаться. Особую роль в этом процессе играет геофизика, прогрессирующая с каждым годом. Уже сейчас ясно, что во многих случаях современной разведочной практики проходка «плотных» сеток не оправданна.

Если в результате поисково-разведочных работ не получены какие-либо наводящие указания, нужно начинать разведку с наибольших допустимых расстояний между линиями и выработками по линиям. При наличии установленных по данным геолого-минералогического изучения (геологическая и геофизическая съемки, изучение выходов и т. д.) закономерностей разведочные выработки должны проходиться только в отдельных пунктах и служить задачам изучения вещественного состава полезного ископаемого, опробования, контроля и т. п. Но во всех случаях для составления разрезов необходимо, чтобы выработки лежали на разведочных линиях.

Настоящий период является переходным от множественных наблюдений (выработок) в разведке к немногочисленным. Но и отдельные выработки должны равномерно освещать изучаемый участок земной коры.

Принцип наименьших трудовых и материальных затрат предполагает, что количество разведочных выработок, количество проб и объемы всех видов исследований должны быть минимальными, но достаточными для решения задач разведки.

В практике геологоразведочных работ наблюдаются излишества, выражающиеся главным образом в проведении неоправданно большого количества разведочных выработок. Эти излишества порождаются, с одной стороны, тенденцией к перестраховке, а с другой, проведением повторных работ вследствие несоблюдения требований комплексного изучения месторождения или плохой геологической изученности объекта, а также формальным выполнением запланированных объемов работ.

К сожалению, не всегда удается достаточно точно определить необходимый минимум физических объемов геологоразведочных работ. Поэтому возникает явление «переразведки» месторождения.

Нужно признать, что теоретическая разработка данного экономического принципа разведки и административная практика его применения страдают существенными недостатками. Разведчики недостаточно хорошо ориентируются в вопросах экономики разведочного процесса. Например, важное понятие эффективности разведки до сих пор остается неопределенным. Некоторые инструкции порождают излишества, узаконивая повышенную густоту разведочной сети.

При рациональном применении принципа наименьших трудовых и материальных затрат в геологоразведочном деле можно сэкономить сотни миллионов рублей ежегодно. Таким образом, применение этого принципа в геологоразведочном процессе является делом большой государственной важности.

Принцип наименьших затрат времени выражается в необходимости проводить разведку в кратчайшие сроки. Этот принцип имеет большое значение в период предварительной и детальной разведки, когда действуют крупные самостоятельные разведочные организации, располагающие подсобными мастерскими и средствами транспорта и поглощаю-

щие большие средства. Нельзя не учитывать при этом, что геологоразведочные партии и экспедиции обладают относительно небольшим количеством производственных рабочих,— значительную часть в составе разведочной партии занимает инженерно-технический и административно-хозяйственный персонал. Поэтому всякое удлинение срока разведки ведет к заметному удорожанию работ, не говоря уже о задержке строительства будущего предприятия.

В осуществлении принципа наименьших затрат времени решающая роль принадлежит организации геологоразведочных работ: установлению рационального порядка проведения различных видов разведочных работ, четкой и слаженной работе всех звеньев разведочной организации по графику. Необходимо стремиться к тому, чтобы одновременно находилось в работе максимальное число разведочных выработок, заложение которых не зависит от результатов смежных или предыдущих выработок (контурные выработки, разведочные выработки на различных участках и на разных горизонтах и т. п.).

Принцип наименьших затрат времени приобретает особое значение, когда плановое хозяйство предъявляет требования к выявлению новых или дефицитных видов минерального сырья в короткие сроки. Конечно, в таких случаях почти неизбежно некоторое нарушение других рассмотренных выше принципов. Может, например, потерпеть ущерб принцип последовательных приближений или полноты исследований, так как в связи со срочностью работ не всегда можно обеспечить всестороннее изучение вещественного состава полезного ископаемого или полностью охватить какое-либо крупное месторождение. По той же причине могут быть произведены некоторые излишние затраты на проходку малообоснованных выработок и другие непроизводительные работы. Поэтому, хотя оба экономических принципа — принцип наименьших трудовых и материальных затрат и принцип наименьших затрат времени — основаны на экономии материальных средств, тем не менее при чрезвычайных требованиях к ускорению геологоразведочных работ принцип наименьших трудовых и материальных затрат уступает место принципу наименьших затрат времени.

Разумеется, отмеченные особые случаи должны рассматриваться с общегосударственных позиций или по крайней мере с точки зрения интересов соответствующей отрасли промышленности. Если недостаток разведанных запасов какого-либо минерального сырья задерживает выпуск продукции и вызывает простои индустриальных предприятий, то некоторые излишние затраты на срочное выявление запасов этого минерального сырья могут оказаться вполне оправданными. И тогда некоторый перерасход средств на геологоразведочные работы сэкономит значительные средства для всей отрасли промышленности в целом.

Итак, основные положения, вытекающие из принципа наименьших затрат времени, состоят в следующем:

1) геологоразведочные работы всегда целесообразно проводить в кратчайшие сроки, не нарушая других принципов разведки;

2) в особых случаях допустимо проведение геологоразведочных работ в сверхкороткие сроки с некоторыми отступлениями от других принципов разведки.

На первый взгляд некоторые принципы разведки противоречат друг другу. Так, требования принципа полноты исследования содержат в потенции стремление заложить максимальное количество разведочных выработок, чаще и в большем объеме отбирать пробы и производить другие разнообразные виды работ. С другой стороны, принцип наименьших трудовых и материальных затрат предполагает производство минимальных объемов геологоразведочных работ. Принцип последовательных приближений, предусматривая стадийность геологоразведочного процесса, как бы сдерживает темп разведки, что противоречит принципу наименьших затрат времени. Мож-

но указать и на некоторые противоречивые требования других принципов.

Однако при более внимательном рассмотрении устанавливается, что эти противоречия не носят антагонистического характера. Напротив, в борьбе противоречивых начал, например принципа полноты исследований и принципа наименьших трудовых и материальных затрат, создаются важные для практики понятия о необходимой и достаточной полноте исследований, об оптимальных плотностях разведочных сеток, об оптимальных интервалах опробования, а также нормы на различного рода измерения и исследования. Принцип последовательных приближений в сочетании с принципом минимальных затрат времени на каждой стадии разведки приводит к наиболее экономному ведению разведки в целом, и следовательно, оба принципа вместе подкрепляют принцип наименьших трудовых затрат.

Все названные принципы разведки находятся в тесной взаимосвязи. Только при правильном учете их противоречий и взаимосвязей можно обеспечить наиболее рациональное осуществление геологоразведочного процесса. Умением правильно сочетать требования этих принципов на базе тщательного анализа природных геологических закономерностей должен владеть каждый квалифицированный разведчик недр.

2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ

Понятие «методы разведки» в современной литературе и в обыденной практике толкуется довольно широко и иногда настолько вольно, что порой простейшим операциям геологоразведочного процесса присваиваются наименования методов. Нередко методами называют те или иные системы расположения разведочных выработок, откуда появились названия: «метод разведки линиями», «метод разведки квадратной сетью» и т. п. Иногда, подчеркивая особенности разведки месторождений тех или иных полезных ископаемых, пытаются присвоить каждому виду разведки наименование метода: «метод разведки угольных месторождений», «метод разведки строительных известняков», «метод разведки урановых руд» и т. п.

Когда говорится о специфике разведки слепых месторождений, иногда привлекается понятие «методы разведки слепых рудных тел». Довольно прочно вошло в обиход понятие «геофизические методы разведки», в содержании которого заложена трактовка применения различных геофизических средств для целей разведки. Говорят даже о «буровых методах разведки», о «методах разведки горными выработками» и т. п.

Исходя из самого определения понятия «метод» (способ познания, изучения, исследования явлений) его целесообразно присваивать, во-первых, таким разведочным мероприятиям, которые позволяют теоретически обоснованно решать главные задачи разведки; во-вторых, в понятии метода должно содержаться нечто общее, сопоставимое и приложимое к любому процессу разведки независимо от сложности и разнообразия применяемых технических средств; в-третьих, методом разведки можно называть только такие способы изучения месторождений, которые позволяют делать некоторые выводы о точности исследований.

Поэтому следует назвать основными методами разведки три общих для всякой разведки мероприятия, соответствующие трем главным звеньям геологоразведочного процесса: 1) создание системы разрезов; 2) опробование полезного ископаемого; 3) промышленная оценка месторождения (Бирюков, 1959).

Разведочные геологические разрезы представляют собой теоретически вполне обоснованный способ выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения. Разрезы могут быть вертикальными и горизонтальными, в соответствии с чем метод разрезов имеет три разновидности: а) метод вертикальных разрезов (рис. 15, *а*);

б) метод горизонтальных разрезов, или сечений (рис. 15, *б*); в) метод горизонтальных и вертикальных разрезов (рис. 15, *в*).

Кроме метода геологических разрезов, современная наука и практика не располагают сколько-нибудь надежными способами определения формы, внутреннего строения и условий залегания разнообразных тел полезных ископаемых. Способ изучения формы тела полезного ископаемого путем построения изолиний его поверхности менее совершенен по сравнению со способом разрезов, так как он не раскрывает внутреннего строения тела полезного ископаемого, геологического строения вмещающих пород и их соотношения с рудным телом. А изолинии мощностей, строго говоря, есть не что иное как контуры некоторых сечений (разрезов) тела полезного ископаемого, и поэтому между построением обычных разрезов по данным разведки и построением изолиний поверхности тела по тем же данным принципиальной разницы нет.

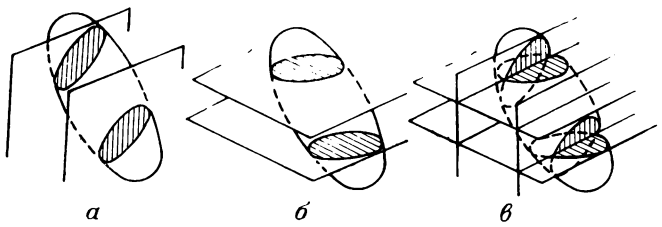


Рис. 15. Основные виды разведочных разрезов
а — схема вертикальных разрезов; *б* — схема горизонтальных разрезов; *в* — схема вертикальных и горизонтальных разрезов

Таким образом, первым основным методом разведки является метод геологических разрезов.

Разрезы могут создаваться по данным проходки горных выработок, буровых скважин и в некоторых случаях по результатам геофизических измерений. Если какое-либо из технических средств не обеспечивает возможности построения разведочного разреза, то оно непригодно для целей разведки.

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого. Иного способа для выяснения качества полезного ископаемого в процессе разведки не существует. В недавнем прошлом некоторые геологи иногда определяли качество полезного ископаемого приближенно, «на глаз», но это настолько несовершенный способ, что рассматривать его при современных технических требованиях не имеет смысла.

Таким образом, вторым основным методом разведки является метод опробования.

Как известно, опробование, кроме разведки, широко применяется и в других областях народного хозяйства, особенно в горном деле, в процессе переработки полезного ископаемого. Но в данной работе рассматривается только разведочное опробование как один из основных методов разведки.

Нельзя не отметить весьма перспективное направление в разведочном опробовании, предполагающее применение различных геофизических средств (радиометрия, магнитометрия) и люминесценции с целью определения качества полезного ископаемого непосредственно на месте его залегания. При успешном развитии эти способы смогут в известной мере заменить существующие способы отбора, обработки и химико-минералогических исследований массовых проб, требующие значительных затрат времени и средств.

Все минералогические, химические, физические и технологические методики исследования вещества являются способами испытания проб, но не методами опробования. Задачи науки о разведке в отношении опробования состоят прежде всего в выборе наиболее эффективных способов отбора

и обработки проб для различных типов полезных ископаемых, а затем в рациональном комплексировании различных способов испытания проб.

Промышленная оценка представляет собой способ определения промышленного значения месторождения, а следовательно, возможностей и условий его использования, по данным разведки. Оценка является необходимой и неизбежной составной частью разведки; разведку нельзя считать законченной, если в результате ее месторождению не дана оценка.

Промышленная оценка месторождения, вернее, оценочное сопоставление, не является только заключительным актом разведки; она сопутствует всему процессу разведки месторождения. Каждая новая разведочная выработка приносит новые сведения о размерах разведываемой залежи, о качестве полезного ископаемого, и данные этой выработки подвергаются немедленной оценке: определяются промышленные границы залежи, намечается сорт руды и т. п.

В основе способов социалистической оценки лежит понятие о народнохозяйственной целесообразности эксплуатации данного месторождения. Целесообразность же эта определяется путем сравнения данного месторождения с другими подобными месторождениями или путем сравнения элементов процесса его промышленного освоения (добычи, переработки и т. п.) с подобными элементами других горнопромышленных предприятий.

Из этого следует, что оценка месторождения полезного ископаемого носит сравнительный характер. Таким образом, третий основной метод разведки — метод промышленной оценки — является методом сравнительным.

Итак, учение о разведке месторождений полезных ископаемых и практика разведочных работ на современном уровне развития производительных сил располагают тремя основными методами познания месторождений:

1) методом геологических разрезов с его разновидностями — методами вертикальных, горизонтальных, а также тех и других разрезов;

2) методом опробования;

3) методом оценочного сопоставления.

Для осуществления этих методов в арсенале современного разведчика, кроме различных геологических подходов, имеются разнообразные технические средства: горные выработки, буровые скважины, геофизические измерения, минералогические и химические анализы.

В соответствии с задачами каждой стадии разведочных работ могут применяться те или иные средства разведки, всегда направленные на создание системы разрезов пространства, занимаемого месторождением, на опробование полезного ископаемого и на выяснение всех прочих данных, необходимых для промышленной оценки месторождения.

3. ОСНОВНЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ВИДЫ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. РАЗВЕДОЧНЫЕ РАЗРЕЗЫ

Все тела полезных ископаемых по геометрическому признаку подразделяются на три основных морфологических вида.

Первый вид, представленный телами с одним коротким и двумя длинными размерами, включает горизонтальные, пологие и крутопадающие пласты и пластообразные залежи. К этому же виду относятся жилы, линзы и другие плоские тела. Этот вид тел имеет в природе наибольшее распространение.

Ко второму виду тел — с одним длинным и двумя короткими размерами — относятся трубы и подобные им по формам тела.

К третьему виду принадлежат тела, более или менее изометрические или близкие к изометрическим; это крупные штокверки и массивы или небольшие гнезда, карманы, погреба и другие мелкие тела.

Каждый из указанных морфологических видов тел полезного ископаемого требует различного подхода к разведке: различной пространственной ориентировки разведочных разрезов, а нередко и различного способа опробования.

Практически разведочный процесс сводится к прослеживанию и оконтуриванию тел полезного ископаемого и всего месторождения в целом. Это было установлено еще И. С. Васильевым (1929) в период формирования первых теоретических основ разведочного дела. Действительно, уже в поисково-разведочной стадии начинается прослеживание полезного ископаемого на поверхности, а полностью оно заканчивается на глубине в период эксплуатации месторождения.

Прослеживание и оконтуривание тела полезного ископаемого начинается с получения элементарных представлений о его формах, а затем эти представления постепенно уточняются. Понятия «прослеживание» и «оконтуривание» применимы к разведочным работам на полезное ископаемое любого типа и предполагают постепенность развития и уточнения представлений о разведываемом объекте.

Необходимость прослеживания и оконтуривания тел полезных ископаемых вытекает из принципа полноты исследования. В то же время эти основные элементы разведочного процесса опираются на другие принципы разведки— принцип последовательных приближений, принцип равномерности и принцип минимальных трудовых и материальных затрат.

В соответствии с принципом полноты исследования разведочные выработки должны полностью пересекать тело полезного ископаемого, чтобы освещать морфологические и качественные особенности этого тела в данном направлении на всем его протяжении. Ряд смежных выработок дает возможность путем построения разрезов осветить уже некоторый участок (объем) месторождения или отдельного тела полезного ископаемого. Расположение нескольких смежных выработок всегда предпочтительно выбирать такое, которое позволяет построить по ним разрез. Поэтому разведочные выработки должны располагаться по возможности в одной плоскости, т. е. в плоскости намечаемого разреза.

Ориентировка разведочных разрезов должна быть такой, чтобы по ним можно было достаточно отчетливо видеть форму, элементы залегания и внутреннее строение тела полезного ископаемого, а также соотношение его с боковыми породами. Очевидно, наиболее отчетливое представление обо всех этих особенностях тела полезного ископаемого может быть получено тогда, когда в разрезе будут более или менее полно отражены изменчивость формы и изменчивость качества тела полезного ископаемого, а также изменчивость условий его залегания. Поэтому первым условием ориентировки разведочных разрезов является соблюдение правила: *разведочные выработки (и разрезы) должны ориентироваться по линиям максимальной изменчивости свойств тела полезного ископаемого*. Только такая ориентировка выработок позволит построить разрез, отражающий степень и характер максимальной изменчивости тех или иных свойств полезного ископаемого.

Обычно направление максимальной изменчивости тела полезного ископаемого совпадает с линией его мощности. Поэтому в большинстве случаев разведочные разрезы ориентируются вкрест простирания тела полезного ископаемого или рудной зоны. (Это положение относится к телам первого морфологического вида, наиболее распространенного в природе.)

Тела второго морфологического вида (трубы и вытянутые штоки) разведываются системой разрезов, ориентированных по-разному в зависимости от положения тела в пространстве. Горизонтальные или пологие трубы, имеющие определенную протяженность, должны рассекаться вертикальными разведочными разрезами вкрест простирания (вернее, протяжения), как и тела первого морфологического вида, ибо максимальная изменчивость свойств трубообразного тела полезного ископаемого чаще всего имеет место

в поперечном направлении. Крутопадающие трубы целесообразно рассекать горизонтальными разрезами.

Изложенное позволяет сформулировать второе правило ориентировки разведочных разрезов: *плоскости разведочных разрезов ориентируются поперек наиболее длинного размера тела полезного ископаемого.* Исключение составляют некоторые сложные по строению тела полезного ископаемого, в которых линия наибольшей изменчивости свойств резко отклоняется от линии, лежащей вкрест простирания. В этом случае разведочные выработки и разрезы могут ориентироваться по направлению простирания (по простиранию вмещающей дайки, но вкрест простирания жилок). Примеры такого рода сложных тел можно видеть на Березовском золоторудном месторождении (рис. 16).

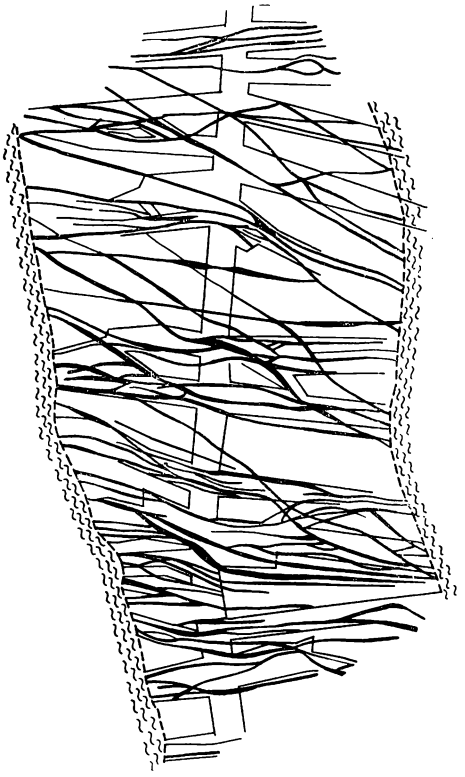


Рис. 16. Участок Березовской золоторудной дайки

Тела, принадлежащие к третьему морфологическому виду, часто не обладают отчетливо выраженным простиранием и имеют более или менее одинаковые размеры во всех трех измерениях. В таких случаях ориентировка разведочных разрезов (и выработок) должна производиться с учетом видимой полосчатости или как-то иначе выраженной изменчивости качества полезного ископаемого. Если же изометричные тела к тому же не обладают закономерной изменчивостью качества ни в каком направлении, являясь телами «изотропными»[1], то для них ориентировка разведочных разрезов безразлична и может определяться техническими соображениями.

Обычно в таких случаях строится система взаимно-перпендикулярных разрезов.

Разведочные разрезы являются более точными построениями по сравнению с другими геологическими разрезами. Точность разведочных разрезов зависит от двух обстоятельств: 1) от сложности геологического строения месторождения и 2) от применяемых средств разведки (например, от качества пробуренных разведочных скважин).

Д. А. Зенков рекомендует оценивать относительную точность разведочных разрезов ввиду того, что определение абсолютной их точности представляет весьма сложную и лишь приближенно (и то далеко не всегда) решаемую задачу. Им предложены две шкалы относительной точности разрезов, первая — в зависимости от геологических особенностей месторождения (табл. 5), вторая — в зависимости от техники разведки. Соответственно и точность разрезов определяется двояко: «точность геологическая» и «точность разведочная» (правильнее было бы именовать: «разведочная» и «техническая»).

Если разведочная выработка проводится по простиранию или по падению тела полезного ископаемого, которое укладывается в габариты выра-

[1] Термин «изотропные» для тел полезного ископаемого, характеризующихся малой и более или менее одинаковой изменчивостью качества во всех направлениях (как и термин «анизотропные»), предложен Д. А. Зенковым.

ботки, то контуры этого тела определяются наиболее точно. И разрез, построенный по данным проходки такой выработки, относится к первой категории. Менее точны контуры тела полезного ископаемого, показываемые на разрезах, которые строятся с помощью интерполяции.

Таблица 5

Шкала относительной геологической точности разрезов

Категория точности	Характеристика разрезов по способу построения
I	Разрезы, построенные при помощи непрерывного прослеживания контуров рудных тел
II	Разрезы, построенные при помощи одновариантной геологической интерполяции
III	Разрезы, построенные при помощи прямолинейной одновариантной интерполяции
IV	Разрезы, построенные при помощи одновариантной двойной интерполяции (производные разрезы)
V	Разрезы, содержащие элементы многовариантной интерполяции
VI	Неувязывающиеся однозначно производные разрезы, построенные при помощи двойной интерполяции
VII	Разрезы, на которые нанесены только данные по разведочным выработкам вследствие невозможности их взаимной увязки
VIII	Разрезы, построенные методами ограниченной экстраполяции
IX	Разрезы, построенные методами неограниченной экстраполяции

При разведке месторождений сложного строения фактический материал часто допускает построение разведочных разрезов в нескольких вариантах (рис. 17), а иногда данные разведочных выработок в таких разрезах вовсе не увязываются. Это разрезы V, VI и VII категорий точности. VI и IV категории точности возникают в результате так называемой двойной интерполяции, когда какой-либо разрез строится не по данным разведочных выработок, а на основании уже составленных с помощью интерполяции разрезов, например, когда по горизонтальным разрезам составляются вертикальные или наоборот. Наименее точны, естественно, те разрезы, которые строятся с применением экстраполяции — VIII и IX категорий. Сущность ограниченной и неограниченной экстраполяции и наиболее употребительные приемы экстраполяции рассматриваются ниже.

Большое влияние на точность разрезов оказывают применяемые для разведки технические средства. Разрезы, построенные по горным выработкам, точнее разрезов, построенных на основании буровых скважин, а эти последние в свою очередь значительно различаются по точности в зависимости от качества буровых работ и сопутствующих им измерений (каротаж и замеры искривлений буровых скважин,— см. главу III «Технические средства и системы разведочных работ»).

4. РАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК (РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ)

Серия разведочных выработок, по которым можно построить разрез, обычно располагается вдоль некоторой разведочной линии, образующейся в пересечении плоскости разреза с дневной поверхностью или с плоскостью, в которой лежит тело полезного ископаемого. Разведочные линии почти всегда проходят вкрест простирания продуктивных свит, рудных зон или отдельных крупных тел полезного ископаемого. При резком изменении простирания продуктивных толщ или зон ориентировка разведочных линий также соответственно меняется. Таким образом, практически могут быть встречены два вида взаиморасположения разведочных линий: параллельное и разноориентированное. Пересечение разведочных линий образует разведочную сеть (рис. 18).

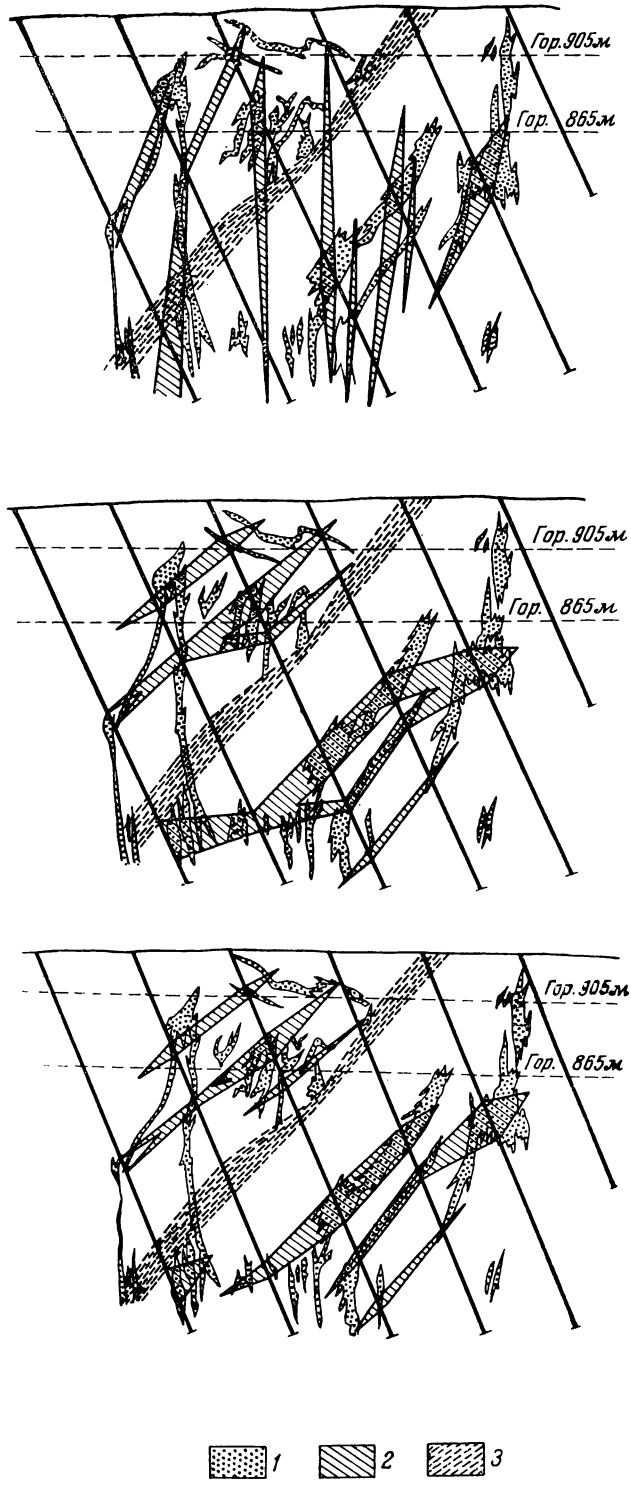


Рис. 17. Возможные варианты построения контуров морфологически сложных рудных тел по одним и тем же разведочным данным (по Д. А. Зенкову)

1 — истинные сечения рудных тел; *2* — сечения рудных тел, полученные путем интерполяции; *3* — зоны нарушений

Первоначально разведочная сеть применялась для месторождений, не имеющих явно выраженного простирания и падения (горизонтально залегающие пласты и изометрические тела). Для всех других тел применялось расположение разведочных линий вкрест простирания.

Различные разведочные сетки используются на различных природных типах месторождений полезных ископаемых. Так, сеть параллельных разведочных линий предназначается для сильно вытянутых в одном направлении тел полезных ископаемых со значительно большей изменчивостью качества в поперечных направлениях по сравнению с продольными (россыпи, горизонтальные трубы). Квадратная сеть, позволяющая составлять две

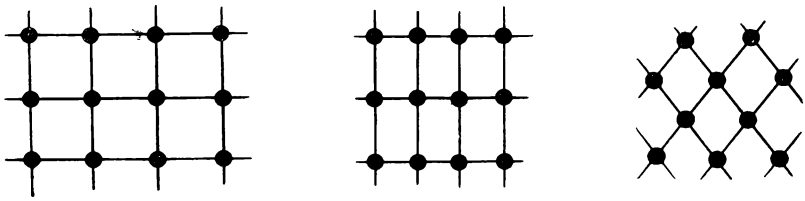


Рис. 18. Правильные разведочные сети
а — квадратная; *б* — прямоугольная; *в* — ромбическая

серии взаимно-перпендикулярных разрезов (по сторонам и по диагоналям) и обладающая наибольшей равномерностью расположения выработок, весьма удобна, особенно в начальный период, для разведки пластовых месторождений, близких к горизонтальным, и штокверков, особенно «изотропных».

Прямоугольную разведочную сеть с вытянутой ячейкой целесообразно применять для тел и месторождений полезных ископаемых, обладающих различной степенью изменчивости в двух главных направлениях. При этом длинная сторона прямоугольника должна быть ориентирована в направлении наименьшей изменчивости тела, а короткая — в направлении наибольшей. Условия применения ромбической сети — промежуточные между условиями для квадратной сети (изотропность) и прямоугольной (отчетливая анизотропность). Кроме того, ромбическая сеть по сравнению с квадратной более экономична, так как при одинаковых расстояниях между выработками требует меньшего их числа на единицу площади.

Нередко в процессе разведки одна сеть переходит в другую: квадратная в прямоугольную или ромбическую, прямоугольная в ромбическую. Ведущей, основной, нужно считать квадратную сеть.

Применение разведочных сеток с определенным расстоянием между выработками основано на практике десятилетий и является типичной разведкой «по аналогии». Вероятно, разведочные сетки будут применять еще многие годы. Следует помнить, что для создания разрезов необходимо, чтобы разведочные выработки всегда располагались на линиях. Даже в будущем, с ростом учения о поисках и разведке и особенно разведочной геофизики, когда глубокие разведочные выработки будут задаваться лишь в единичных пунктах, последние должны будут в совокупности составлять разведочную линию.

5. ОКОНТУРИВАНИЕ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Способ оконтуривания тела полезного ископаемого зависит от его морфологического вида и положения в пространстве. Плоские тела — жилы, линзы, пласты — при пологом залегании оконтуриваются в плане, при крутом — в вертикальной проекции. Наклонные тела удобно оконтуривать и в их собственной плоскости, особенно в тех случаях, когда они имеют средний

угол падения (40—50°). Трубообразные тела также оконтуриваются обычно в плане (пологие) или в вертикальной проекции (крутые). Изометричные тела полезных ископаемых могут оконтуриваться в любой плоскости, но обычно в силу ряда технических причин их удобнее оконтуривать в плане.

Все сказанное относительно оконтуривания тел полезных ископаемых справедливо для любых продуктивных зон и площадей.

В порядке убывающей точности различаются три способа оконтуривания: 1) непрерывное прослеживание контактов (на поверхности или в горных выработках, пройденных по простиранию тела), 2) интерполяция контактов (когда проводятся условные линии контуров между смежными разведочными выработками) и 3) экстраполяция контактов (когда линии контуров проводятся весьма приближенно за пределами разведочных выработок). Различная точность оконтуривания обусловливает и различную геологическую точность разведочных разрезов, и различную точность нанесения границ тел полезных ископаемых или месторождения в целом на графические документы.

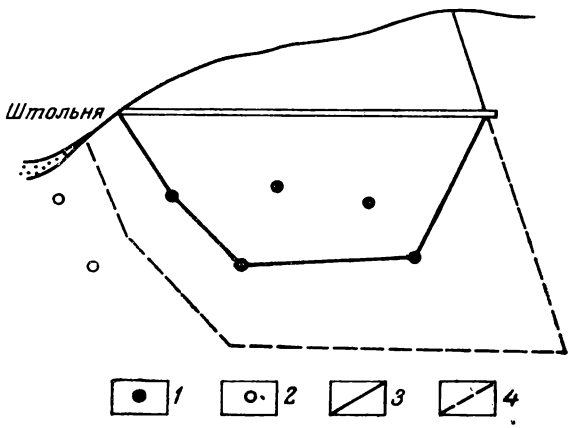


Рис. 19. Оконтуривание крутопадающего тела полезного ископаемого в проекции на вертикальную плоскость

1 — точки пересечения тела полезного ископаемого скважинами; *2* — скважины, не встретившие полезного ископаемого; *3* — линия внутреннего контура; *4*—линия внешнего контура

Непрерывное прослеживание контактов удается осуществить при маломощных телах полезного ископаемого путем проведения горных выработок по простиранию или по падению пласта, жилы, линзы. Реже мощные и ценные залежи полезного ископаемого оконтуриваются парой горных выработок (штреков), закладываемых вдоль обоих контактов. Иногда трубы и изометричные тела оконтуриваются на каком-либо горизонте кольцевым штреком, идущим по контакту. Очень редко контуры тела бывают видны при геологическом изучении выходов (обрушения, оседания, выклинивания и др.).

В большинстве случаев в процессе разведки контуры месторождений и тел полезного ископаемого в интервалах между соседними выработками в каждом разрезе и между соседними разрезами проводятся путем интерполяции. В краевых частях месторождений, на флангах и на глубине, ниже самых глубоких разведочных выработок, вскрывших полезное ископаемое, производится экстраполяция. При этом проводятся внешний и внутренний контуры (рис. 19).

Внутренний контур проводится по методу интерполяции через крайние выработки, пересекшие тело полезного ископаемого, и является надежным в смысле достоверности, хотя обычно несколько преуменьшает размеры тела. Внутренний контур характеризует гарантированные размеры тела полезного ископаемого (месторождения) в пределах разведанной площади.

Внешний контур проводится за пределами разведочных выработок, вскрывших тело полезного ископаемого, и характеризует предположения исследователя о естественных границах тела полезного ископаемого. Точное положение естественных границ на флангах и на глубине чаще всего остается неизвестным до окончания разработки месторождения. Отсюда вытекает главная задача разведки в отношении изучения формы: возможно более достоверное определение естественных границ (контуров) тела полезного ископаемого. В зависимости от способа экстраполяции разведоч-

ных данных и от характера и интенсивности изменчивости формы тела полезного ископаемого (месторождения) эта задача решается с различной степенью точности.

Проведение внешнего контура осуществляется двояко:

а) способом ограниченной экстраполяции, когда контур проводится между разведочными выработками, вскрывшими полезное ископаемое, и выработками, не встретившими его;

б) способом неограниченной экстраполяции, когда за внутренним контуром вообще нет разведочных выработок.

В первом случае возможности экстраполяции ограничены пределами полосы между рядом выработок, вскрывших полезное ископаемое, и «пустыми» выработками, и следовательно, ошибка экстраполяции зависит главным образом от ширины этой полосы. В большинстве случаев она невелика, так как расстояние между разведочными выработками не бывает очень большим. Лишь в начальный период разведки, при весьма удаленных друг от друга разведочных выработках, ошибка ограниченной экстраполяции может быть значительной. Обычно при ограниченной экстраполяции внешний контур проводится посередине между выработками, пересекшими залежь полезного ископаемого, и выработками, показавшими ее отсутствие (если нет более убедительных геологических данных).

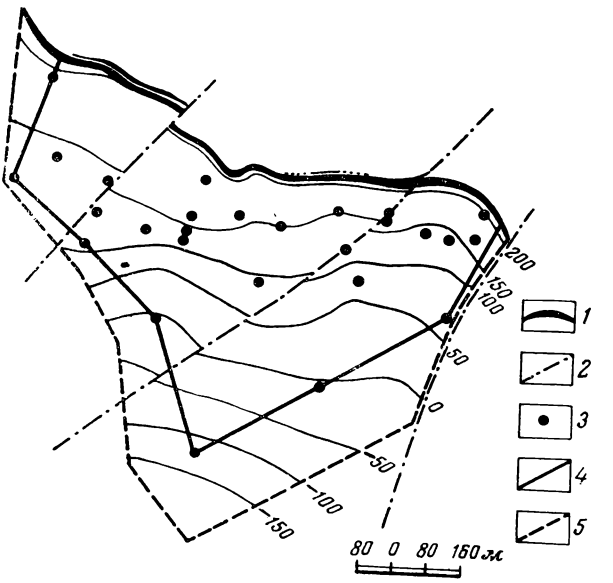


Рис. 20. Проведение внешнего контура по тектоническому нарушению на восточном фланге месторождения (по В. И. Смирнову, с видоизменениями)
1 — выход пласта; *2* — линии тектонических нарушений; *3* — буровые скважины, пересекшие рудное тело; *4* — линия внутреннего контура; *5* — линия внешнего контура

Оконтуривание по среднему углу выклинивания, описываемое в большинстве руководств, не может быть рекомендовано, так как обычно проведенный таким способом контур оказывается в резком противоречии с природными фактами; он может подтвердиться лишь в крайне редких случаях.

В случае неограниченной экстраполяции задача проведения внешнего контура становится наименее определенной и обычно многовариантной. Тем не менее существует целый ряд приемов, позволяющих провести границу тела полезного ископаемого при отсутствии «оконтуривающих» выработок, показывающих отсутствие полезного ископаемого. Все эти приемы можно разделить на две группы: геологические и формальные.

Геологические приемы проведения внешнего контура наиболее убедительны. Главнейшие из них следующие:

1) проведение внешнего контура по границе различных фаций — надежный прием для месторождений осадочного происхождения;

2) проведение внешнего контура по границе «благоприятных» пород, часто применяемое на эпигенетических месторождениях;

3) проведение внешнего контура по тектоническому нарушению, которое может ограничивать залежь полезного ископаемого (рис. 20);

4) проведение внешнего контура по естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого. Здесь можно различать два технических способа определения места выклинивания, или «нулевого контура»,

залежи: способ разрезов и способ изолиний. Графические построения для этих двух способов приведены на рисунках 21 и 22.

Формальные приемы проведения внешнего контура неограниченной экстраполяции применяются в тех случаях, когда нет сколько-нибудь убе-

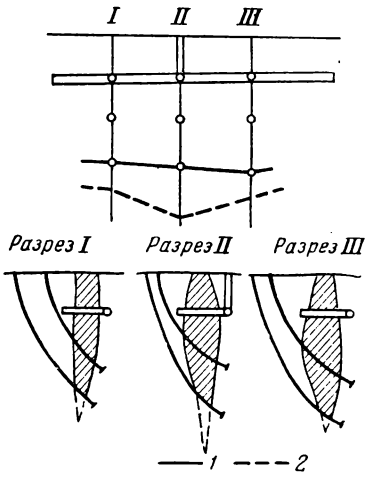


Рис. 21. Проведение внешнего контура по способу разрезов (по В. И. Смирнову)

1 — внутренний контур; *2* — внешний контур

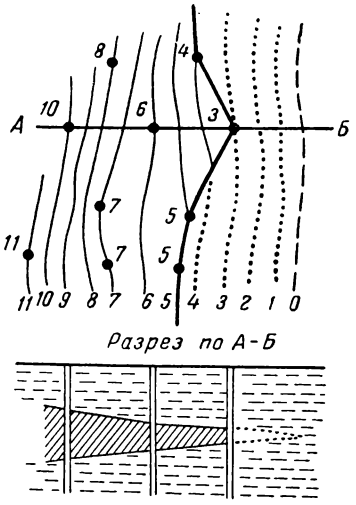
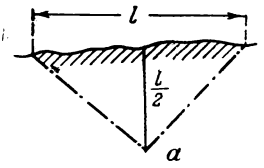


Рис. 22. Проведение внешнего контура по способу изолиний мощности (по В. И. Смирнову)

Цифры около скважин показывают вскрытую мощность полезного ископаемого

дительных геологических данных о границах распространения продуктивной зоны (площади) за пределы участка, освещенного разведочными выработками. В этих случаях внешний контур проводится в зависимости от раз-



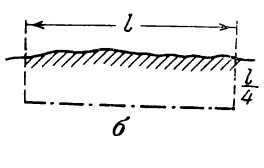


Рис. 23. Проведение внешнего контура в зависимости от длины тела по простиранию

а — по правилу треугольника; *б* — по прямоугольному полотну

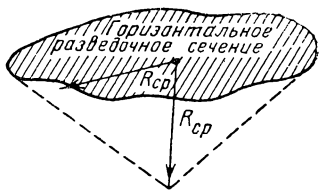


Рис. 24. Проведение внешнего контура по поверхности конуса

меров месторождения (тела) с учетом плотности сети разведочных выработок. В практике часто применяются следующие формальные приемы неограниченной экстраполяции:

1) проведение внешнего контура параллельно внутреннему на расстоянии, равном расстоянию между разведочными выработками или половине среднего расстояния между ними (для морфологически неустойчивых тел полезного ископаемого);

2) проведение внешнего контура в зависимости от линейных размеров тела полезного ископаемого. По этому приему внешний контур образует треугольник, у которого высота принимается равной половине длины тела полезного ископаемого (рис. 23, *а*). Видоизменением этого приема является проведение внешнего контура по периметру прямоугольника с высотой, равной четверти длины тела полезного ископаемого (рис. 23, *б*);

3) проведение внешнего контура по поверхности конуса (для изометрических тел). Основанием этого конуса служит площадь сечения тела полезного ископаемого, ограниченная внутренним контуром, а высота равна половине среднего поперечного размера тела (рис. 24). Иногда на этом же основании строится полушарие.

Все эти привычные, а также другие возможные приемы оконтуривания месторождений по формальным соображениям являются в значительной мере субъективными и ничем не обоснованными. Поэтому их следует по возможности избегать.

Рано или поздно, по мере детализации разведки, неограниченная экстраполяция сменяется по всей периферии тела полезного ископаемого экстраполяцией ограниченной и, таким образом, залежь оконтуривается достаточно точно. Однако всегда желательно представлять общие контуры ме-

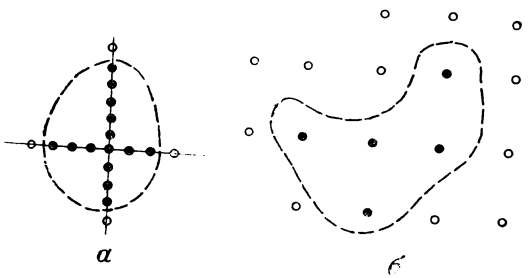


Рис. 25. Универсальные способы оконтуривания тел полезных ископаемых
а — оконтуривание «крестом»; *б* — оконтуривание сетью разведочных выработок

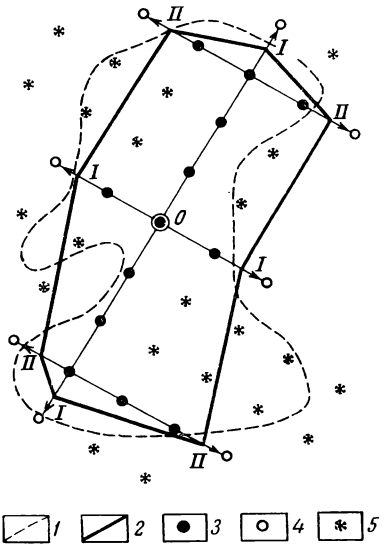


Рис. 26. Векторный способ оконтуривания тел полезных ископаемых (по Д. А. Зенкову, с видоизменениями)
I — векторы первой очереди; II — векторы второй очереди
1 — истинный контур тела; *2* — контур, проведенный по данным векторных ходов; *3* — продуктивные разведочные выработки; *4* — пустые разведочные выработки; *5* — пункты будущей сети детальной разведки месторождения

сторождения как можно раньше — и для решения перспективных вопросов эксплуатации месторождения и для рационального направления дальнейших детальных разведочных работ. Поэтому в практике разведки контуры тела полезного ископаемого в первом приближении устанавливаются редкой сетью разведочных выработок.

Существуют три основных способа оконтуривания тела полезного ископаемого на поверхности:

1) проведение двух разведочных линий «крестом», т. е. под прямым углом друг к другу (рис. 25, *а*);

2) проведение редкой правильной сети разведочных выработок (рис. 25, *б*) —наиболее распространенный и универсальный способ оконтуривания;

3) векторный способ: проведение разведочных выработок по линиям — векторам, направленным от некоторой начальной точки (рис. 26). Последний способ предложен в 1957 г. Д. А. Зенковым и К. Л. Семеновым.

Все эти работы нужно строить исходя из четвертого и пятого принципов разведки и помнить, что всякие надуманные усложнения только мешают в производстве геологоразведочных исследований. Кроме того, необходимо учитывать, что поверхностные выработки — самые дешевые и экономия на этих выработках часто вызывает в дальнейшем большой перерасход на глубинных разведочных работах.

ГЛАВА III

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАЗВЕДОЧНЫХ СРЕДСТВ

В соответствии с задачами, принципами и основными методами разведки, вытекающими из необходимости проникновения на более или менее значительные глубины от дневной поверхности, в практике геологоразведочных работ нашли применение в качестве разведочных средств как обычные, издавна известные различного рода горные выработки, так и специфические средства, созданные специальной техникой разведки.

Все средства разведки полезных ископаемых, имеющиеся в арсенале современного разведчика недр, можно разделить на три различных по методическим основам и оснащению вида:

1. Горные разведочные выработки.
2. Буровые разведочные скважины.
3. Геофизические работы

Различия между ними с разведочной точки зрения заключаются в следующем:

1. В горную выработку человек может проникнуть и, следовательно, получить максимально точные сведения о полезном ископаемом, обнаруженном в данной выработке. Кроме того, горная выработка может быть продолжена в любую сторону.

2. Фактический материал, добываемый из буровой скважины, лишь с той или иной степенью приближения характеризует качество полезного ископаемого и условия его залегания. Скважина может быть искусственно искривлена с целью новых пересечений тела полезного ископаемого.

3. Геофизические работы сами по себе не обеспечивают непосредственного качественного опробования полезного ископаемого. Они дают обычно весьма приближенное представление о размерах и условиях залегания разведываемого объекта. В отдельных случаях геофизические измерения позволяют приблизительно оценивать качество полезного ископаемого и судить о форме тела.

Указанные различия определяют и степень разведочной точности данных, полученных при помощи того или иного разведочного средства, и его применимость в различных звеньях геологоразведочного процесса к тем или иным типам месторождений полезных ископаемых, а также достоверность результатов исследований. Наиболее надежные данные, как видно из приведенной характеристики, можно получить по горным разведочным выработкам. Менее достоверные результаты приносит разведочное бурение. Наименее достоверные результаты (за исключением особых случаев) дают геофизические измерения.

Следует иметь в виду, однако, что горные выработки (за исключением поверхностных) являются наиболее дорогим и громоздким средством разведки. Бурение обычно обходится значительно дешевле и производится гораздо быстрее. Геофизические измерения несравненно дешевле других разведочных средств и выполняются они несоизмеримо быстрее. Поэтому в практике геологоразведочных работ находят применение все эти средства, и чаще всего они комбинируются так, что горными выработками проверяются данные бурения, бурением проверяются результаты геофизических исследований (которые играют с каждым годом все бóльшую роль), а последние в свою очередь восполняют или корректируют неполные или ошибочные данные разведочного бурения.

Итак, разведочные средства позволяют создавать разрезы пространства, занимаемого месторождением, проводить опробование полезного ископаемого в различных частях месторождения и получать основные данные, необходимые для промышленной оценки месторождения. Качество того

или другого разведочного средства определяется прежде всего его способностью обеспечивать построение более или менее достоверных разведочных разрезов и предоставляемой им возможностью более или менее детального опробования полезного ископаемого.

2. ГОРНЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Для разведочных целей используются почти все виды горных выработок: расчистки, канавы, шурфы, дудки, шахты, штольни и связанные с ними выработки, не выходящие на земную поверхность: квершлаги, штреки, орты, гезенки. Все эти горные выработки можно подразделить, с одной стороны, на вертикальные и горизонтальные, с другой — на поверхностные, легкого типа, и подземные, требующие большой затраты сил и материальных средств.

Поверхностные горные выработки, описанные в разделе «Поисково-разведочные работы», продолжают играть некоторую роль и в период предварительной разведки месторождения, при дополнительных исследованиях выходов полезного ископаемого и оконтуривании месторождения на поверхности.

К а н а в ы обычно проходятся на глубину до 3 *м*, редко до 5 *м*. При глубине наносов более 3 *м* в большинстве случаев бывает целесообразно применять ш у р ф ы или д у д к и. Эти выработки обычно имеют глубину до 10—15 *м*, реже до 30 *м*. Сечение их выбирается в пределах 1—2,5 $м^2$. Более глубокие вертикальные выработки — ш а х т ы — для разведочных целей задаются обычно на глубину до 100 *м*. Они, естественно, и по конструкции и по технологии проходки существенно отличаются от мелких шурфов и дудок. Сечение шахт измеряется несколькими квадратными метрами и делится на два-три отделения (ходовое, подъемное, арматурное).

Ш т о л ь н и являются наиболее распространенными разведочными выработками, но применяются они только в условиях расчлененного рельефа поверхности. Нормальные сечения разведочных штолен: 1,8; 2,7, реже 3,6 $м^2$. Таким же сечением обладают и другие горизонтальные подземные выработки, проводимые от штольни или от ствола шахты по простиранию тела полезного ископаемого (штреки) или вкрест его простирания (квершлаги, орты).

Нередко в разведочной практике применяются наклонные выработки, проходимые по телу полезного ископаемого в направлении его падения. В случае крутого падения эти выработки называются н а к л о н н ы м и ш а х т а м и. При пологом залегании им присваивается наименование у к л о н о в.

При проведении горноразведочных выработок значительной глубины или длины необходимо учитывать условия будущей эксплуатации месторождения. Иногда разведка сочетается с начальной стадией эксплуатации месторождения. В таких случаях некоторые этапы вскрытия месторождения и проведения подготовительных выработок выполняются разведчиком, так как разведочные выработки одновременно являются и вскрышными или подготовительными.

Поэтому при заложении крупных разведочных шахт должны учитываться такие условия, как: 1) центр сосредоточения грузов при будущей откатке и доставке полезного ископаемого по подземным выработкам; 2) необходимость оставления околошахтного целика; 3) рельеф поверхности эксплуатационного участка. Если разведочные выработки не будут использованы в качестве основных эксплуатационных выработок, они могут сыграть существенную роль для вентиляции, в качестве запасного выхода и т. п.

Исходя из соображений максимального использования разведочных выработок при эксплуатации месторождения нужно выбирать и соответствующие их сечения, уклоны (в отношении уклонов у разведчиков особенно часто бывают большие неудачи) и необходимое оснащение. При выборе расстояний между разведочными горизонтами или расстояний между разведочными

штольнями и штреками по вертикали следует руководствоваться нормальной высотой эксплуатационного этажа. Проходку вертикальной шахты предпочтительно осуществлять в лежачем боку крутопадающей залежи, так как в противном случае часть полезного ископаемого в висячем боку попадает в охранный целик и может быть потеряна (рис. 27). Наиболее рациональным видом разведочного вскрытия крутопадающего месторождения при спокойном рельефе поверхности надо считать шахту с квершлагом (см. рис. 27, *б*).

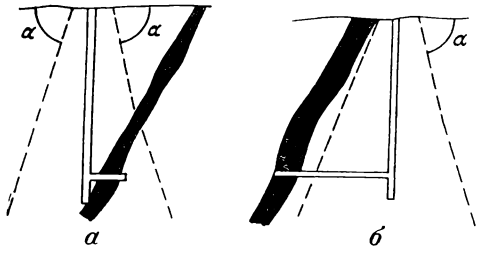


Рис. 27. Соотношения контуров рудных тел и околошахтных охранных целиков ($70° < \alpha < 80°$)

а — при заложении шахты в висячем боку рудного тела; *б* — при заложении шахты в лежачем боку. Пунктиром показаны границы охранных целиков

К в е р ш л а г является одним из основных видов разведочных выработок, так как на нем строится разрез вкрест простирания месторождения. Той же цели служит о р т, не выходящий за пределы тела полезного ископаемого. С помощью квершлагов вскрываются параллельные тела полезных ископаемых и соединяются с шахтой или с главной штольней другие подземные выработки.

Ш т р е к часто дает непрерывное горизонтальное обнажение тела полезного ископаемого. По мощным телам полезного ископаемого и по мощным продуктивным зонам от штрека через некоторые интервалы проходятся

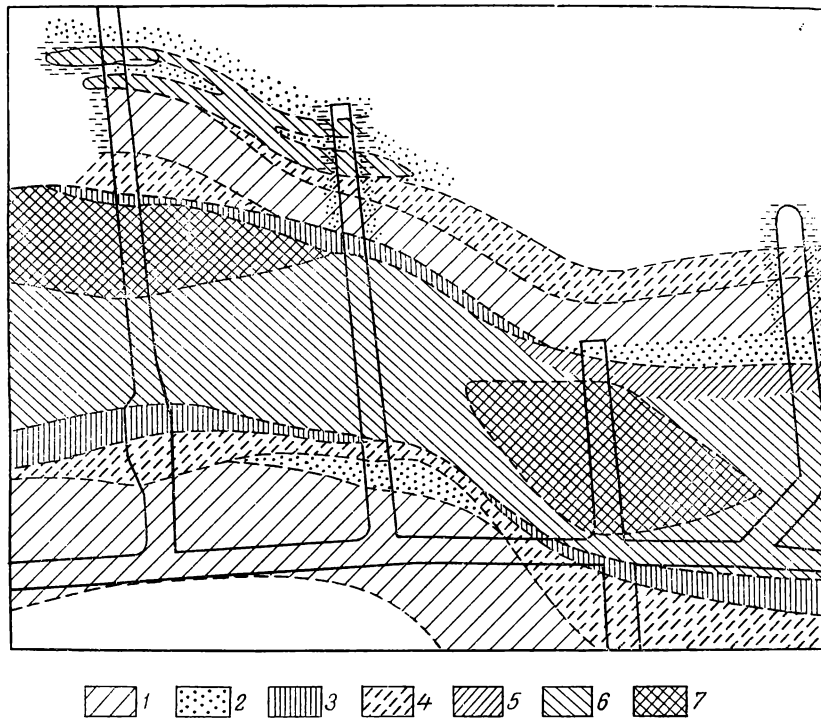


Рис. 28. Штрек с ортами, пересекающими параллельные рудные тела (по Ю. Г. Гершойгу)

1 — роговики; *2* — джеспилиты; *3—7* — различные сорта железных руд

орты для вскрытия полной мощности тела полезного ископаемого на разведочном горизонте (рис. 28).

В подземных горизонтальных выработках в ряде случаев возникает необходимость проходки вертикальных или наклонных выработок, называемых гезенками и восстающими. Вертикальные гезенки и восстающие обычно проходятся из штреков, квершлагов и ортов для пересечения залежи выше или ниже разведываемого горизонта (рис. 29). Наклонные гезенки и восстающие проводятся по падению тела полезного ископаемого и дают непрерывное обнажение этого тела (рис. 30).

Главной технической проблемой проходки разведочных горных выработок является непрерывное совершенствование и внедрение новых видов

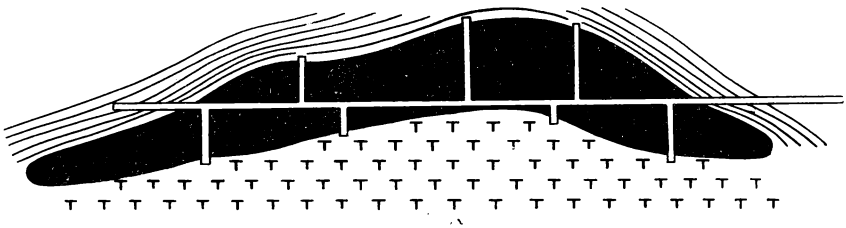


Рис. 29. Восстающие и гезенки, пройденные из горизонтальной выработки для пересечения пологой рудной залежи

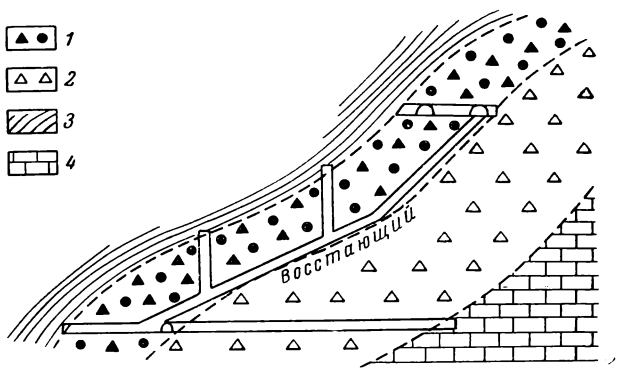


Рис. 30. Наклонный восстающий по рудному телу (по А. К. Полякову)

1 — оруденелая брекчия промышленная; *2* — оруденелая брекчия непромышленная; *3*—сланцы; *4*—известняки

механизации этого весьма трудоемкого процесса. Следует иметь в виду, что эта проблема существенно отличается от проблемы механизации эксплуатационных работ, особенно на крупном руднике, так как объемы горных работ при разведке обычно во много раз меньше, чем при эксплуатации, и те средства и приемы механизации, которые дают значительный эффект на эксплуатационных работах (погрузочные машины, электровозы и т. п.), часто вследствие их громоздкости и дороговизны оказываются непригодными для разведки, особенно предварительной. Механизация проходки горных разведочных выработок должна направляться по пути так называемой малой механизации, предполагающей небольшие затраты и достаточно ощутимый технический и экономический эффект (передвижные легкие компрессоры и электростанции, простейшие механические подъемные устройства, лебедки и т. п.).

Механизация горноразведочных выработок легкого типа — канав и шурфов — обычно не рассматривается в специальных работах по проходке подготовительных и эксплуатационных горных выработок. Поэтому ниже даются некоторые рекомендации по данному вопросу.

1. Для механизации канавных работ могут быть применены роторные и траншейные экскаваторы, широко используемые в строительстве (табл. 6).

Таблица 6

Краткая техническая характеристика некоторых моделей экскаваторов

Основные показатели	Роторный экскаватор ЭР-4	Траншейный экскаватор		
		ЭТ-121	ЭТ-251	ЭТ-352
Размеры траншей в *м*:				
глубина	1,8	1,2	2,5	3,5
ширина	0,9	0,5	0,8	0,8
Число ковшей	14	19	11	13
Емкость ковшей в *л*	50	12	45	45
Проектная производительность в $м^3/час$	320	110	150	150
Мощность двигателя в *л. с.*	80	54	54	54
Вес машины в *т*	19,9	8,4	11,0	13,2
Удельное давление на грунт в $кг/см^2$	0,8	1,1	1,06	1,2

Разумеется, применение этих машин целесообразно в тех случаях, когда объемы канавных работ значительные — хотя бы не меньше месячной проектной производительности машины. В противном случае доставка, уход и ремонт машины потребуют бо́льших затрат, чем проходка канав без их применения.

2. Для механизации проходки шурфов можно использовать бурильные машины большого диаметра, применяемые в различных отраслях строительства. Мелкие шурфы могут быть очень быстро пройдены с помощью машин, основные показатели которых приведены в табл. 7.

Таблица 7

Краткая техническая характеристика бурильных машин для проходки мелких шурфов

Основные показатели	БМ-2	БИ-9	БИ-7	БКГМ-АII
Глубина бурения в *м*	1,8	2,1	2	1,5
Диаметр скважины в *мм*	400—600	400—700	1000—1700	500
Мощность двигателя в *л. с.*	20	52	80	—
Вес машины в *т*	1,2	1,25	2,12	1,95
Среднее время проходки одного шурфа в минутах	3,5—12	2—6	15,5	1—2

Для более глубоких шурфов целесообразно использовать смонтированную на автомашине бурильную машину АВБ-5, которая позволяет проходить шурф глубиной до 5—6 *м*, диаметром 500 *мм* за 10—20 минут (эта машина подходит для геологической съемки и поисков, связанных со вскрытием пород).

При проходке глубоких шурфов в рыхлых и водоносных породах хорошие результаты дают машина КШК-30 («копатель шахтных колодцев») и колонковый снаряд типа ТМ или БМН-860, сконструированный институтом НИГРИЗолото. Этот снаряд позволяет проходить дудки большого диаметра (660—860 *мм*) до глубины 50 *м*.

Применение горных выработок в качестве технического средства разведки должно осуществляться с учетом следующих общих положений:

1. Заложение горных выработок должно быть основано на данных детального геологического изучения выходов месторождения и в некоторых случаях на данных разведочного бурения.

2. Горноразведочные выработки в большинстве своем должны проходиться с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации.

3. Габариты, направление и горно-геологические условия проходки разведочных выработок должны выбираться так, чтобы они допускали скоростную проходку этих выработок.

4. Наибольшее количество горноразведочных выработок целесообразно проходить по полезному ископаемому с целью его изучения и опробования при попутной добыче.

Изучение полезного ископаемого с помощью подземных горных выработок как в отношении формы залежи, так и в отношении качества дает наиболее достоверные результаты. В некоторых случаях, при весьма изменчивых по форме и по качеству телах полезного ископаемого, проходка горных выработок становится единственно надежным средством разведки. Однако организационно горноразведочные выработки гораздо сложнее других видов и средств разведки и требуют больших затрат материальных средств и времени.

При всех многочисленных преимуществах горноразведочных выработок геолог-разведчик должен в меру возможности воздерживаться от проведения капитальных вскрышных и подготовительных работ. В процессе разведки нужно проходить минимум восстающих выработок, этажных штолен и штреков и т. д. Надо помнить, что специалист-горняк сделает это лучше геолога, тем более руководствуясь проектом.

3. БУРОВЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ СКВАЖИНЫ[1]

Бурение разведочных скважин является типичным, а для многих полезных ископаемых главным и даже единственным средством разведки. Хотя буровые скважины дают менее точные сведения о полезном ископаемом, чем горные выработки, тем не менее разведочное бурение находит широкое применение благодаря своей мобильности, скорости работ, относительной легкости оборудования и меньшим расходам материальных средств на погонный метр проходки.

Последнее обстоятельство имеет особенно важное значение в связи с тем, что приходится разведывать все более и более глубоко залегающие месторождения. Так, за вторую четверть XX века глубины разведочных скважин увеличились в Донбассе в 3 раза, в Криворожье в 2—3 раза. Поэтому удельный вес бурения в разведочных работах все возрастает, техника бурения заметно прогрессирует и усложняется.

В основе бурения лежат два механических принципа: 1) удар, дробящий горную породу в скважине; 2) вращение, приводящее к истиранию горной породы в скважине. В соответствии с этими двумя принципами различаются виды бурения: ударное, вращательное и ударно-вращательное.

Целесообразно различать виды бурения и по характеру инструмента или материала, разрушающего горную породу в скважине. Все виды наконечников буровых снарядов — долото, змеевик (шнек), алмазная или твердосплавная коронка, буровая дробь, шарошечное долото и т. п.— можно подразделить на две существенно различные группы:

1) наконечники, разрушающие всю горную породу в скважине (сплошной забой);

2) наконечники, выбуривающие в скважине кольцо, внутри которого сохраняется столбик горной породы — «керн» (кольцевой забой).

Колонковое бурение является главным видом разведочного бурения. Это бурение вращательное, механическое, с кольцевым забоем. Оно может быть алмазным, твердосплавным или дробовым. Сущность процесса вращательного бурения состоит в разрушении горной породы резцами (алмаз, твердый сплав, дробь) под непрерывным действием осевой нагруз-

[1] Этот раздел по просьбе автора перед печатанием книги был любезно просмотрен Б. И. Воздвиженским.

ки и вращающих усилий. При этом разрушенные частицы выносятся с забоя скважины промывочной жидкостью (глинистый раствор, вода) или воздухом, которые одновременно охлаждают резцы.

Всякий буровой колонковый агрегат состоит из трех основных частей: бурового станка, двигателя (электрического или внутреннего сгорания) и насоса. Агрегат монтируется на ровной площадке величиной в несколько квадратных метров под копром, служащим для спуска и подъема бурового снаряда. Все это сооружение обычно называется «буровой вышкой». Имеются и передвижные буровые агрегаты, смонтированные на автомашине или на салазках. Эти агрегаты используются для бурения мелких скважин, главным образом в процессе поисковых и поисково-разведочных работ.

С точки зрения разведки преимуществами колонкового бурения являются: 1) получение керна, т. е. наиболее достоверного материала, характеризующего полезное ископаемое и геологический разрез; 2) возможность бурения в любых горных породах от рыхлых до крепчайших; 3) возможность бурения вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин. Эти преимущества делают колонковое бурение незаменимым во многих случаях разведочной практики.

При выборе бурового агрегата надо исходить из проектируемой глубины разведочных скважин (табл. 8).

Таблица 8

Рекомендуемые типы буровых агрегатов в зависимости от глубины скважин

	Глубина скважин				
	до 50 *м*	50—100 *м*	150—400 *м*	400—700 *м*	Свыше 700 *м*
Типы буровых установок	УРБ-1-С УРБ-1-В УГБ-50-А* УВБ-15	ЗИВ-150 ЗИВ-150-А СБУ-150- -ЗИВ* БСК-3** УГБ-150-Б* УРБ-2-А*	ЗИФ-300 ТСБУ-300- -ЗИВ* УРБ-ЗАМ* БУ-1**	ЗИФ-650-А КАМ-500 БА-2-600**	ЗИФ-1200-А 1-УБШ-20 ВИТР-200 УРБ-5 УРБ-1
Примерная мощность двигателей в *л. с.*	10—30	20—50	30—60	40—50	100—400

* Станки передвижные, монтируются на автомашинах или тракторах.
** Станки для алмазного бурения.

Для бурения в подземных выработках применяются специальные буровые станки ГП-1 и НЗ-2 отечественного производства. Из зарубежных станков для подземного бурения используются станки Х-2, Х-4 и Сулливан № 6.

Важнейшим качественным показателем колонкового бурения является «выход керна», т. е. выраженное в процентах отношение длины полученного керна к пробуренному интервалу скважины. Эффективность применения колонкового бурения при прочих равных условиях прямо пропорциональна выходу керна. Поэтому в процессе колонкового бурения главной заботой буровой бригады и геологического персонала является добыча максимально возможного количества керна, выход которого редко достигает 100%. Обычно в результате трещиноватости или рыхлости горной породы значительная часть керна истирается и выносится промывочной жидкостью на поверхность в виде мути. Последняя вследствие смешанного состава и запоздалого выхода из скважины не может достаточно надежно характеризовать интервал, с которого она вынесена. Бурение с выходом керна менее 50% в большинстве случаев надо считать браком.

Вычисляя процент выхода керна, надо измерять длину последнего не по разложенному мастером в ящике столбику породы, а по его наиболее плотной упаковке. Для этого надо отдельные куски керна сложить так,

чтобы они вплотную смыкались друг с другом, а мелочь поместить в зазоры между ними.

Для увеличения выхода керна (главным образом по полезному ископаемому) осуществляются следующие мероприятия:

1) бурение большим диаметром по полезному ископаемому;
2) уменьшение напора промывной струи до минимума;
3) бурение короткими уходками (0,5—0,8 *м*);
4) затирка рыхлого полезного ископаемого всухую;
5) переход с дробового бурения на твердосплавное или алмазное;
6) применение двойных колонковых труб;
7) безнасосное бурение.

Ударно-канатное бурение в некоторых случаях весьма успешно применяется в процессе геологоразведочных работ. Сущность этого вида бурения сводится к измельчению горной породы в скважине падающим снарядом большого веса, оснащенным внизу долотом, которое после каждого удара поворачивается на небольшой угол. После углубки скважины на 20—50 *см* бурение прерывается и скважина очищается от раздробленного материала (шлама).

Преимущества ударно-канатного бурения заключаются в возможности более надежного опробования, бóльших скоростях проходки скважин, особенно при глубинах до 150 *м*, по сравнению с колонковым бурением, и в возможности бурить скважины без промывки. Однако ударно-канатное бурение может осуществляться только в вертикальном направлении и сплошным забоем, т. е. керна при этом бурении не получается. Поэтому описываемый вид бурения с большим эффектом применяется только при разведках крупных штокверков, массивов, некоторых полого залегающих месторождений и россыпей. Кроме того, ударно-канатное бурение успешно применяется при разведке жидких полезных ископаемых.

Материал, характеризующий пробуриваемую горную породу или полезное ископаемое, поднимается желонкой из скважины в виде шлама. Поэтому после каждой уходки скважина должна тщательно очищаться во избежание смешения шлама с разных интервалов проходки скважины.

Наиболее употребительными в СССР тяжелыми станками ударно-канатного бурения являются: УКС-22, УКС-20с, БУ-20-2, позволяющие проходить глубокие скважины большого диаметра. Легкие станки УА-75 и УА-150 рассчитаны на бурение неглубоких скважин. Среди зарубежных моделей типичными разведочными ударно-канатными агрегатами являются станки Кийстон, обычно используемый на разведке россыпных месторождений, и Армстронг, применяемый главным образом при бурении в крепких породах.

Диаметры скважин при ударно-канатном бурении колеблются от 100 до 600 *мм*. Глубина скважин большей частью не превышает 1000 *м*. Наиболее эффективна работа ударно-канатных станков при глубине до 200 *м*; глубже производительность бурения значительно снижается и работы удорожаются. Хотя ударно-канатным способом можно бурить скважины в любых породах, однако наибольший технико-экономический эффект он дает в крепких породах при глубинах скважин 100—150 *м*.

Другие виды механического бурения — роторное и турбинное — широко применяются при разведке нефтяных и газовых месторождений. Роторное бурение обычно используется при проходке буровых скважин на нефть. Эти скважины в ряде случаев имеют не только эксплуатационное значение, но и разведочное. Турбинное бурение — наиболее производительное; с его помощью в СССР проходится более 85% скважин на нефть и газ. Главное техническое преимущество турбобура состоит в том, что вращающаяся часть бурового снаряда находится на нижнем его конце, у забоя. Скорость проходки буровых скважин турбобуром в 3—4 раза превышает скорость проходки роторным способом.

Сравнительно широко в разведочном деле используются простейшие комплекты бурового инструмента, предназначенные для ударно-вращательного бурения. Многие объекты разведки (россыпи, торф, вода и т. п.), не требующие больших объемов буровых работ и глубоких скважин, в труднодоступных местах (болота, отдаленные районы золотой промышленности и т. п.) эффективно изучаются при помощи ручного бурения. Этот вид бурения применим в рыхлых породах при глубине скважин преимущественно 10—15 *м* (и не более 30 *м*), когда механическую буровую установку использовать нецелесообразно.

Ручное бурение подразделяется на два вида: ударное и вращательное. Часто эти два вида комбинируются, и скважина в зависимости от изменчивости геологического разреза проходится то долотом, то змеевиком (шнеком). Скорость проходки скважин ручного бурения в рыхлых и мягких породах колеблется от 0,25 до 6,5 *м* в час чистого бурения.

Одной из проблем буровой техники является механизация ручного бурения, т. е. внедрение таких приспособлений и малых вспомогательных механизмов, которые бы облегчили тяжелый труд рабочих и одновременно повысили производительность этого вида бурения. В качестве приспособлений для механизации ручного бурения могут служить вибромашины (табл. 9), с помощью которых бурятся скважины глубиной до 20—25 *м* с отбором образцов с ненарушенной структурой. Скорость бурения скважин с помощью вибромашин достигает 1—2 *м* в минуту.

Таблица 9

Краткая техническая характеристика главных типов вибраторов и вибромолотов

Основные показатели	Вибраторы			Вибромолот ВМГ-5
	БТ-9 (усиленный)	ВПМ-2	ВБЛ-3	
Число колебаний в минуту	1250	1500	1500	930
Возмущающая сила в *т*	3,5	4,0	2,3	—
Тип двигателя	Электрический		Бензиновый	Электрический
Мощность двигателя в $\frac{квт}{л.\ с.}$	$\frac{7,0}{—}$	$\frac{7,0}{—}$	$\frac{—}{6,0}$	$\frac{1,7}{—}$

С целью механизации ручного бурения применяется шнек с приводом от автомашины (шнековое бурение). Для этого в СССР сконструированы несколько станков, среди которых станки УГБ-50 и УШБ-15 хорошо оправдали себя на практике, особенно при работе в безводных местностях.

Общими проблемами для всех видов разведочного бурения являются:

1. Получение наиболее достоверных данных о полезном ископаемом, а также об условиях его залегания и, следовательно, о геологическом разрезе в пункте бурения скважины. Для этого применяются различные приемы и средства, способствующие увеличению выхода керна и препятствующие загрязнению бурового шлама.

2. Крепление стенок скважины в процессе бурения, необходимое для безаварийной проходки разведочной скважины. С этой целью осуществляются обсадка скважины трубами, глинизация и цементация скважин.

3. Выяснение характера кривизны буровой скважины, особенно необходимое для больших глубин, и управление искривлением скважин.

4. Повышение темпов проходки буровых скважин и производительности буровых агрегатов.

Первая проблема, касающаяся получения наиболее достоверных результатов разведочного бурения, затронута выше в связи с вопросом о выходе керна и соблюдении чистоты шлама. (Глубокое разведочное бурение выполняет две методические задачи: 1) геологопоисковую и 2) разведочного опробования. Практически только в последнем случае нужен высокий процент выхода керна и сбор шлама.)

Второй важной проблемой бурения, не поддающейся стандартному решению, является крепление стенок скважины. Уже укоренилось в практике бурение скважин с промывкой глинистым раствором. Это прекрасное профилактическое средство против потерь промывочной жидкости в трещинах и порах пород и против мелких вывалов разрушенных горных пород из стенок скважин. В сильно нарушенных породах, когда над скважиной нависает угроза аварий из-за крупных вывалов, применяется глинизация или цементация. Первая представляет собой ту же промывку глинистым раствором, но уже более вязким. Вторая осуществляется путем заливки в скважину цемента и последующего его разбуривания, обычно тем же диаметром, в результате чего внутри скважины образуется как бы цементная тонкостенная трубка, закрепляющая стенки скважины в опасном интервале. Наконец, наиболее надежным средством является крепление скважины обсадными трубами. Однако последнее средство дорогое и приводит к значительным потерям металла (труб) в скважинах.

Большинство скважин, особенно при колонковом бурении, в большей или меньшей степени отклоняется от заданного направления, или «искривляется». Причинами искривления скважин являются, с одной стороны, геологические условия (неоднородность горных пород, их трещиноватость, слоистость и сланцеватость), с другой — технические (перекос направляющей трубы, неправильная забурка скважины, неправильно составленный буровой снаряд, чрезмерное давление на забой и т. п.).

Искривление скважин имеет две составляющие: вертикальную (зенитное искривление) и горизонтальную (азимутальное искривление). Обычно не само искривление скважины наносит ущерб точности и достоверности разведочных разрезов и построений, а недостаточно точный учет этого искривления, особенно в глубоких скважинах. Таким образом, первая часть проблемы, связанной с искривлением скважин, состоит в наиболее точном измерении кривизны скважины как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. Вторая часть проблемы названа «управлением кривизной скважины», под которым понимается принудительное изменение ее направления на различных интервалах проходки с определенными разведочными целями. Это достигается путем различного рода отклонений бурового снаряда от прежнего направления. Следует отметить, что на практике не всегда удается точно выяснить характер кривизны скважины или искривить ее в строго заданном направлении.

Увеличение темпов бурения и производительности каждого агрегата всегда желательно с технико-экономической точки зрения. Этой идее и подчинено ускорение вращения шпинделя станка при колонковом бурении до 600—700 об/мин и даже до 1500 об/мин с мелкоалмазной коронкой. Этой идее подчинено и конструирование новых типов станков и т. п. Однако не следует забывать, что повышение темпов бурения допустимо только при сохранении качественных показателей, к которым в условиях разведки, помимо безаварийной работы, относится высокий выход керна и выполнение всех необходимых измерений и исследований на скважине. В противном случае, как это не раз бывало на практике, скважины могут оказаться пробуренными быстро, но бесполезно и, следовательно, будут впустую затрачены немалые средства.

Основные положения, которые нужно иметь в виду при проектировании разведочных скважин, состоят в следующем:

1. Скважина должна достигать тела полезного ископаемого по кратчайшему расстоянию.

2. Угол встречи скважины с контактом (с линией простирания и с линией падения) не должен быть очень малым (желательно не меньше 30°, в крайнем случае 20°).

3. Отправной точкой для проектирования скважины должна быть заданная глубина пересечения ею рудного тела, откуда с учетом возможного искривления в данных условиях скважина должна быть «вынесена» на

поверхность. Подобный подход к проектированию наклонных колонковых скважин особенно важен в условиях сложного рельефа и при необходимости пересечения рудного тела под большим углом (что характерно для крутопадающих тел).

Буровые скважины проходятся в 2—3 раза быстрее и стоят в 3—4 раза дешевле подземных горных выработок. Однако по геологическим результатам бурение уступает первенство проходке горных выработок. Разумное сочетание этих двух важнейших средств разведки дает наилучший технико-экономический эффект и обеспечивает высокое качество разведочных работ.

4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Геофизические исследования в ряде случаев играют весьма существенную роль при составлении геологических разрезов, оконтуривании площади распространения полезного ископаемого и даже при определении качества полезного ископаемого. Такие геофизические исследования бесспорно можно относить к категории средств разведки.

С помощью геофизических исследований выполняются следующие работы:

1. Каротаж в различных модификациях (электрический и радиоактивный).
2. Приближенное оконтуривание тел полезных ископаемых, в частности слепых.
3. Вспомогательные технические измерения.

Каротаж

Каротаж — изучение геологического разреза скважины с помощью геофизических измерений — является одним из способов контроля наблюдений, производимых в скважине. Наибольшее распространение имеют электрические и радиоактивные методы каротажа.

Для более полной характеристики разрезов скважин нередко приходится применять комплекс из нескольких методов каротажа. При технически обоснованном выборе комплекса, определяемом физико-геологическими свойствами изучаемых горных пород и особенностями строения разреза, геофизические методы дают возможность:

1) установить местоположение и мощности выходов горных пород в разрезах скважин;

2) определить пористость и оценить проницаемость пород;

3) установить опорные горизонты для корреляции;

4) выделить в разрезах скважин нефтеносные и газоносные породы (и определить коэффициенты их нефтенасыщения и газонасыщения), а также ископаемые угли и зоны оруденения.

К электрическому каротажу относятся:

1) методы, основанные на изучении удельного сопротивления пород и переходного сопротивления заземлений — методы кажущихся сопротивлений (КС), электродных потенциалов (МЭП), сопротивления экранированного заземления (СЭЗ), скользящих контактов (МСК) и регистрации тока (РТ);

2) методы, основанные на изучении потенциалов самопроизвольной поляризации пород; основным представителем их является метод самопроизвольной поляризации (ПС);

3) методы, основанные на изучении потенциалов вызванной поляризации пород, возникающей в горных породах при прохождении через них электрического тока; к этому типу относится метод электролитического каротажа (ЭК).

Ниже приводится несколько более подробная характеристика основных методов каротажа, используемых в настоящее время.

Метод кажущихся сопротивлений (*КС*). Измерение удельного электрического сопротивления горных пород в скважине производится при помощи специальной установки — зонда, опускаемого в скважину на кабеле (рис. 31). Зонд состоит из трех (реже двух) заземлений — электродов A, $Б$, M (или A, M, N). Четвертое заземление N (или B) устанавливается на поверхности, вблизи от устья скважины.

Через заземления A и B вводится электрический ток силой I. В созданном этим током электрическом поле между электродами M и N возникает разность потенциалов ΔU. Разность потенциалов регистрируется самопишущим потенциометром, фоторегистратором или потенциометром, сопряженным с полуавтоматическим регистратором, который устанавливается в специальной автомашине.

Измеряемое удельное электрическое сопротивление, обычно отвечающее сочетанию нескольких слоев различных пород и потому называемое кажущимся, рассчитывается по формуле

$$\varrho_к = K\frac{\Delta U}{I} \qquad (15)$$

где K — коэффициент зонда, зависящий от расстояния между питающими и измерительными электродами зонда.

При измерениях в одной скважине сила тока I поддерживается постоянной. Поэтому регистрируемая диаграмма разностей потенциалов в масштабе $\frac{K}{I}$ является диаграммой измеряемого кажущегося сопротивления горных пород.

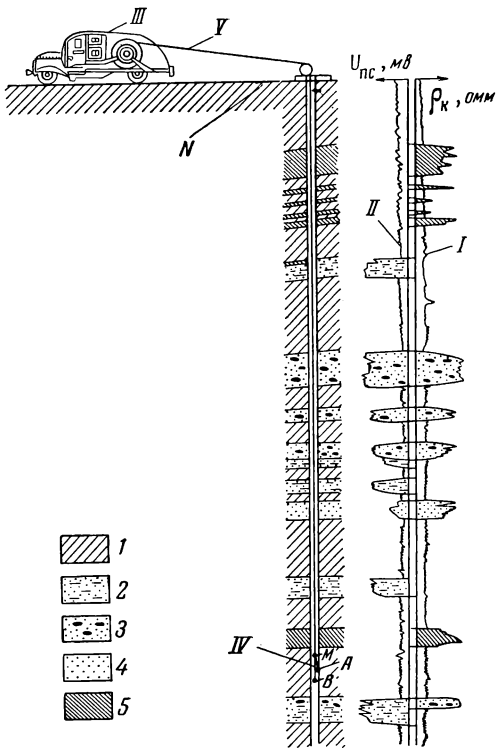


Рис. 31. Схема электрометрии скважины методом сопротивления и потенциалов собственной поляризации пород (по В. Н. Дахнову)

I — кривая сопротивления ($\varrho_к$); *II* — кривая потенциалов собственной поляризации (ПС); *III* — автомашина с измерительной аппаратурой; *IV* — зонд; *V* — кабель

1 — глины; *2* — пески водоносные; *3* — пески нефтеносные; *4* — песчаники плотные; *5* — гипс

Кажущееся сопротивление $\varrho_к$ зависит от удельных электрических сопротивлений и мощностей изучаемых пород, сопротивления бурового раствора ϱ_0 и диаметра скважины d_0, сопротивления зоны проникновения фильтрата бурового раствора ϱ_2' и диаметра этой зоны d', взаимного расположения электродов зонда и расстояний между ними. Определение удельного электрического сопротивления по данным замеров кажущегося сопротивления входит в задачу интерпретации диаграмм кажущегося сопротивления и производится рядом приемов, в частности методом бокового электрического зондирования.

Каротажные зонды подразделяются на потенциал- и градиент- зонды. Выбор типа зондов зависит от физико-геологической характеристики изучаемого разреза. Регистрация кажущегося сопротивления, как правило, производится одновременно с регистрацией собственной поляризации пород (ПС) (см. рис. 31, кривая II).

Область применения метода: расчленение разрезов скважин по данным истинного и кажущегося удельных электрических сопротивлений горных пород; изучение литологии, пористости и проницаемости пород.

При необходимости более детального расчленения разреза и выделения в нем тонких прослоев, которые не фиксируются на обычных электродиаграммах, измерения производятся так называемыми микрозондами (размером до 10 *см*). Электроды этого зонда прижимаются к стенкам скважины специальными пружинными устройствами. Этим достигается уменьшение влияния глинистого раствора на результат измерений. Измерения ведутся по обычным схемам замера кажущегося сопротивления (рис. 32); одновременно регистрируются две кривые $\rho_к$ — для микрозондов малого и большого размеров.

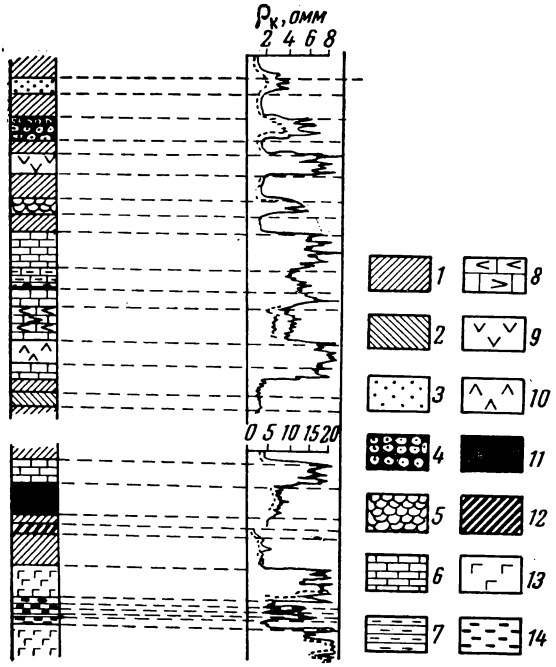


Рис. 32. Кривые кажущегося сопротивления, зарегистрированные микрозондом малого размера (точечная) и микрозондом большого размера (сплошная) (по В. Н. Дахнову)

1 — глины; *2* — глины высокодисперсные; *3* — пески; *4* — песчаники рыхлые; *5* — песчаники плотные; *6* — известняки и доломиты плотные; *7* — известняки и доломиты глинистые; *8* — известняки и доломиты высокопористые; *9* — гипс; *10* — ангидрит; *11* — каменный уголь; *12* — антрацит; *13* — магматические породы; *14* — сульфидные руды

Метод сопротивления экранированного заземления (*СЭЗ*) заключается в измерении сопротивления заземления *А*, экранированного с двух сторон однополярными экранирующими заземлениями *3*. Эти заземления препятствуют распространению тока от заземления *А* по стволу скважины и направляют его в глубь исследуемых пород. Этим обеспечивается наиболее отчетливая зависимость измеряемого сопротивления заземления *А* от удельного электрического сопротивления пород, расположенных против этого заземления.

Область применения метода: выделение в разрезах скважин тонких пластов (начиная от 5 *см*) и точное определение их мощностей.

Метод самопроизвольной поляризации (*ПС*) состоит в изучении потенциалов, возникающих в горных породах при пересечении их скважиной. Эти потенциалы создаются: 1) диффузией солей из пластовых вод в глинистый раствор и из раствора в пласт, а также абсорбцией их ионов на поверхностях частиц, слагающих породу; 2) окислительными и восстановительными реакциями, возникающими в зоне соприкосновения данных горных пород с окружающей средой и буровым раствором; 3) фильтрацией пластовых вод в скважину и бурового раствора в породы. Потенциалы собственной поляризации пород измеряются между электродом *М*, передвигаемым по скважине, и электродом *N*, установленным на поверхности, одновременно с кажущимся сопротивлением.

Область применения метода: детальное расчленение разрезов скважин; выделение тонкодисперсных пород и нефтяных коллекторов; определение минерализации пластовых вод.

Метод электродных потенциалов (*МЭП*) предназначен для выделения в скважинах сульфидных рудных тел, обладающих электронной проводимостью.

Измерения электродных потенциалов в скважинах производятся с помощью двух измерительных электродов, обычно цинковых, смонтированных на специальном скважинном снаряде МЭП. Один из электродов постоянно

прижимается к стенкам скважины, а другой находится в центре скважины и контактирует с буровым раствором. Когда скользящий по стенкам скважины электрод касается руды, разность потенциалов в измерительной цепи резко возрастает (до нескольких сот милливольт), так как электроду при этом сообщается электродный потенциал рудного тела. (В безрудной части скважины напряжение колеблется от 10 до 100 *мв*.)

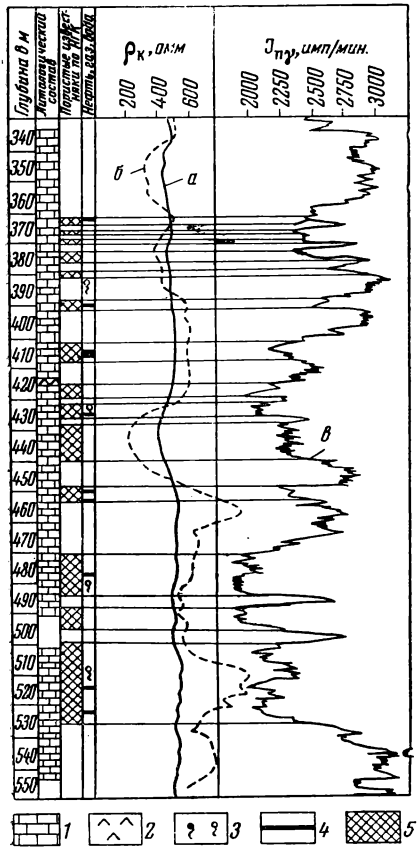


Рис. 33. Выделение нефтеносных и водоносных известняков нейтронным гамма-методом (по В. Н. Дахнову)

а — кривая кажущегося сопротивления; *б* — то же в крупном масштабе; *в* — кривая интенсивности гамма-излучения

1 — известняки; *2* — ангидрит; *3* — газопроявления; *4* — нефтепроявления; *5* — пористые зоны

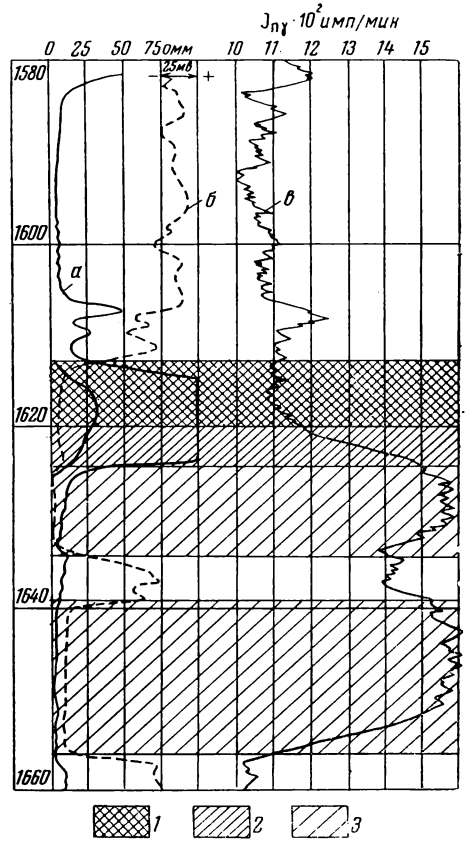


Рис. 34. Определение положения водонефтяного контакта нейтронным гамма-методом

а — кривая кажущегося сопротивления; *б* — кривая потенциалов собственной поляризации; *в* — кривая интенсивности нейтронного гамма-излучения

1 — нефтеносная часть пласта; *2* — переходная зона; *3* — водоносная часть пласта

В связи с тем, что кривая электродного потенциала представлена частым чередованием узких аномалий, скорость измерения при полуавтоматической записи берется 80—100 *м/час*.

Радиоактивный каротаж объединяет: метод естественного гамма-излучения (ГК), метод рассеянного гамма-излучения (ГГК), метод искусственной радиоактивности (НГК), нейтронный метод (ННК), метод изотопов и целый ряд других методов.

В отличие от электрических методов радиоактивные методы исследования можно проводить в скважинах, закрепленных обсадными колоннами. Эти методы дают возможность при бескерновом изучении горных пород использовать физические параметры, существенно уточняющие бескерновую геологическую документацию разрезов скважин (рис. 33).

Метод естественного гамма-излучения (*КГ*) основан на возможности расчленения пород по интенсивности гамма-излучения, возникающего при распаде естественных радиоактивных элементов: урана, радия, актиния и их радиоактивных продуктов распада, а также радиоактивного изотопа калия K^{40}_{19}. Эти элементы присутствуют в горных породах в различных количествах, поэтому, измеряя интенсивность естественного гамма-излучения, можно выделять в разрезах скважин те или иные породы и изучать качественно (а в дальнейшем, вероятно, можно будет и количественно) некоторые их характерные признаки, например степень заглинизированности коллекторов, обогащение толщ гидрохимических осадков калийными солями и др.

Нейтронный гамма-метод (*НГК*) основывается на интенсивности гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате нейтронов ядрами элементов, присутствующих в породе. С этой целью в скважину опускается измерительный прибор, в котором установлен источник нейтронов — смесь бериллия с радиоактивным веществом. Нейтроны, излучаемые источником, после ряда соударений быстро замедляются до скоростей, соответствующих скоростям теплового движения молекулы. В этом «тепловом» состоянии нейтроны легко захватываются ядрами элементов.

Захват нейтронов сопровождается гамма-излучением, интенсивность которого зависит от содержания в породе тех или иных химических элементов, замедляющих и поглощающих нейтроны, т. е. от химического состава породы. Это дает возможность, измеряя интенсивность искусственно созданного (нейтронного) гамма-излучения или плотность медленных нейтронов, получать диаграммы, четко расчленяющие разрез исследуемой скважины (рис. 34).

Из всех химических элементов водород является наиболее активным замедлителем нейтронов. Поэтому нейтронные методы исследования скважин дают возможность выделять высокопористые нефтеносные и водоносные породы и в благоприятных условиях определять коэффициент их пористости. Высокопористые породы и глины отмечаются на диаграммах минимумом нейтронного гамма-излучения. Наоборот, в газоносных и малопористых породах интенсивность этого излучения повышена. Присутствие в водах большого количества хлора, интенсивно поглощающего нейтроны и излучающего при этом более жесткое и интенсивное излучение (в среднем 3,1 гамма-кванта на один захват), дает возможность при соответствующей конструкции измерительного прибора отделить нефтеносные породы от водоносных (см. рис. 34).

Особенно хорошие результаты нейтронный гамма-метод дает при изучении карбонатных пород, содержащих минимальное количество глинистого материала.

Метод рассеянного гамма-излучения (*ГГК*) состоит в измерении интенсивности гамма-излучения радиоактивного источника (обычно радиоактивного кобальта), рассеянного окружающими породами. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что интенсивность рассеянного гамма-излучения зависит от плотности облучаемых пород. Это дает возможность, изучая рассеянное излучение, выделять в разрезах скважин породы повышенной плотности, в частности ангидриты, плотные известняки, изверженные и особенно оруденелые породы, и породы менее плотные, к которым относятся каменные угли, коллекторы повышенной пористости, каменная соль и др.

Этот метод имеет большое практическое значение для исследования угольных, нефтяных и рудных скважин.

Метод изотопов основан на изучении гамма-излучения, которое создается радиоактивными веществами, предварительно введенными в раствор, заполняющий скважину. Пористые, хорошо проницаемые породы в результате проникновения в них активированного раствора выделяются как зоны повышенной интенсивности гамма-излучения.

Оконтуривание тел полезных ископаемых

Оконтуривание тел полезных ископаемых геофизическими методами производится с достаточно высокой степенью точности. Используются для этой цели главным образом электрометрические методы.

Метод заряженного тела. При исследованиях методом заряженного тела одно из питающих заземлений присоединяется к рудному телу. Распределение линий равного потенциала на поверхности земли определяется характером залегания рудного тела, и изучение распределения этих линий дает возможность установить его контуры. Так, на Чирагидзорском месторождении в Закавказье были обнаружены штоки пирита, залегающие среди порфиров и порфиритов. На соляных месторождениях Соликамска этим методом было установлено положение полостей, заполненных соленым хорошо проводящим раствором.

Метод заряженного тела может применяться также для определения направления и скорости подземных вод.

Для этого в скважину, вскрывшую водоносный горизонт, заливается насыщенный раствор поваренной соли, содержащий избыток соли в количестве от 10 до 20 *кг*. Питающее заземление A опускается на середину исследуемого водоносного горизонта, а заземление B относится от устья скважины на расстояние, от 20 до 50 раз превышающее глубину, на которую опущено заземление A. Вода, движущаяся в водоносном горизонте, увлекает за собой рассол, в связи с чем центр зоны высокой проводимости смещается в сторону от оси скважины. Смещение центра вызывает искажение линий равного потенциала на поверхности земли в направлении движущегося потока и тем самым дает возможность определить это направление.

Скорость движения потока может быть приблизительно вычислена по величине деформации равнопотенциальной линии относительно ее первоначального положения, определенного до осолонения раствора в скважине.

Волновые методы основываются на изучении процессов распространения в горных породах электромагнитных волн, частоты которых находятся в диапазоне 10^5—10^7 периодов в секунду. В настоящее время из числа этих методов используется только метод просвечивания.

Метод просвечивания (теневой метод) позволяет исследовать пространство между пройденными горными выработками, а также между горными выработками и скважинами и тем самым дает возможность обнаруживать слепые рудные тела. Разрабатываются два варианта метода просвечивания—шахтный и скважинный. Более ценным для решения разведочных задач является скважинный вариант радиопросвечивания. Опытными работами доказано, что этот метод позволяет «просвечивать» толщу горных пород мощностью до 400 *м*.

Вспомогательные технические измерения

Вспомогательные технические измерения в процессе геологоразведочных работ сводятся к дистанционному определению технического состояния разведочных скважин (искривления, размеров) и их гидрогеологических условий.

Угол и азимут искривления скважин измеряются с помощью инклинометров ИШ-2 и ФИ. Электромагнитный инклинометр ИШ-2 позволяет определить азимут и угол наклона скважины с помощью буссоли и отвеса. Положение буссоли и отвеса посредством потенциометрических реохорд преобразуется в разности потенциалов, которые измеряются на поверхности стандартной аппаратурой. Фотоинклинометр ФИ фотографирует на пленку положение буссоли и указателя наклона.

Диаметр скважин определяется каверномером. Каверномер состоит из трех или четырех рычагов, концы которых при помощи пружины прижимаются к стенкам скважины. Рычаги соединены с электрическим изме-

рительным устройством, показания которого передаются на поверхность. Точное измерение диаметра скважины позволяет установить ряд важных в техническом отношении данных (например, возможность беспрепятственного спуска обсадной колонны и др.) и улучшить интерпретацию результатов электрических, радиоактивных и других геофизических исследований скважины.

Определение высоты подъема цемента производится термическим и радиоактивным методами.

Местоположение притоков воды определяется резистивиметром по разности удельного электрического сопротивления бурового раствора и подземных вод или термометром по разности их температур. Измерения производятся двумя способами — повышением давления (продавливанием) и понижением давления (оттартыванием).

Затрубная циркуляция вод определяется термометром и отмечается на термограммах характерным участком постоянных температур. При наличии одновременно притока вод и затрубной циркуляции участки затрубной циркуляции вод могут определяться радиоактивным методом.

Уровень жидкости в скважине устанавливается по времени пробега звуковых волн. Моменты подачи волны и приема отражения регистрируются автоматически. Зная время, прошедшее с момента подачи звукового импульса до прихода его отражения, и скорость распространения упругих волн (по данным измерения времени отражения волны от специального фланца — репера, установленного на колонне насосных труб), можно по элементарной формуле рассчитать положение уровня жидкости в скважине.

ГРУППИРОВКА РАЗВЕДОЧНЫХ СИСТЕМ

Под системой разведочных работ понимается такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и провести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого.

Из этого определения вытекают два важных обстоятельства: во-первых, системой разведки не могут быть названы беспорядочно расположенные разведочные выработки, которые не дают возможности с достаточной достоверностью выяснить формы, условия залегания и качество полезного ископаемого; во-вторых, только такая совокупность разведочных средств (горных, буровых и геофизических) может быть названа системой разведки, которая позволяет с достаточной достоверностью подсчитать запасы полезного ископаемого.

Выбор тех или иных средств разведки зависит от многих факторов и прежде всего от формы, условий залегания и степени изменчивости свойств полезного ископаемого. В соответствии с этим имеется довольно большое разнообразие систем разведочных работ, которые целесообразно рассматривать по группам[1]:

1. Группа буровых систем.
2. Группа горных систем.
3. Группа горнобуровых систем.

6. ГРУППА БУРОВЫХ СИСТЕМ

Бурение скважин является основным средством разведки, но осуществление разведки исключительно буровыми скважинами возможно лишь на месторождениях, обладающих устойчивыми формами, большими размерами, непрерывностью тела полезного ископаемого и относительно

[1] Сюда не включены поверхностные выработки, которые полностью отнесены к поисково-разведочному этапу работ, хотя дополнительные выработки на поверхности проходятся не только во время разведки, но даже в период эксплуатации.

равномерным его качеством. В противном случае, при неустойчивых формах и резкой прерывистости минерализации, свойственной многим месторождениям цветных, редких и драгоценных металлов, невозможна сколько-нибудь надежная интерполяция данных между двумя смежными разведочными скважинами.

Можно назвать четыре основных вида буровых систем, применяемых в зависимости от геологических особенностей объекта разведки:

I. Системы мелких вертикальных скважин.

II. Системы глубоких вертикальных скважин.

III. Системы наклонных скважин.

IV. Системы глубоких скважин переменной кривизны.

Различия в технических средствах разведки накладывают отпечаток и на системы разведочных работ. Поэтому целесообразно внутри каждого из названных видов различать буровые системы по типу применяемых буровых агрегатов, так как и производительность труда и эффективность разведки зависят от характера используемого оборудования. Следует также иметь в виду, что в понятие «система разведки» входит тип геофизических измерений как важное средство разведки.

I. Системы мелких вертикальных скважин применяются для разведки неглубоко залегающих пологих и горизонтальных плоских тел полезного ископаемого, обычно с относительно малой изменчивостью качества: месторождений озерно-болотных руд, глин, песков, месторождений коры выветривания, водоносных горизонтов, россыпей и т. п. Наибольшее применение эти системы находят при разведке сильно обводненных долинных россыпей золота.

Эти разведочные скважины чаще всего не выходят из пределов молодых рыхлых отложений. Глубина их составляет 10—15 *м*, реже достигает 20—30 *м*. Располагаются они главным образом вдоль разведочных линий (параллельных и близких к параллельным), которые обычно прокладываются поперек продуктивной зоны, захватывая всю ее ширину. Такая ориентировка разведочных линий в большинстве случаев совпадает с направлением наибольшей изменчивости тела полезного ископаемого (рис. 35). Реже буровые скважины располагаются по какой-либо правильной сети.

По техническим средствам разведки среди систем мелких вертикальных скважин следует выделить три типичные разновидности:

I*а*. Система мелких вертикальных скважин вращательного бурения осуществляется буром Эмпайр или шнековым механическим устройством.

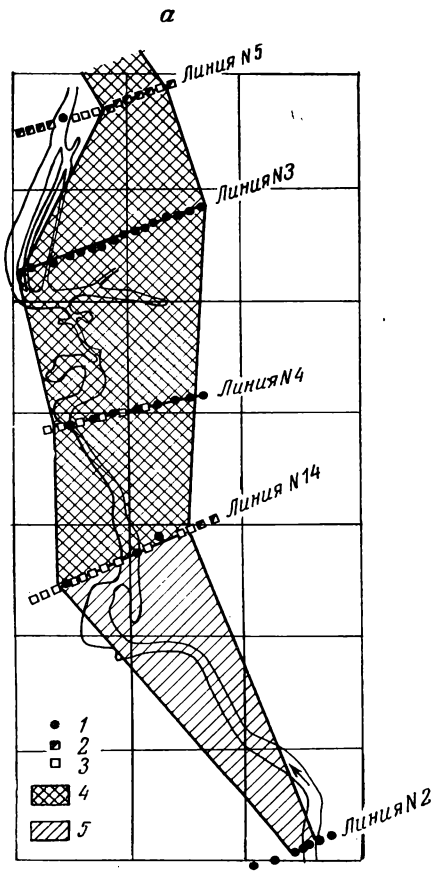
I*б*. Система мелких вертикальных скважин комбинированного ударного и вращательного бурения реализуется с помощью простейшего бурильного комплекта или с применением малой механизации (вибратор).

I*в*. Система мелких вертикальных скважин механического ударно-канатного бурения проводится с помощью самоходных станков.

II. Системы глубоких вертикальных скважин служат для разведки глубоко залегающих, в общем пологих плоских тел полезного ископаемого и месторождений изометрической формы типа крупных штокверков. Примерами объектов, благоприятных для применения данных систем, могут служить: платформенные месторождения углей, погребенные крупные россыпи, залежи бокситов, пластообразные тела медистых песчаников типа джезказганских, штокверки медно-порфировых руд типа коунрадских, многие пласты нерудных полезных ископаемых. Исключительно широко эти системы применяются при разведке нефтяных месторождений и артезианских вод.

Системы глубоких вертикальных скважин обычно охватывают глубины от 70 до 1000 *м*. Бóльшие глубины характерны лишь для разведки нефтяных и некоторых соляных месторождений. Кроме того, скважины глубиной свыше 1000 *м* в большинстве случаев испытывают столь значительные произвольные и часто неожиданные искривления, что сочетание таких скважин не может быть названо системой вертикальных скважин.

Располагаются буровые скважины преимущественно по какой-либо разведочной сети, а также по параллельным и реже разноориентированным разведочным линиям. Преимущественное расположение выработок по правильной, чаще всего квадратной, разведочной сети в этой системе определяется тем, что в большинстве случаев для пластообразных и штокверковых, часто изометричных тел, особенно для тех, которые залегают на значительных глубинах и не имеют выхода на дневную поверхность, невозможно определить характер анизотропии в отношении изменчивости свойств до окончания разведки.



При разведке глубокими вертикальными скважинами применяются совершенно другие буровые агрегаты по сравнению с бурением мелких разведочных скважин. По типу буровых агрегатов целесообразно различать четыре системы глубоких вертикальных скважин:

II*а*. Система глубоких вертикальных скважин ударно-канатного бурения проходится с помощью тяжелых ударно-канатных станков. Система применяется в тех случаях, когда не обязательно получение керна. Может быть рекомендована для пород любой крепости, но наиболее эффективна в крепких и очень крепких, особенно в трещиноватых породах. Громоздкость и большой вес ударно-канатных агрегатов часто служат препятствием широкому применению данной системы в горной местности. Ка-

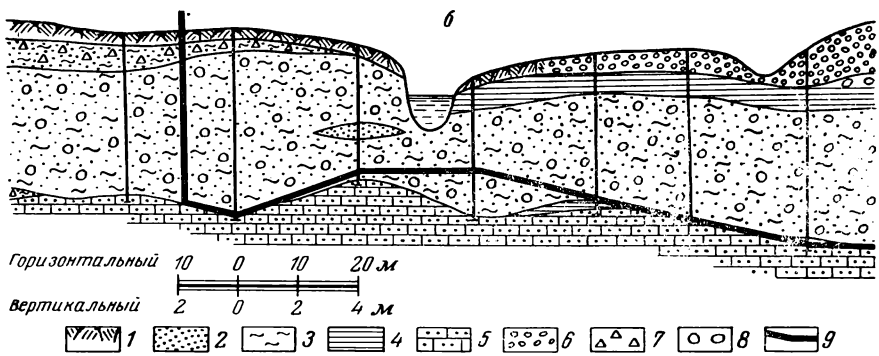


Рис. 35. Система разведки россыпи мелкими вертикальными скважинами (по В. И. Смирнову)

а — план: *1* — скважина; *2* —шурф; *3* —шурфоскважина; *4* — запасы категории В; *5* — запасы категории C_1;

б — профиль части разведочной линии: *1* — растительный слой; *2* — пески; *3* — глины; *4* — суглинки; *5* — песчаники; *6* — галечники; *7* — щебень; *8*—валуны; *9*— граница промышленной части россыпи

ротаж скважин в большинстве случаев обязателен. Эта важная для штокверковых месторождений буровая система в СССР несправедливо игнорируется.

II*б*. Система глубоких вертикальных скважин колонкового бурения применяется при необходимости получения керна. В качестве буровых агрегатов используются обычные станки колонкового бурения. Система применима в породах любой крепости. Часто необходим коротаж для корректирования данных, полученных по интервалам с неполным выходом керна. Особенно хорошие результаты эта система дает при разведке каменноугольных бассейнов на площадях пологого залегания углей.

II*в*. Комбинированная система скважин ударно-канатного и колонкового бурения оказывается рациональной в тех случаях, когда необходимо получить как можно больше материала для массовых проб и детально изучить геологический разрез, характер минерализации и внутреннее строение залежи полезного ископаемого. Первое условие обеспечивается ударно-канатным бурением с достаточно большим диаметром скважин. Вторая задача лучше всего решается с помощью скважин колонкового бурения (по керну). Отношение количества колонковых скважин к ударно-канатным колеблется от 1 : 1 до 1 : 10 в зависимости от сложности геологического строения месторождения, его размеров и задач опробования. Эта система применима к штокверковым месторождениям и некоторым другим.

Другая модификация данной системы представляет собой сочетание обоих видов бурения в одной скважине, когда, например, верхняя часть скважины проходится в породах, неблагоприятных для колонкового бурения (галечники или очень крепкие породы), особенно если для них не требуется керн, а нижняя, проходимая по полезному ископаемому, бурится с отбором керна. Есть и специальные станки для применения комбинированного бурения.

II*г*. Система глубоких вертикальных скважин роторного и турбинного бурения используется для разведки нефти и газа.

III. Системы наклонных скважин применяются для разведки крутопадающих и наклонных плоских тел полезного ископаемого—пластовых, жилообразных и линзообразных. В чистом виде эти системы применяются редко (для некоторых каменноугольных районов), так как верхние части такого рода месторождений обычно вскрываются горными выработками. Они часто используются для доразведки месторождений, эксплуатировавшихся в верхней части старыми рудниками (рис. 36,*а*).

Характерной особенностью данных систем является различная глубина скважин и различный угол их наклона в зависимости от геологических условий залегания месторождения. Эта особенность вытекает из принципа равномерности, ибо равномерное расположение пунктов пересечения крутопадающего тела полезного ископаемого на различных глубинах требует различной длины скважин (рис. 36,*б*), а изменение угла падения пластообразных тел и продуктивных зон вызывает необходимость изменения угла наклона скважин. Обычно глубины наклонных буровых скважин колеблются в пределах 50—1200 *м*. Скважины более глубокие вследствие произвольных искривлений требуют иного подхода к проходке и рассматриваются ниже, в другой группе систем.

Скважины задаются преимущественно по разведочным линиям, ориентированным вкрест простирания тела полезного ископаемого или продуктивной зоны. Иногда сближенное положение таких разведочных линий в совокупности преобразуется в правильную разведочную сеть.

Системы наклонных скважин проходятся с помощью агрегатов колонкового бурения и существенных различий по виду применяемого оборудования не имеют.

IV. Системы глубоких скважин переменной кривизны пока не имеют широкого распространения в разведочной практике, но, вероятно, им принадлежит большое будущее, поскольку разведочные и горные работы уходят на все большие глубины, где желательно по мере надобности изменять угол наклона буровых скважин. В настоящее время скважины переменной кривизны под названием «скважин наклонно-напра-

вленного бурения» проходятся при разведке на нефть, при инженерных и других специальных изысканиях (когда они задаются под реки, под строения и т. п.), а также при глубоких разведках рудных месторождений с большой изменчивостью качества.

Сущность такой системы состоит в том, что буровым скважинам на разных интервалах глубины придаются различные углы наклона в соответствии

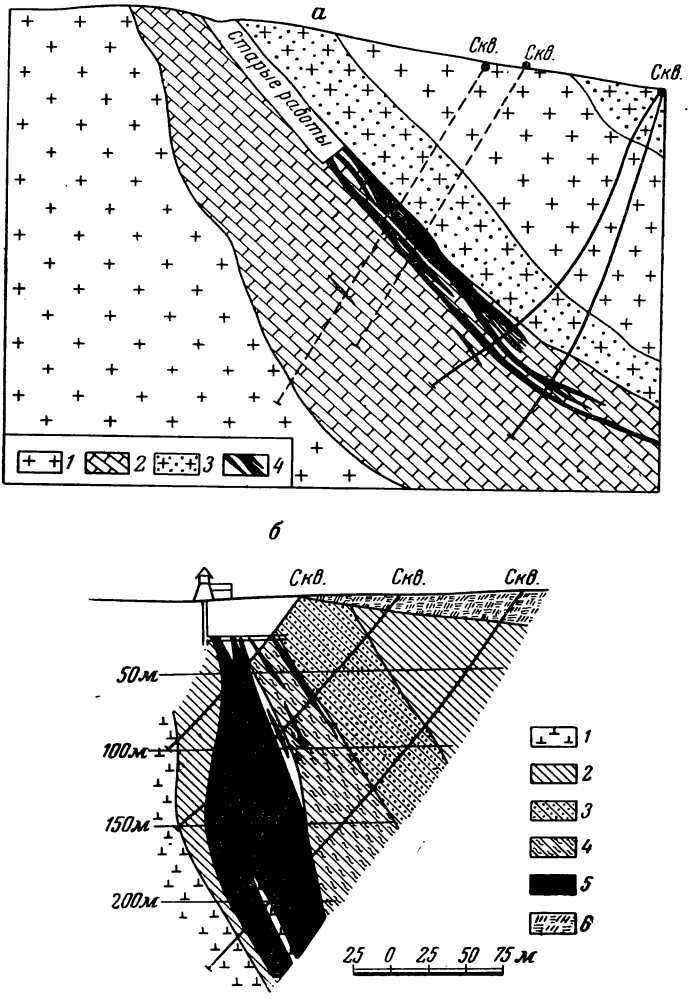


Рис. 36. Система наклонных буровых скважин

а — система доразведки жил Савинского месторождения: *1* — кварцевые диориты; *2*—известняки; *3*—сланцы и кварциты; *4*—рудные тела

б — система разведки медистых колчеданов: *1* — альбитофиры; *2* — сланцы; *3* — сланцы окварцованные; *4* — сланцы пиритизированные; *5* — колчедан; *6* — бурые глины

с задачами разведки. Таким образом, скважина, заданная вначале вертикально, принудительно искривляется под любым углом или, наоборот, наклонная скважина на некоторой глубине превращается в вертикальную и т. п.

Бурение такого рода скважин и формирование соответствующих буровых систем стало возможным с внедрением в практику разведочных работ турбинного бурения. Правда, пока еще использование турбинного бурения при разведке полезных ископаемых ограничивается бурением на нефть. Но, безусловно, этот прогрессивный вид бурения, а с ним и соответствующие системы буровых работ найдут широкое применение и при разведке твердых полезных ископаемых, особенно на больших глубинах.

7. ГРУППА ГОРНЫХ СИСТЕМ

Горными системами осуществляется полная и наиболее достоверная разведка месторождений. Нередко горными работами вновь «создавались» месторождения или переоценивались забракованные в результате бурения рудники (например, Ивановский и др. в Восточном Забайкалье). Однако, поскольку проходка горных выработок требует значительных затрат времени и средств, применение горных систем в чистом виде обычно ограничивается сложными телами полезных ископаемых, весьма неустойчивыми по формам и с крайне неравномерным распределением полезного ископаемого.

Горные системы группируются в три вида:

V. Системы разведочных шурфов.

VI. Системы разведочных штолен.

VII. Системы разведочных шахт.

Внутри каждого вида различаются модификации, зависящие главным образом от характера и геологических условий залегания полезного ископаемого.

V. Системы разведочных шурфов по условиям их применения подобны системам мелких буровых скважин: они служат для разведки пологих близповерхностных тел полезных ископаемых. Но использование шурфов вместо разведочных скважин целесообразно лишь в тех случаях, когда тела полезного ископаемого обладают сильной изменчивостью качества и сложным внутренним строением. Важным условием применения системы шурфов является безводность или слабая обводненность разведочного участка.

Помимо применения к мелко залегающим месторождениям (кирпичные глины), целесообразно использовать шурфы в условиях особой дешевизны их проходки (дудки для разведки каолина).

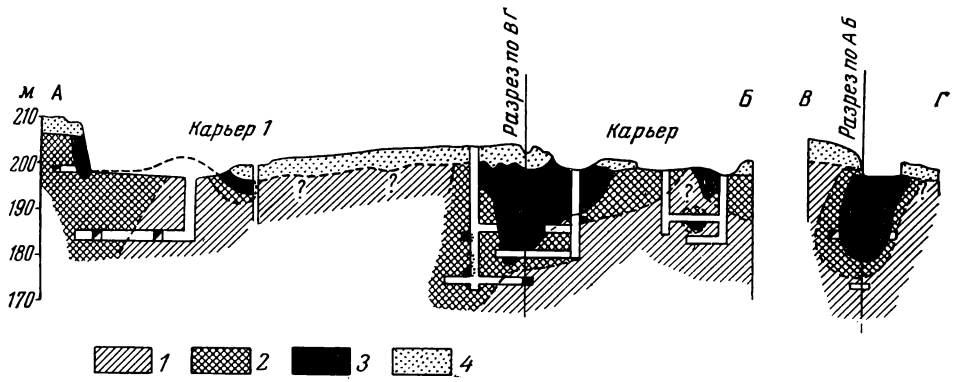


Рис. 37. Система шурфов с рассечками на месторождении Семиз-Бугу (по П. М. Татаринову)

1 — вторичный кварцит; *2* — андалузитовая порода; *3* — залежи корунда; *4* — делювий

Глубины, до которых разведка шурфами достаточно экономична, составляют 15—20 *м*; глубже работы значительно удорожаются. Ориентировочным пределом применения данной системы следует считать среднюю глубину шурфов 30 *м*.

Расположение разведочных шурфов обычно линейное, но для месторождений с неясной анизотропией свойств (месторождения коры выветривания, делювиальные россыпи и т. п.) нередко применяется и правильная разведочная сеть.

Можно различать две разновидности систем разведочных шурфов:

V*а*. Система простых шурфов, подобно буровым скважинам, призвана произвести ряд пересечений тела полезного ископаемого.

Vб. Система шурфов с рассечками представляет собой более сложное сочетание разведочных выработок и более надежно освещает подземную ситуацию и внутреннее строение полезного ископаемого (рис. 37). Особенно характерна система шурфов с квершлагами.

VI. Системы разведочных штолен возможны лишь на местности с расчлененным рельефом и применяются для самых разнообразных по формам и условиям залегания тел полезного ископаемого. Сущность разведки штольнями состоит в создании серии горизонтальных сечений (разрезов[1]) тела полезного ископаемого. Поэтому, если поперечные разрезы тела полезного ископаемого превышают габариты штольни, то от нее в обе стороны проходятся рассечки до пересечения контакта полезного ископаемого с вмещающими горными породами (рис. 38). Расстояние между разведочными штольнями по вертикали зависит от вероятной высоты этажа при будущей эксплуатации разведываемого месторождения. Обычно его рационально принимать равным двойной и даже тройной высоте эксплуатационного этажа.

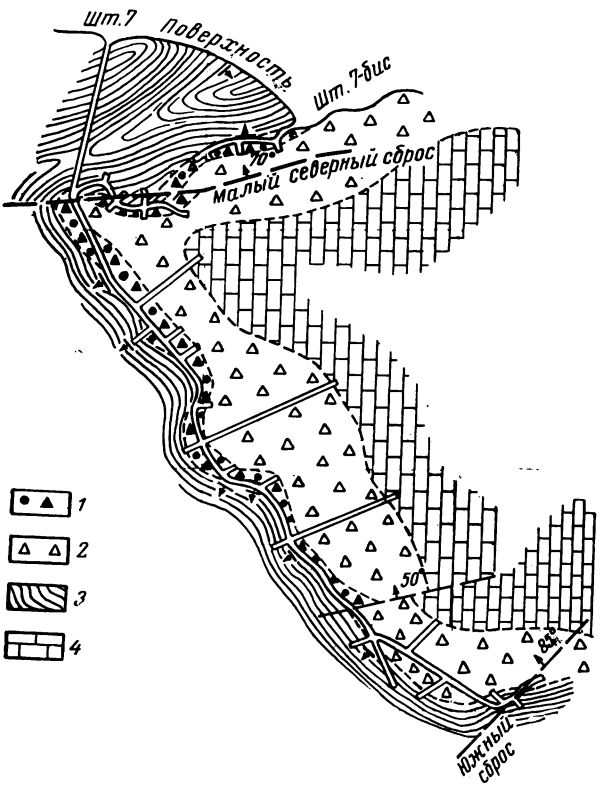


Рис. 38. Разведка штольней с рассечками (по А. К. Полякову)

1 — оруденелая брекчия промышленная; *2* — оруденелая брекчия непромышленная; *3* — сланцы; *4* — известняки

Глубина, до которой можно вести разведку собственно штольнями, определяется степенью расчлененности рельефа; в общем случае она равна расстоянию от выхода полезного ископаемого на самой высокой точке месторождения до самой низкой отметки рельефа на разведочном участке. Глубже система разведки уже приобретает комбинированный характер, переходя в сочетание штольни со слепой разведочной шахтой или гезенком.

Следует выделить три основные разновидности систем разведочных штолен:

VIа. Система штолен, прокладываемых по простиранию продуктивной зоны, удобна в тех случаях, когда вкрест простирания последняя обнажена (разрезана) горным распадком или речной долиной.

VIб. Система штолен квершлажного типа применяется в случае расчлененности рельефа вдоль продуктивной зоны месторождения. Штольня проводится вкрест простирания тела полезного ископаемого (зоны), и от места пересечения его штольней задаются штреки по простиранию.

Конечно, проходятся штольни и под углом к простиранию рудного тела.

---

[1] Здесь и ниже говорится о разрезах, непосредственно проходящих через разведочные выработки (без использования близлежащих выработок).

VI*в*. Система штолен со слепой шахтой на нижнем горизонте представляет собой уже комбинированную систему и применяется в тех случаях, когда тело полезного ископаемого погружается ниже самой низкой отметки разведочного участка (рис. 39).

VII. Системы разведочных шахт оказываются рациональными в тех случаях, когда другим, более дешевым путем невозможно разведать месторождение. Основными условиями применения системы разведочных шахт являются относительно ровный рельеф поверхности и глубокое залегание крайне изменчивых тел полезного ископаемого (редких и драгоценных металлов и минералов).

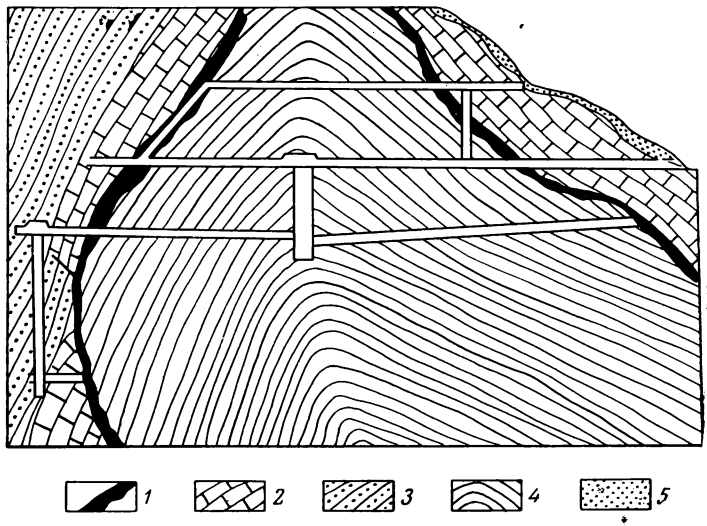


Рис. 39 Система разведки штольнями со слепыми шахтами (по П. М. Татаринову)

1 — тальк; *2* — известняк; *3* — граувакка; *4* — графитовый сланец; *5* — делювий

Сама шахта не является разведочной выработкой. Она предназначается лишь для вскрытия месторождения (и впоследствии может использоваться для вспомогательных эксплуатационных целей). Основное разведочное назначение выполняют выработки, задаваемые из шахты в виде квершлагов и штреков. Эти последние нарезаются подобно штольням через определенные интервалы по глубине и также создают серию горизонтальных сечений тела полезного ископаемого.

Глубины разведочных шахт обычно не превышают 150—200 *м*. Более глубокие горизонты месторождения разведываются системой шахт уже в процессе эксплуатации, когда горные выработки проходятся на глубину одновременно и для разведки и для разработки месторождения.

По характеру и сочетаниям подземных горных выработок, применяемых в зависимости от геологического строения месторождения, различаются три разновидности систем разведочных шахт:

VII*а*. Система вертикальных разведочных шахт с квершлагами широко распространена в практике. Шахты обычно задаются в лежачем боку месторождения и с помощью квершлагов достигают тела полезного ископаемого на различных горизонтах. От квершлагов развивается сеть штреков, ортов и других подземных выработок (рис. 40).

VII*б*. Система вертикальных разведочных шахт, пересекающих продуктивную зону, применяется для разведки пологих, часто слепых тел полезного ископаемого типа джезказганских медистых песчаников или донной залежи медно-никелевых руд Монче-тундры. В этом случае от ствола шахты в пункте пересечения продуктивной зоны проходятся горизонтальные

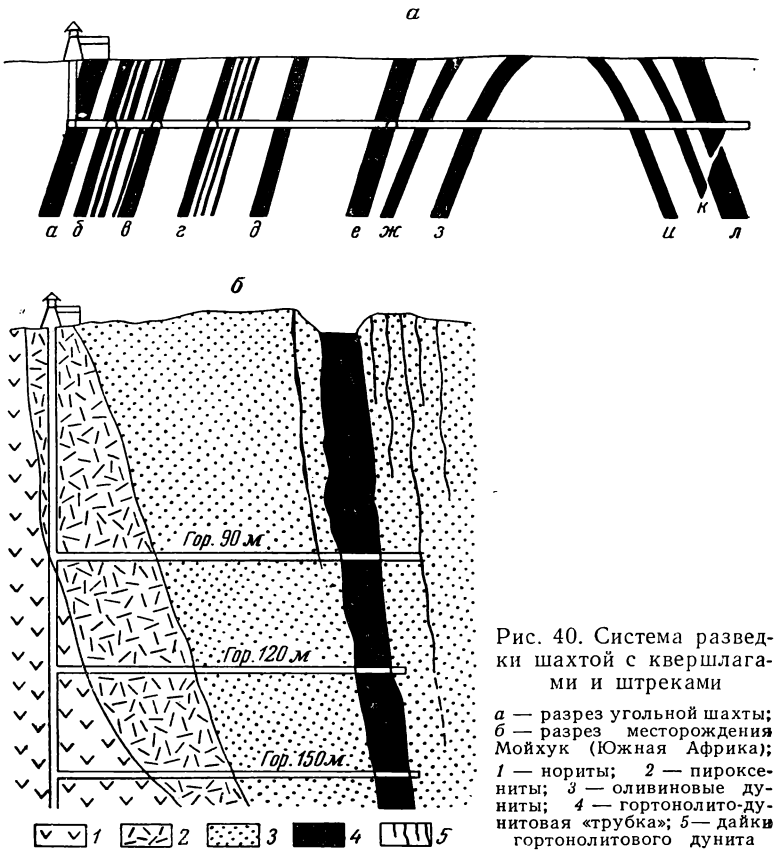


Рис. 40. Система разведки шахтой с квершлагами и штреками

а — разрез угольной шахты; *б* — разрез месторождения Мойхук (Южная Африка); *1* — нориты; *2* — пироксениты; *3* — оливиновые дуниты; *4* — гортонолито-дунитовая «трубка»; *5* — дайки гортонолитового дунита

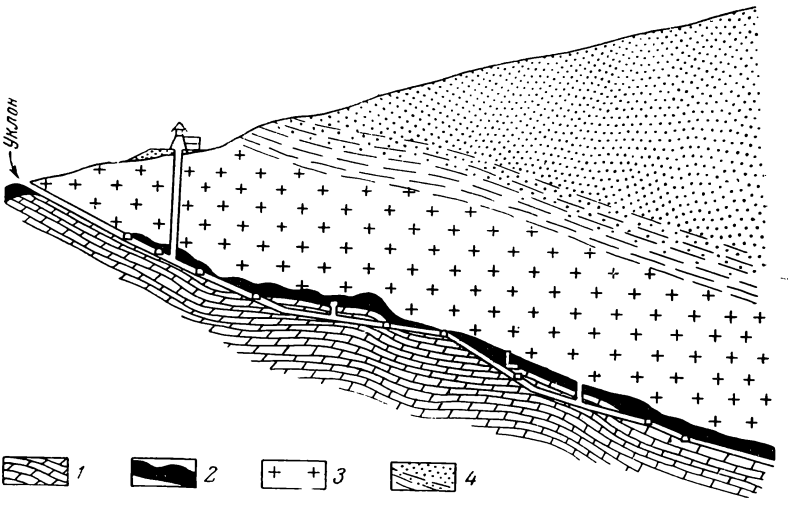


Рис. 41. Система вертикальных шахт, пересекающих пологие рудные зоны, с штреками, восстающими и уклонами (месторождение Ледвиль, Колорадо)

1 — голубой известняк; *2* — руда; *3* — белый порфир; *4* — песчано-сланцевая толща

или наклонные (в зависимости от геологического строения месторождения) подземные выработки в виде штреков, уклонов и рассечек из них (рис. 41).

VII*в*. Система наклонных шахт осуществляется путем проведения последних по направлению падения плоского тела полезного ископаемого. От шахты по телу полезного ископаемого на различных горизонтах проходятся штреки и другие подземные выработки (рис. 42).

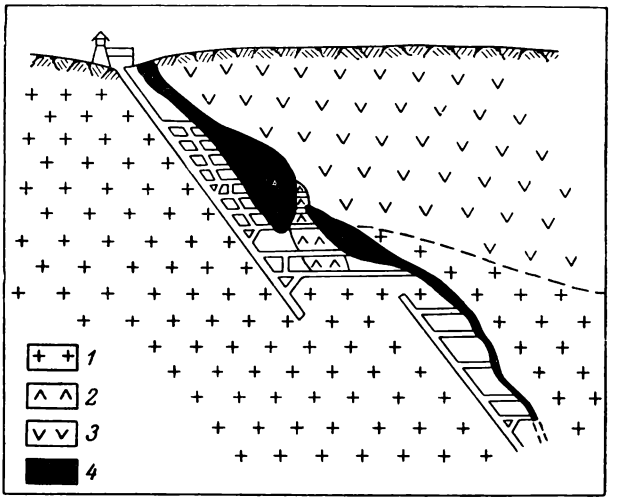


Рис. 42. Система разведки наклонной шахтой с квершлагами (рудник Крейтон, Сёдбери)
1 — граниты; *2* — зеленокаменные породы; *3* — нориты; *4* — сульфидные руды

8. ГРУППА КОМБИНИРОВАННЫХ ГОРНОБУРОВЫХ СИСТЕМ

Большинство месторождений черных, цветных, редких и драгоценных металлов и многие месторождения неметаллических полезных ископаемых разведываются с помощью буровых и горных разведочных выработок. Горнобуровые разведочные системы, представляющие собой рациональное сочетание тех или иных горных и буровых выработок, наиболее широко распространены в разведочной практике. В зависимости от степени изменчивости свойств полезного ископаемого в одних системах преобладают горные выработки, в других — буровые скважины.

Разнообразие технических средств разведки и их возможных сочетаний обусловливает обилие более или менее отличных друг от друга горнобуровых разведочных систем. Здесь обращается внимание на наиболее распространенные виды комбинированных горнобуровых систем:

VIII. Системы мелких вертикальных скважин с контрольными шурфами.

IX. Системы разведочных штолен и буровых скважин.

X. Системы разведочных шахт и буровых скважин.

VIII. Системы мелких вертикальных скважин с контрольными шурфами находят применение в тех же условиях, что и системы мелких скважин или системы шурфов. В данной комбинированной системе шурфы служат для подтверждения данных, полученных бурением, а поэтому их назначение главным образом контрольное. Обычно количество шурфов составляет 5—10% от количества буровых скважин.

Шурфы следует располагать по разведочной буровой сети и в пунктах уже пройденных скважин (т. е. сопряженных). Этим путем контролируются не только средние величины, полученные по данным буровых скважин,

но также частные значения мощностей полезного ископаемого и содержаний полезных компонентов по отдельным скважинам, сопряженным с шурфами.

IX. Системы разведочных штолен и буровых скважин чаще всего применяются на месторождениях, погружающихся на большие глубины, когда верхняя часть месторождения разведывается штольнями, а нижняя — буровыми скважинами. При этом возможны две основные модификации систем:

IX*а*. Система штолен и наклонных буровых скважин, задаваемых с поверхности, удобна при падении тела полезного ископаемого в сторону понижения рельефа.

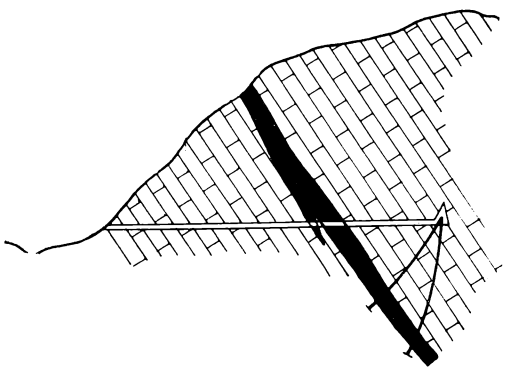


Рис. 43. Сочетание штольни и подземных буровых скважин

IX*б*. Система штолен и наклонных буровых скважин подземного бурения, задаваемых с нижних разведочных горизонтов, рациональна при падении тела полезного ископаемого в сторону, противоположную понижению рельефа (рис. 43).

X. Системы разведочных шахт и буровых скважин характерны для разведки крутопадающих и уходящих на большие глубины продуктивных зон и отдельных тел полезного ископаемого при ровной поверхности разведочного участка. В таких условиях проходка очень глубоких шахт для разведочных целей неприемлема, а разведка только буровыми скважинами для многих месторождений ненадежна. Поэтому верхняя часть месторождения разведывается какой-либо системой разведочных шахт, а нижняя — буровыми скважинами. При этом, так же как в случае комбинирования бурения со штольнями, различаются две разновидности систем:

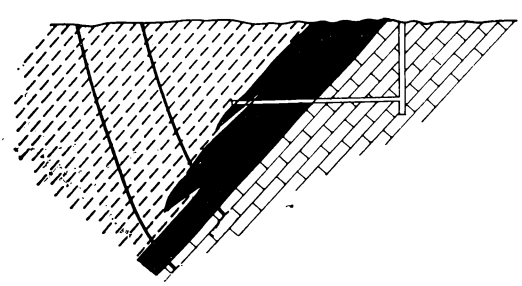


Рис. 44. Сочетание разведочной шахты с буровыми скважинами

X*а*. Система разведочных шахт и буровых скважин, задаваемых с поверхности (рис. 44).

X*б*. Система разведочных шахт и буровых скважин подземного бурения (рис. 45).

Кроме перечисленных главных систем разведочных работ, существует несколько комбинаций подземных горных разведочных выработок с горизонтальными буровыми скважинами, заменяющими рассечки и орты, а также другие сочетания различного рода горных выработок и буровых скважин, имеющие второстепенное значение.

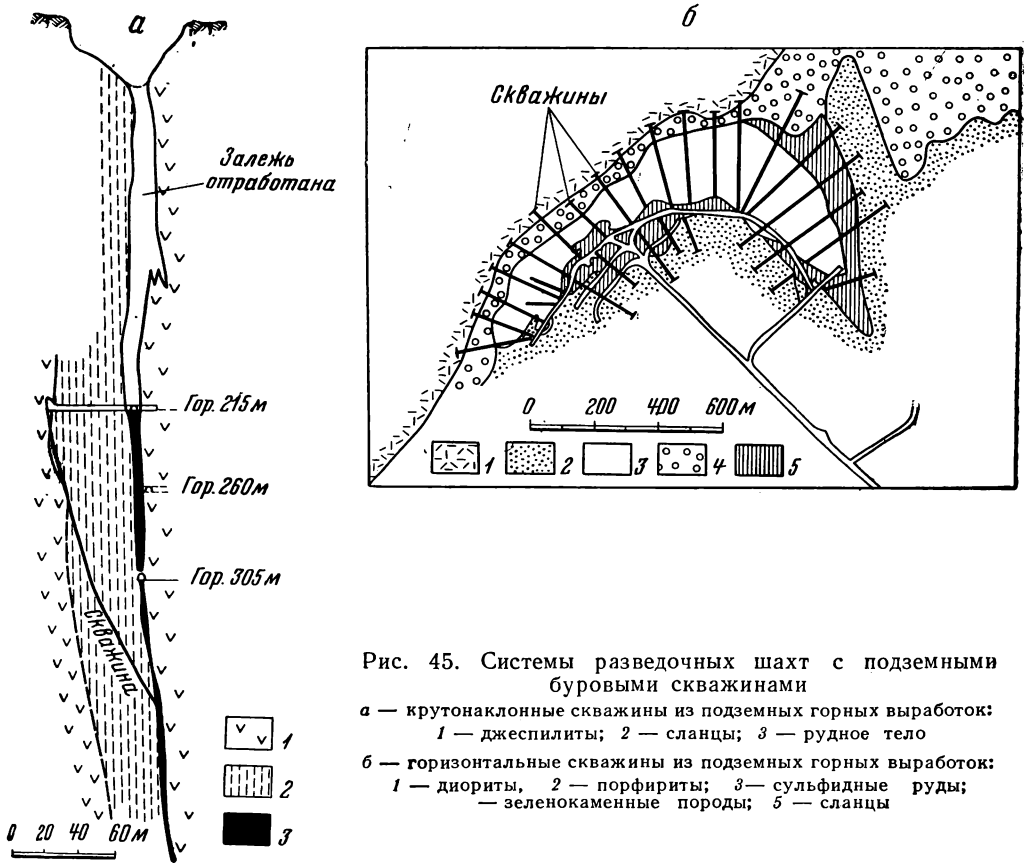


Рис. 45. Системы разведочных шахт с подземными буровыми скважинами

а — крутонаклонные скважины из подземных горных выработок: *1* — джеспилиты; *2* — сланцы; *3* — рудное тело

б — горизонтальные скважины из подземных горных выработок: *1* — диориты, *2* — порфириты; *3*— сульфидные руды; — зеленокаменные породы; *5* — сланцы

9. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР СИСТЕМЫ

Выбор той или иной системы и технических средств разведки зависит от различных природных и технико-экономических условий. Эти условия весьма многообразны. В одних случаях решающее значение имеют одни факторы, например природные геологические особенности месторождения, в других случаях выбор системы диктуется почти исключительно технико-экономическими соображениями. Таким образом, проблема выбора системы и, следовательно, технических средств разведки, составляющая основное содержание проектирования разведочных работ, довольно сложна, и решение ее не всегда бывает однозначным.

Целесообразно все разнообразие факторов, определяющих выбор системы и технических средств разведки, сгруппировать следующим образом:

1. Геологические факторы, характеризующие месторождение.
2. Горнотехнические условия залегания месторождения.
3. Общая географо-экономическая обстановка.

Геологические факторы, характеризующие месторождение, обычно играют основную роль при выборе системы и средств разведки. К числу этих факторов относятся форма и размеры месторождения, а также характер и степень изменчивости качества полезного ископаемого.

Форма месторождения влияет двояко на выбор системы и средств разведки. Во-первых, геометрические параметры тела полезного ископаемого определяют ту или иную разновидность метода разрезов, а следовательно, и характер разведочной сети и вид разведочных выработок. Во-вторых, степень изменчивости форм оказывает влияние на выбор средств и, следовательно, системы разведки. Буровые скважины в случае сложных тел не

обеспечивают необходимой полноты картины, а о разведке бурением мелких изометричных тел и зон с прерывистой минерализацией не приходится и говорить. В подобных случаях горные выработки имеют безусловное преимущество перед буровыми скважинами.

Таким образом, чем сложнее форма месторождения, тем больше возрастает роль горных разведочных выработок и соответственно уменьшается роль буровых скважин.

Размеры месторождения определяют выбор и системы и технических средств разведки. Трубообразные рудные тела, обычно разведываемые горными выработками вследствие высокой степени изменчивости форм, при очень крупных размерах могут разведываться и буровыми скважинами. Напротив, плоские пластообразные тела полезного ископаемого, часто разведываемые исключительно бурением, при очень малых размерах должны хотя бы частично разведываться с помощью горных выработок.

Следовательно, чем крупнее месторождение, тем бóльшая доля в его разведке принадлежит буровым скважинам и, наоборот, чем меньше месторождение, тем больше возрастает значение горных разведочных выработок.

Качество полезного ископаемого, т. е. его вещественный состав, оказывает влияние на выбор системы и технических средств разведки в двух направлениях. Прежде всего, степень изменчивости качества и возможности выделения его природных типов и промышленных сортов прямо определяют систему и средства разведки. Для тел с пестрой гаммой сортов должны применяться горнобуровые системы, а из буровых средств — чаще всего колонковое бурение. Очень полезно при этом применять каротаж, вид которого в свою очередь зависит от характера и качества полезного ископаемого. Простые по внутреннему строению месторождения могут успешно разведываться простейшими буровыми средствами.

Кроме того, выбор системы разведочных работ зависит от народнохозяйственной ценности полезного ископаемого. При прочих равных условиях высокоценные полезные ископаемые разведываются горными системами, малоценные — буровыми.

Таким образом, чем ценнее полезное ископаемое и чем выше степень изменчивости его качества, тем большее значение в его разведке приобретают горные выработки и наоборот.

Горнотехнические условия залегания месторождения включают, с одной стороны, соотношения рельефа поверхности, глубины и элементов залегания месторождения, а с другой — его доступность для тех или иных технических средств разведки по характеру вмещающих пород и водоносности.

Рельеф поверхности разведываемого участка имеет большое значение для выбора системы разведки. Равнинный рельеф позволяет из горных систем применять лишь системы шурфов или шахт. В условиях расчлененного рельефа преимущество приобретают горизонтальные разведочные выработки. Различная крутизна рельефа и проходимость местности определяют и различные решения при выборе вида горной, буровой или комбинированной системы.

Элементы залегания месторождения также сильно влияют на выбор системы разведки. Пологие тела полезного ископаемого разведываются какой-либо системой вертикальных выработок (горных или буровых). Крутопадающие тела могут разведываться наклонными буровыми скважинами (колонковыми) и горизонтальными выработками. При определенных сочетаниях рельефа поверхности и элементов залегания месторождения система горизонтальных выработок может осложняться проходкой вертикальных или наклонных шахт, а может появиться необходимость и в применении комбинации горных выработок и буровых скважин. Всегда неблагоприятно падение тела полезного ископаемого в сторону повышения рельефа местности. В этом случае увеличивается длина разведочных

выработок; иногда даже приходится бурить «вдогонку» телу полезного ископаемого.

Глубина залегания месторождения резко отражается на объемах разведочных выработок. Поэтому чем глубже залегает месторождение, тем более дешевыми должны быть разведочные системы. Следовательно, глубоко залегающие тела полезного ископаемого целесообразнее разведывать буровыми скважинами, причем количество их должно быть минимальным.

Характер вмещающих горных пород непосредственно влияет на выбор того или иного технического средства разведки и таким образом воздействует на выбор системы разведки в целом. Главные показатели, учитываемые при этом,— крепость и устойчивость пород, перекрывающих полезное ископаемое, если разведочные выработки задаются в висячем боку месторождения, и подстилающих, если разведочные выработки проходятся в лежачем боку.

Сравнительная крепость и устойчивость полезного ископаемого и вмещающих пород влияют на расположение горных выработок, предназначенных для прослеживания месторождений по простиранию. Если руда крепче вмещающих пород или менее устойчива, то штольни и штреки обычно следует проводить по вмещающим породам, лучше всего в лежачем боку рудного тела, по контакту. Если вмещающие породы крепче или менее устойчивы, чем руда, то, безусловно, разведочная выработка должна направляться по руде.

Чтобы вертикальной шахтой не проходить, например, плывунов, залегающих в висячем боку месторождения, можно заложить наклонную шахту в лежачем боку тела полезного ископаемого, направив ее по падению тела, или провести ее по самому телу. При легкой проходимости горных пород часто следует предпочесть горные разведочные выработки буровым скважинам.

Водоносность разведываемого участка определяет выбор между горными выработками и буровыми скважинами. При большой водообильности участка приходится выбирать буровые системы, так как откачка воды из шурфов, шахт и других разветвленных систем горных выработок сильно осложняет процесс разведки и удорожает работы. Исключение составляет лишь штольневая система разведки, так как в условиях сильно расчлененного рельефа, когда она применяется, притоки воды в горные выработки обычно невелики.

Общая географо-экономическая обстановка, в которой находится разведываемое месторождение, существенно влияет на выбор системы разведки. Из этой группы факторов главнейшими являются: транспортные возможности, энергетическая база, водные ресурсы, наличие крепежного леса, климат.

Транспортные возможности определяются характером и благоустроенностью магистральных путей сообщения и подъездов к месторождению, а также видом транспорта, который может быть использован в данных условиях. При близком расположении железнодорожных путей легко доставить на участок разведки наиболее тяжелое оборудование и организовать планомерное снабжение разведочной партии всем необходимым. Если же сообщение с разведочным участком поддерживается только с помощью вьючного или воздушного транспорта, то приходится выбирать и соответствующие средства, а следовательно, и систему разведки. При прочих равных условиях буровое оборудование мобильнее механизированных средств проходки глубоких горноразведочных выработок.

Энергетическая база влияет на выбор технических средств разведки. В общем случае горные работы являются более энергоемкими (в 3—4 раза на 1 *пог. м* выработки) и при отсутствии достаточно мощного источника энергии должны уступать место буровым.

Водные ресурсы должны рассматриваться с точки зрения обеспеченности как технической, так и питьевой водой.

Например, при отсутствии воды на разведочном участке колонковое бурение невозможно. Сильнокислые воды требуют специального оборудования. Очень жесткая вода, непригодная для охлаждения передвижной электростанции, может быть приемлема для нефтяного мотора буровой вышки. Все подобные обстоятельства влияют на выбор технических средств разведки.

Косвенно оказывают влияние на выбор системы разведки и ресурсы питьевой воды. В пустыне, например, кроме прочих соображений, определяющих выбор системы разведки, надо учитывать необходимость содержания в разведочной партии минимального числа рабочих исходя из условий водоснабжения; следовательно, и система разведки должна быть наиболее экономной в отношении расхода рабочей силы.

Наличие крепежного леса определяет возможность применения горных разведочных выработок в неустойчивых породах. В случае отсутствия местного леса и невозможности доставки крепежного леса к разведочному участку приходится отказываться от горных выработок и выбирать иную систему разведки.

Климат иногда оказывает существенное влияние на выбор системы разведки. В районах с долгими и вьюжными зимами, когда сильно затрудняется работа на поверхности, бывает целесообразно отказаться от буровых работ и сосредоточить работы под землей, так как в таких условиях горные выработки могут оказаться более дешевым средством разведки, чем буровые скважины.

10. О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ РАЗВЕДОЧНЫХ СИСТЕМ

Рассмотренная группировка разведочных систем и краткая их характеристика базируются исключительно на выработанных практикой эмпирических правилах и поэтому носят чисто описательный характер. Каких-либо серьезных технико-экономических расчетов в обоснование различных систем разведки не публиковалось и, вероятно, не производилось. В то же время уже из высказанных здесь соображений ясно, что при сравнении различных систем разведки и выборе наиболее рациональной существенное, а иногда решающее значение имеют технико-экономические показатели и прежде всего стоимость разведочных выработок, отнесенная к ценности полезного ископаемого. Такого рода технико-экономический анализ разведочных систем весьма желателен.

Укажем основные направления, по которым должен проводиться технико-экономический анализ систем разведки:

1) применимость различных технических средств к определенным объектам разведки;

2) рациональное в техническом отношении комплексирование различных разведочных средств применительно к различным по вещественному составу и физическим свойствам полезным ископаемым и вмещающим горным породам;

3) сравнительная эффективность различных разведочных систем с учетом различной степени точности и достоверности результатов разведки;

4) экономичность различных разведочных систем, которая может быть выражена рядом показателей: расходом на единицу разведанной руды, расходом на единицу разведанного полезного компонента, размером амортизации средств, затраченных на разведку, и т. п.

Такой технико-экономический анализ разведочных систем позволил бы найти достаточно строгий способ их оценки и тем самым обеспечил бы наиболее правильный подход к выбору системы и технических средств разведки в каждом конкретном случае.

Решение вопроса о системах разведки особенно важно для рационального планирования и проектирования разведочных работ.

ГЛАВА IV

СТАДИИ РАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА И ПЛОТНОСТЬ СЕТИ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СТАДИЙ РАЗВЕДКИ

Если исключить ранее рассмотренный поисково-разведочный этап, отделяющий и в то же время связывающий поиски месторождения и его разведку, то собственно разведка месторождения подразделяется на три стадии:

1. Предварительная разведка.
2. Детальная разведка.
3. Эксплуатационная разведка.

Предварительная разведка преследует цели выяснения общих размеров месторождения и получения приближенного представления о форме и размерах основных тел полезного ископаемого, составляющих сложное месторождение. В эту стадию завершается детальное изучение поверхности на основе уточнения крупномасштабной геологической карты.

Если на поисково-разведочном этапе геологическая съемка нередко ведется на глазомерной или полуинструментальной основе, то к началу предварительной разведки необходимо иметь достаточно точную геологическую карту масштаба 1 : 10 000—1 : 5000, составленную на инструментальной топографической основе. В соответствии с этой картой направляются первые разведочные работы. На стадии предварительной разведки разведочные выработки задаются уже по определенной системе и некоторые из них для фиксации границы оруденения доводятся до большой глубины. Целесообразно разведочные выработки наносить одновременно на карту рудного поля и на новую топографическую основу масштаба 1 : 2000—1 : 1000 (редко 1 : 5000 или 1 : 500).

Все эти предварительные разведочные мероприятия дают возможность с большей или меньшей степенью достоверности определить размеры месторождения (его общий «масштаб»), элементы его залегания, особенности вмещающих пород; позволяют приблизительно выяснить качество полезного ископаемого, а иногда и выделить его основные природные типы. На основании данных предварительной разведки подсчитываются ориентировочные запасы полезного ископаемого и выявляются участки для последующей детальной разведки месторождения. Если разведывается очень крупное месторождение, то перспективные участки под детальную разведку первой очереди составляют небольшую часть всего месторождения. Мелкие же месторождения обычно целиком переходят в стадию детальной разведки.

По результатам предварительной разведки производится подсчет запасов и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), содержащий надежную промышленную оценку месторождения. Исключение составляет та незначительная группа месторождений, где после проведения поисково-разведочных работ сразу приступают к эксплуатационно-разведочным.

Детальная разведка производится только в том случае, если месторождение должно эксплуатироваться в ближайшие годы. Нет смысла вкладывать значительно бóльшие по сравнению с предварительной разведкой средства в объект, промышленное освоение которого откладывается на неопределенное время.

На стадии детальной разведки с высокой степенью точности обрисовываются контуры каждого тела полезного ископаемого и соответственно его элементы залегания со всеми возможными изменениями, вызванными складчатыми и разрывными нарушениями; результаты исследований наносятся на существующую карту, составленную на стадии предварительной разведки в масштабе от 1 : 2000 до 1 : 500 в зависимости от размеров и сложности месторождения.

На стадии детальной разведки производится пространственное расчленение месторождения по природным типам и промышленным сортам полезного ископаемого на основании установленных промышленных условий (кондиций). В связи с этим, помимо химических анализов и минералогических исследований полезного ископаемого, производятся испытания технологических свойств каждого его сорта. Вопросы водоносности участка месторождения, свойств вмещающих горных пород и другие горнотехнические вопросы, только приблизительно выясненные в стадию предварительной разведки, при детальной разведке уже должны быть освещены точными измерениями и специальными исследованиями.

Естественно, что для получения разнообразных и достаточно точных сведений о месторождении в стадию детальной разведки приходится проводить новые разведочные выработки и, таким образом, уплотнять разведочную сеть, особенно в наиболее сложных по геологическому строению участках и в местах наиболее богатых скоплений полезного ископаемого. Однако в этот период нужно проходить только те выработки, проходку которых нельзя отложить до стадии эксплуатационной разведки, так как они необходимы для составления проекта эксплуатации месторождения.

На основании детальной разведки уже значительно более точно подсчитываются запасы полезного ископаемого в блоках по сортам, выделенным пространственно на разведочных планах и разрезах.

После утверждения запасов в ГКЗ по результатам детальной разведки составляется технический проект эксплуатации месторождения. В зависимости от размеров месторождения оно может быть после детальной разведки передано для промышленного освоения или все целиком, или в случае очень крупных объектов — по частям. Следовательно, и технический проект разработки месторождения может быть общим или слагаться из нескольких частей.

При ведении детальных разведочных работ следует с самого начала поддерживать связь с проектной организацией. Это дает возможность своевременно учесть требования проектировщиков и тем самым избежать в дальнейшем дополнительных работ.

Эксплуатационная разведка начинается с момента организации добычи полезного ископаемого. Она по расстоянию и по времени немного опережает горно-эксплуатационные работы, сопровождая разработку месторождения почти до ее окончания.

Разведка, производимая в процессе эксплуатации полезного ископаемого, отличается наибольшей точностью, так как сеть выработок, используемых разведчиком, в этот период наиболее густая; в их число, помимо прежних и новых разведочных выработок, входит множество горных подготовительных выработок: штреков, ортов, восстающих, рассечек. На стадии эксплуатационной разведки уточняется строение тел полезных ископаемых как в отношении их форм, так и в отношении границ, разделяющих сорта, а также мелкие тектонические нарушения и смещения. Разведочные работы и подземное геологическое картирование ведутся уже в масштабах от 1 : 500 до 1 : 100 на маркшейдерской основе, что позволяет заметить все необходимые и ранее неучтенные детали строения месторождения.

Все горнотехнические вопросы и вопросы технологии переработки полезного ископаемого также подвергаются уточнению по отдельным, сравнительно небольшим участкам месторождения, определяемым границами какого-либо эксплуатационного участка. Устойчивость вмещающих пород уже рассматривается не вообще, а по данному блоку. Приток подземных вод изучается по данной шахте. Технологическая проба берется для характеристики полезного ископаемого в данном блоке или в данном слое и т. п.

На основании эксплуатационной разведки подсчет запасов полезного ископаемого выполняется наиболее точно, с детализацией по отдельным

мелким участкам (этажам, блокам, уступам), что позволяет вести систематический учет добытого и оставшегося в недрах полезного ископаемого по каждому эксплуатационному участку и по различным сортам. По данным эксплуатационной разведки ведется текущее производственное планирование добычи полезного ископаемого, направляются подготовительные и очистные выработки, составляется баланс запасов и добычи.

В практике геологоразведочных работ в одних случаях стадии разведки отчетливо отделяются друг от друга, в других — сливаются в непрерывную цепь разведочного процесса так, что трудно найти границу между предварительной и детальной разведкой (эксплуатационная разведка всегда довольно точно фиксируется во времени моментом начала добычи полезного ископаемого). Но так или иначе, эти стадии существуют, и главный практический смысл их разделения состоит в том, чтобы не допускать перехода к детальной разведке, связанной с затратой больших средств, не проведя предварительной разведки для отбраковки каких-либо частей месторождения или даже всего месторождения, оказавшегося непромышленным.

Некоторое исключение составляет разведка весьма капризных месторождений: мелких гнезд оптических минералов, драгоценных камней, платиноносных хромитов, редкометальных пегматитов и т. п. Эти месторождения потребовали бы для своей предварительной разведки сеть горных разведочных выработок почти такой же плотности, какая необходима для подготовки их к эксплуатации. Поэтому после стадии поисково-разведочных работ они сразу подвергаются эксплуатационной разведке, которая в то же время является предварительной и детальной. Допускаемый при этом риск излишних затрат на разведочно-эксплуатационные выработки окупается ценностью полезного ископаемого. В некоторых случаях и в менее капризных месторождениях сливаются в одно целое детальная и эксплуатационная разведка.

2. АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ СЕТИ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Под плотностью сети разведочных выработок S_0 понимается площадь тела полезного ископаемого, приходящаяся на одну разведочную выработку, пересекающую тело:

$$S_0 = \frac{S}{n}, \tag{16}$$

где S — площадь тела полезного ископаемого, измеренная в горизонтальной, вертикальной или в какой-либо наклонной (для наклонных тел) плоскости;

n — число выработок, пересекающих тело полезного ископаемого по линиям, близким к наименьшему размеру тела (к мощности).

В практике плотность сети выражается как величиной площади S_0, так и расстояниями между разведочными выработками.

Месторождения с различными геологическими особенностями требуют различной разведочной сети. Даже на отдельных участках одного и того же месторождения в зависимости от сложности его геологического строения сеть может быть более или менее различной. Густота разведочной сети, представленной буровыми скважинами, может оказаться в разных местах различной по техническим причинам и прежде всего из-за самопроизвольного искривления скважин.

Основным фактором, определяющим необходимую плотность (густоту) сети разведочных выработок, является степень изменчивости свойств месторождения полезного ископаемого. Сгущение разведочной сети должно быть приурочено к участкам наибольшей изменчивости форм и качества тела полезного ископаемого.

Разведчика всегда и в особенности на стадии детальной разведки интересует вопрос о необходимой плотности, или густоте, сети разведочных выработок, так как от этого прямо зависят размеры вложения средств, сроки разведки, необходимое количество рабочих, технического оборудования и т. п. Но заранее определить плотность разведочной сети довольно трудно, ибо степень изменчивости полезного ископаемого, от которой зависят параметры разведочной сети, неизвестна до начала разведки и лишь весьма приближенно может быть оценена на основании поисково-разведочных работ, а также по методу аналогий, т. е. путем сопоставления с известным, ранее разведанным месторождением того же типа. Впоследствии, в процессе разведки, когда удается частично или приближенно выяснить характер и интенсивность изменчивости свойств полезного ископаемого, метод аналогий остается весьма полезным средством для определения вероятных свойств месторождения или менее изученных его частей.

В соответствии с различными возможностями применения метода аналогий к определению параметров проектируемой сети разведочных выработок существуют три основных способа их определения:

1. Аналитический способ.
2. Способ разрежения.
3. Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации.

Аналитический способ использует математическое выражение степени изменчивости свойств полезного ископаемого — коэффициент вариации — для анализа вопроса о количестве выработок, достаточном для разведки данного объекта. Этот способ в лучшем случае может иметь контрольное значение[1].

Число необходимых измерений, согласно формуле (8), пропорционально квадрату коэффициента вариации и обратно пропорционально квадрату погрешности определения:

$$n=\left(\frac{V}{p}\right)^2.$$

Если задаться определенной, допустимой в данных условиях величиной ошибки p, то, так или иначе выяснив коэффициент вариации, характеризующий изменчивость свойств месторождения, можно вычислить количество выработок, необходимое для разведки этого месторождения.

Но из приведенного математического выражения следует, что число необходимых измерений не зависит от величины измеряемого объекта, т. е. при одинаковом V количество выработок и для большой и для малой площади месторождения должно быть одинаковым[2]. Следуя формальной логике, можно заключить, что небольшой участок месторождения требует для своей разведки столько же выработок, сколько и все месторождение, если коэффициенты вариации такого участка и всего месторождения равны между собой, что противоречит практике разведки. В этом и состоит главная трудность применения аналитического способа.

Для определения плотности сети можно использовать формулу

$$S_0=\frac{Sp^2}{V^2}, \qquad (17)$$

где S_0 — площадь, приходящаяся на одну выработку;
S — площадь всего месторождения.

---

[1] Формулы математической статистики и теории вероятностей без специальной разработки этой проблемы не подходят к геологоразведочным совокупностям и всегда должны корректироваться геологическими соображениями.

[2] Правда, как показал В. Г. Соловьев (1939 г.) на примере нескольких разнотипных месторождений (Риддер, Коунрад, гора Магнитная, Тетюхе и др.), по мере расширения площади исследуемого объекта коэффициент вариации возрастает в 1,5—2 раза.

Вычисление необходимого количества разведочных выработок по формуле (8) может дать лишь некоторый приближенный ориентир для проектирования плотности разведочной сети и должно корректироваться геологическими соображениями и данными опыта по другим аналогичным месторождениям.

Показателем детальности разведки того или иного месторождения может служить предложенный В. Г. Соловьевым коэффициент разведанности

$$K_{\text{р}} = \frac{10^6 n}{SV_0}, \tag{18}$$

где n — число выработок;

S — разведанная площадь тела полезного ископаемого;

$V_0 = \sqrt{V_m^2 + V_c^2 + V_d^2 - V_s^2}$ — суммарный коэффициент вариации (V_m, V_c, V_d — коэффициенты вариации мощности, содержания полезного компонента и объемного веса, а V_s — условная величина, связанная с ошибкой определения площади).

Если два различных месторождения характеризуются одинаковым коэффициентом разведанности, то число необходимых разведочных выработок будет зависеть от величин площади и коэффициента вариации:

$$\frac{n_1}{S_1 V_1} = \frac{n_2}{S_2 V_2}. \tag{19}$$

При одинаковой площади ($S_1 = S_2$) пропорция принимает вид

$$\left.\begin{aligned} \frac{n_1}{V_1} &= \frac{n_2}{V_2} \\ \text{или} \\ \frac{n_1}{n_2} &= \frac{V_1}{V_2} \end{aligned}\right\}. \tag{20}$$

Из этого вытекает, что при одинаковых площадях (или при расчете на единицу площади) отношение количества выработок, необходимых для разведки двух месторождений, равно отношению коэффициентов вариации этих месторождений, или густота разведочной сети прямо пропорциональна коэффициенту вариации.

Таким образом, искомая густота разведочной сети может быть определена из выражения

$$n_x = \frac{n_0' V''}{V'} \tag{21}$$

где V' и n_0' — коэффициент вариации и густота разведочной сети для хорошо разведанного месторождения, аналогичного разведываемому;

V'' — приближенное значение коэффициента вариации для разведываемого месторождения.

Приближенное значение коэффициента вариации для разведываемого месторождения можно найти по редкой сети разведочных выработок, проведенных в поисково-разведочный этап и в стадию предварительной разведки. Когда закладываются первые разведочные выработки, то в большинстве случаев нет необходимости определять плотность разведочной сети, целесообразную для детальной разведки. Если же такая необходимость возникает [например, если требуется ориентировочно определить пункты будущей сети детальной разведки с тем, чтобы выработки предварительной разведки не сильно отклонялись от этих пунктов (линий)], то можно пользоваться величинами V, приведенными в табл. 10.

Эти величины можно использовать и для оценки V'' и как эталонные величины V', если нет более точных данных по какому-либо хорошо изученному аналогу разведываемого объекта.

Таблица 10

Группировка месторождений твердых полезных ископаемых по степени изменчивости содержания, мощностей и линейных запасов

Группы месторождений	Типы месторождений	Тип изменчивости, по П. Л. Каллистову	Коэффициент вариации		
			мощности V_m	содержания V_c	линейных запасов V_q
1	Осадочные (угли, сланцы, строительные материалы, фосфориты, железные руды) и некоторые простые магматогенные месторождения	Обычно закономерная	5—50	5—30	30
2	Подавляющее большинство месторождений цветных металлов, часть нерудных месторождений магматического цикла и сложные железорудные месторождения	Обычно случайная	30—80	40—100	80
3	Большинство жильных месторождений редких, некоторых цветных и благородных металлов, наиболее сложные по форме и нарушенные месторождения цветных металлов, некоторые гипогенные нерудные месторождения	Случайная	50—100	100—150	130
4	Мелкие или весьма нарушенные месторождения редких и благородных металлов с очень сложным распределением компонентов	»	80—150	130—300	~200

Примечание. По Н. В. Барышеву, минимальное число измерений, необходимых для вычисления коэффициента вариации, составляет: для месторождений 1-й группы — 18, для 2-й — 25, для 3-й — 40.

При сравнительных вычислениях всегда нужно помнить, что почти все значения коэффициента вариации и связанных с ним величин получаются более или менее завышенными ввиду локальной зависимости свойств полезных ископаемых, в особенности мощности и в ряде случаев — содержаний полезного компонента.

Если на месторождении выделяются сорта полезного ископаемого, занимающие значительные обособленные площади, то вычисление коэффициента вариации и степени разведанности следует проводить для каждого сорта отдельно.

Аналитический способ определения необходимой густоты сети разведочных выработок в силу многих причин и прежде всего вследствие весьма большой приближенности исходных данных, используемых для вычисления, и несоответствия разведочных совокупностей стохастическим не может обеспечить решения задачи. Поэтому применять его без учета особенностей геологического строения месторождения и в отрыве от практического опыта разведки не рекомендуется. Хотя многие опытные разведчики считают целесообразным и независимое использование приведенных формул.

Можно считать, что основные задачи предварительной разведки сводятся к определению с р е д н и х характеристик месторождения или отдельных рудных тел. Для этой цели в первом приближении можно использовать положения математической статистики о малых выборках, предполагая, что искомые характеристики существенно не отличаются от закона нормального распределения. Суждение о достоверности средних характеристик можно получить, применяя распределение Стьюдента к выборкам

в 10—30 наблюдений. Пройденные первые 20 разведочных скважин могут быть достаточны для решения некоторых основных задач предварительной разведки[1].

Сказанное можно пояснить примером. Если на грубо изометричном ненарушенном штокверковом месторождении при полноценных поисково-разведочных работах оконтурена более или менее равномерно оруденелая площадь в 1 $км^2$ и двумя-тремя скважинами намечена картина вторичной зональности и глубина оруденения, то для предварительной разведки этой площади будет достаточно 20—25 скважин, пробуренных в данном случае по квадратной сетке с расстоянием между скважинами порядка 200 *м*.

Способ разрежения состоит в том, что для определения необходимой и достаточной плотности разведочной сети сравниваются результаты вычисления средних величин мощности, содержания полезных компонентов и запасов полезного ископаемого по сеткам различной густоты, особенно, если какие-либо данные можно принять за эталон. Обычно вначале подсчитываются запасы полезного ископаемого и отдельные параметры (мощность, содержание и др.) по всем выработкам наиболее плотной сети. Далее вычисления производятся по половине выработок (через одну), затем по трети, по четверти выработок и т. д. При этом при одной и той же степени разрежения производится несколько вариантов подсчета с использованием различных разведочных выработок.

Результаты подсчетов сравниваются с величинами запасов (или содержания, или мощности), определенными по полному комплекту разведочных выработок, как с наиболее точными определениями. Таким образом, определяется минимальная плотность разведочной сети — по тому из вариантов подсчета, результаты которого не сильно отличаются от данных, полученных при подсчете по наиболее густой сети разведочных выработок.

В процессе разведки этот способ может быть использован на сравнительно простых месторождениях, однообразных по свойствам в различных своих частях. В противном случае результаты эксперимента, проведенного на одном из участков месторождения, нельзя распространять на другие участки, существенно отличающиеся изменчивостью форм или распределения полезного компонента. Тем более не всегда можно распространять данные, полученные при разведке одного месторождения, на другое. Типичными объектами, для которых сравнение разведочных сеток и применение способа разрежения дает надежные результаты, могут служить месторождения, очень похожие друг на друга, залегающие в аналогичной геологической обстановке, и сравнительно простые, как, например, угольные пласты в пределах одного бассейна или линзы медистых колчеданов, находящиеся в пределах одной и той же рудной зоны.

На Бощекульском медном месторождении сравнивались результаты разведки при плотностях сеток 100×50 и 200×50 *м*. Расхождения составили: по запасам руды 4,1%, по запасам металла 5,1%, по величинам средних содержаний меди 1,3%. Следовательно, сетка 200×50 *м* может быть одобрена.

Но чтобы сравнивать такие данные, т. е. чтобы использовать метод разрежения на разведываемых месторождениях, нужно слишком «щедро» разведывать эти месторождения, в противном случае не с чем будет сравнивать. Таким образом, метод разрежения лишен внешнего критерия: при использовании этого метода данные одной малой выборки сравниваются лишь с данными другой.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации является «внешним» и наиболее точным способом определения достоверности разведочных данных. Самостоятельно или в сочетании со способом разрежения он позволяет более обоснованно решать вопрос о целесообразной густоте разведочной сети для месторождений того или иного типа. Этот

---

[1] Эту малую выборку примерно в 20 наблюдений (любых) можно широко использовать в геологоразведочном деле как исходную ориентировочную цифру.

способ широко используется на действующих горных предприятиях, особенно на крупных месторождениях и месторождениях, распространяющихся на значительную глубину. В настоящее время сравнение данных разведки и эксплуатации является обязательным при представлении отчетов в ГКЗ для утверждения запасов действующих предприятий.

По мере отработки месторождения накапливаются данные, свидетельствующие о достаточности или недостаточности предшествующих разведочных исследований. Иногда на основании изучения верхних горизонтов после их отработки делаются выводы о необходимой плотности разведочной сети для нижних горизонтов.

Путем сравнения данных разведки в отношении контуров тела полезного ископаемого и величины запасов с контурами отработанных пространств и фактически добытой массой полезного ископаемого можно установить степень достоверности разведочных данных. Прибегая при этом к способу разрежения, можно определить оптимальную плотность сети разведочных выработок и использовать эти определения для разведки аналогичных тел полезного ископаемого, прежде всего в пределах того же рудного поля или продуктивной зоны.

Сравнению обычно подвергаются контуры тел полезных ископаемых в разрезах и величины запасов по отдельным блокам и в целом. Иногда такие сравнения дают интересные результаты.

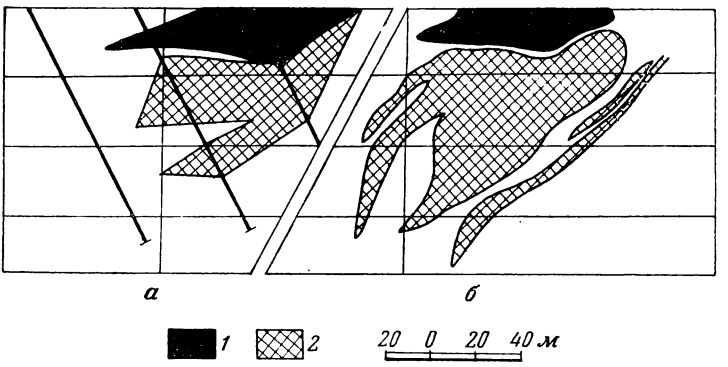


Рис. 46. Контуры Полиметаллического рудного тела (по П. С. Бернштейну)

а — разрез, построенный на основании буровых разведочных скважин; *б* — разрез, построенный по очистным и подготовительным горным выработкам в той же плоскости, что и разрез *а*
1 — сплошные руды; *2* — вкрапленные руды

П. С. Бернштейн (1946) на ряде месторождений установил отклонения величин запасов меди, свинца и цинка, выявленных эксплуатацией, от значений, вычисленных по данным разведочного бурения, в пределах от +19,8 до —33,7% (рис. 46).

Д. А. Зенков на золоторудных месторождениях жильного типа путем сравнения с эксплуатационным опробованием выявил расхождения между данными разведки и данными эксплуатации по блокам размером 40×60 *м* в пределах от +69,7 до —52,5%. При этом среднее отклонение по блоку составило ±18,8%, а расхождение по сумме всех 40 блоков 4,1%.

По Троицкому золото-мышьяковому месторождению расхождение между данными разведки и эксплуатации по блокам 40×40 *м* составило: для золота от 12 до 28%, для мышьяка от 26 до 35%. По сумме блоков, отработанных за полгода, расхождение выразилось в 4,1%.

По Е. В. Мясникову, при разведке скарнового вольфрамового месторождения бурение дало более высокие цифры запасов по сравнению с количеством фактически добытой руды, причем превышение по отдельным телам колебалось от 10 до 121%, а в среднем составило 42%.

Н. И. Трушков сравнивал данные разведки с результатами эксплуатации на некоторых золотых рудниках США, где для блоков размером 40×40 *м* расхождение в цифрах запасов оказалось в пределах от ±12 до ±30%.

Американскими геологами выяснена достоверность разведочных данных путем сравнения их с данными эксплуатации по нескольким месторождениям меднопорфировых руд в США. Отклонения данных буровой разведки (ударно-канатное бурение) медных штокверков в Аризоне и в Неваде от фактических значений составили: по запасам руды от —14 до +0,15%, по среднему содержанию металла в руде от —4,5 до +12%.

Исследования В. Д. Семенюка охватывают десять жильных месторождений вольфрама, молибдена, олова и золота, где сравнивались разведочные и эксплуатационные данные по 181 блоку. Этими исследованиями установлено, что размах отклонений по отдельным блокам составляет:

по мощности	от	+100	до	—49%
по содержанию	»	+226	»	—73 »
по запасам	»	+192	»	—84 »

Это показывает бесполезность сгущения горных выработок (штреков и восстающих) для подсчета запасов по высоким категориям по отдельным блокам.

В то же время для группы блоков отклонения обычно не превышают 10—20%.

Приведенные данные показывают, что точность определения запасов полезного ископаемого в процессе разведки колеблется в значительных пределах. Источник отклонений лежит в ошибках определения и мощностей, и содержаний полезного компонента, и объемных весов, и контуров тел, особенно тех, которые обладают неустойчивыми формами. Естественно, что чем плотнее разведочная сеть, тем точнее определяются запасы полезного ископаемого. Но, с другой стороны, исходя из принципа наименьших затрат всегда целесообразно обходиться минимальным количеством разведочных выработок. Поэтому, используя опыт разведки и результаты сравнения разведочных данных с данными эксплуатации, необходимо постоянно совершенствовать разведочный процесс и, в частности, рационализировать применяемую разведочную сеть, стремясь обеспечить «необходимую и достаточную» ее плотность.

Примером такого подхода к выбору наиболее рациональной плотности разведочной сети на основе данных эксплуатации служит анализ, проведенный А. Б. Генбомом (1957) на медноколчеданных месторождениях Урала.

Первое месторождение представлено серией крутопадающих линз, размеры которых по простиранию колеблются от 15 до 80 *м* и по падению от 15 до 200 *м* при мощности от 1 до 4 *м*. Линзы залегают кулисообразно и подчиняются общему склонению рудной зоны. Рудные тела разведывались скважинами, заложенными по простиранию в среднем через 40 *м* и по падению через 40—50 *м*. Месторождение погашено горными выработками до горизонта 210 *м*. Ниже, до глубины 255 *м*, месторождение вскрыто и нарезано горными выработками и дополнительно разведано подземными скважинами, пройденными по простиранию и по падению через 20—25 *м*. На горизонте 120 *м* рудные зоны пересечены горизонтальными скважинами через 15—30 *м*.

Второе месторождение, аналогичное по геологическому строению и общим масштабам первому, разведывалось до горизонта 285 *м* буровыми скважинами по сети 50×60 *м*. К настоящему времени месторождение отработано до этого горизонта.

В результате сравнения данных разведки и эксплуатации верхних горизонтов этих двух месторождений по мощностям, содержанию меди,

размерам запасов, количеству выявленных рудных тел сделаны интересные выводы относительно методики и техники разведки.

Установлено, что фактические запасы месторождений выше разведанных бурением по первому месторождению на 22% и по второму почти в 2 раза. Однако при детальном рассмотрении вопроса выясняется, что это

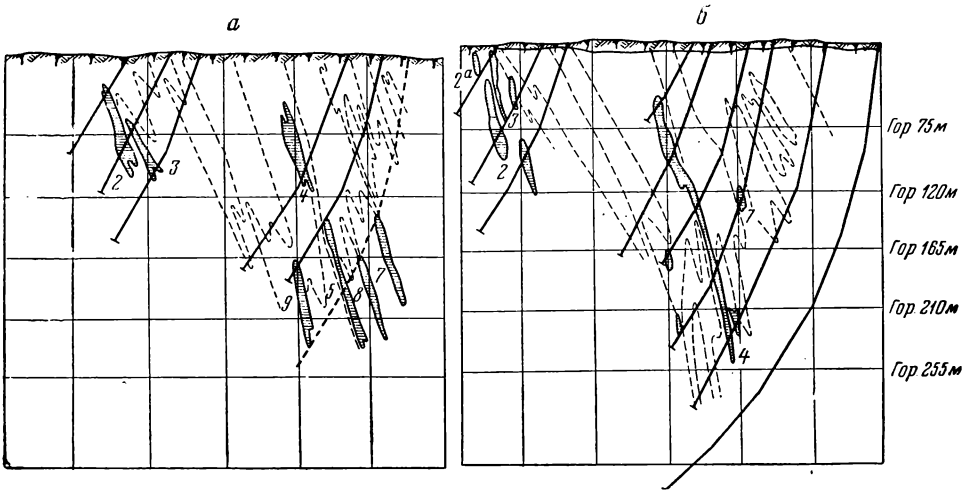


Рис. 47. Сопоставление контуров колчеданных линз, проведенных по данным бурения (*а*) и по результатам отработки (*б*) на разрезах вкрест простирания (по А. Б. Генбому)

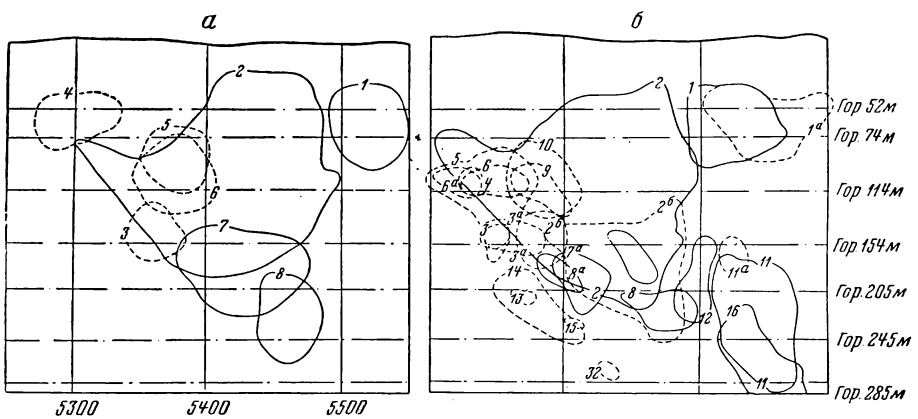


Рис. 47а. Сопоставление контуров колчеданных линз, проведенных по данным бурения (*а*) и по результатам отработки (*б*) в продольной проекции на вертикальную плоскость (по А. Б. Генбому)

обстоятельство не является свидетельством недостаточной плотности сети разведочных скважин, так как значительное приращение запасов в процессе эксплуатационной разведки произошло главным образом за счет обнаружения новых рудных тел за пределами прежней разведочной сети. Содержание полезного компонента, мощности и контуры рудных тел, выявленные буровой детальной разведкой, близко совпали с этими параметрами подсчета запасов по тем же телам при эксплуатационной разведке (рис. 47 и 47а).

Первый вывод по методике разведки рассматриваемых месторождений состоит в том, что разведочная сеть буровых скважин размером 40×50 *м* по первому месторождению и 50×60 *м* по второму месторождению приемлема для детальной разведки этих и им подобных медноколчеданных месторождений.

Второй вывод, весьма важный с точки зрения экономии средств, говорит о нецелесообразности дополнительной разведки выявленных рудных тел скважинами подземного бурения через короткие интервалы 15—20 *м*, как практиковалось ранее.

Таким образом, сравнение данных разведки и данных эксплуатации по двум приведенным месторождениям позволило достаточно точно определить оптимальную густоту разведочной сети буровых скважин, которая оказалась равной 40×50 *м*. Бóльшие расстояния между скважинами влекут за собой пропуски небольших рудных тел, что и имело место в практике разведки этих месторождений. Меньшие расстояния между разведочными скважинами, практиковавшиеся ранее, нецелесообразны, так как приводят к переразведке месторождения.

Данные детальной и эксплуатационной разведки на некоторых медно-колчеданных месторождениях Урала и в еще большей мере на колчеданно-полиметаллических месторождениях Алтая иногда очень существенно различаются. Это касается форм, рудных контуров, мощностей и содержания полезных компонентов, расположения отдельных рудных тел в пространстве и, конечно, запасов руд и минералов. Даже некоторые блоки, пересеченные с трех или четырех сторон горными выработками, оказывались в центре безрудными.

Экспериментальные работы по определению рациональной плотности разведочной сети проводились ВИМСом на двух месторождениях штокверкового типа (Коунрад и Первомайское) методом разрежения, на основе данных эксплуатационного опробования. Оба эти месторождения имеют в плане изометрическую форму и характеризуются неравномерным распределением оруденения (коэффициент вариации 60—70%). По Коунрадскому месторождению использованы данные горизонта 605 *м*, а по Первомайскому — горизонтов 1674 и 1664 *м*.

Значения среднего содержания C, площади распространения промышленных руд S и запасов полезных компонентов Q для этих горизонтов, вычисленные по буровзрывным скважинам в эксплуатационных карьерах, были приняты за эталонные, и с ними в дальнейшем сравнивались данные, полученные в результате разрежения. Расстояние между опробованными буровзрывными скважинами составляло 3—5 *м*.

Разрежение проводилось по нескольким вариантам, т. е. на эталонный горизонт накладывались разведочные сети различной плотности и различной ориентировки (табл. 11). Для этой цели нанесенная на восковку сетка, наложенная на эталонный горизонт, последовательно передвигалась во все стороны на расстояние, равное 0,25 или 0,5 размера накладываемой сетки. Дополнительно производилась серия произвольных наложений.

Таблица 11

Схема наложения различных разведочных сетей на месторождениях Коунрад и Первомайском

Коунрад		Первомайское	
Сеть	Число вариантов	Сеть	Число вариантов
400×400 *м*	46	200×200 *м*	4
200×200 »	54	100×100 »	54
100×100 »	12	50×50 »	27
50×50 »	12	25×25 »	18

В результате проведенного разрежения были построены графики относительных ошибок определения C, S и Q в зависимости от числа скважин, попавших в рудный контур (рис. 48).

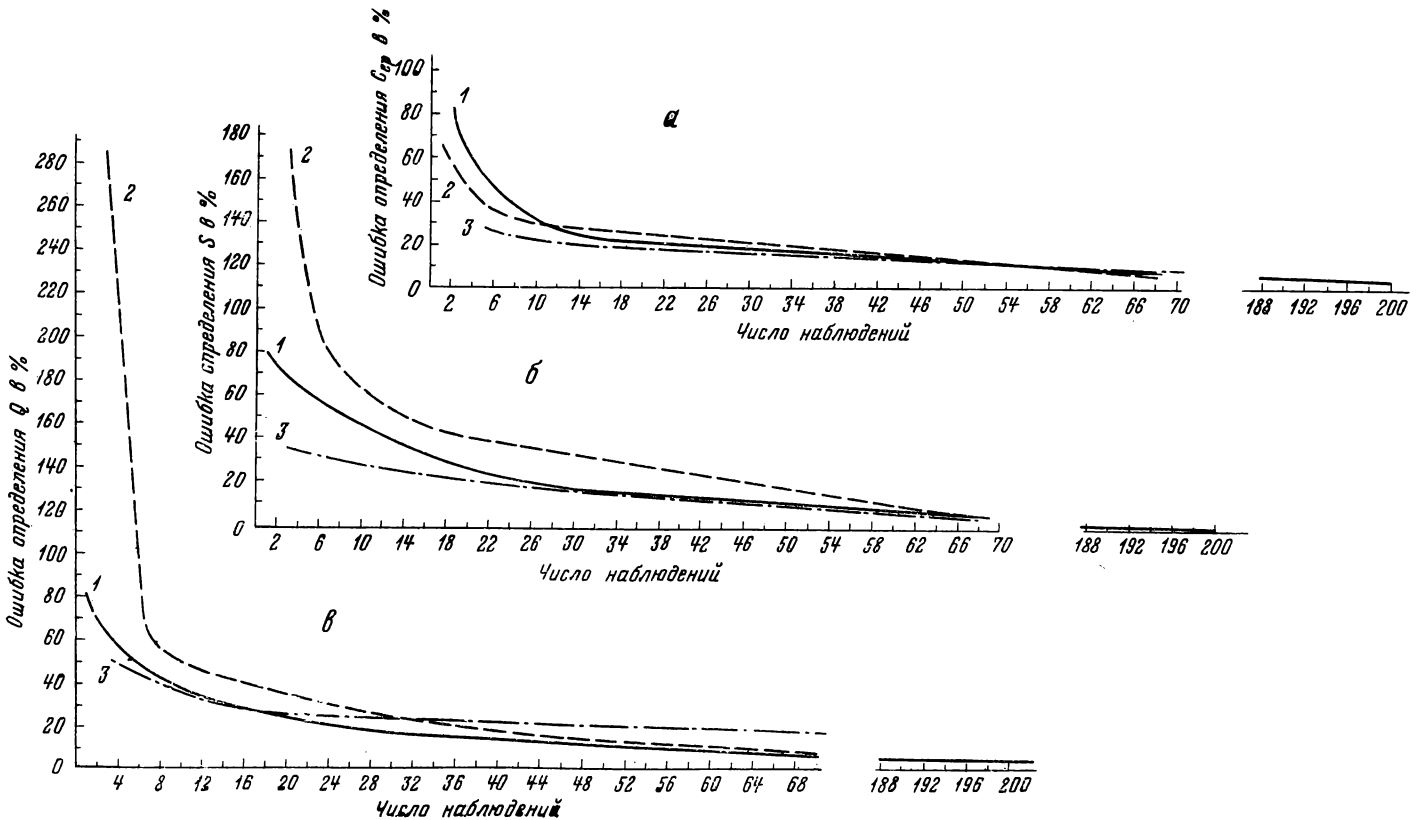


Рис. 48. Зависимость ошибок определения среднего содержания (*а*), площади оруденения (*б*) и запасов (*в*) от количества скважин (наблюдений)

1 — кривые максимальных ошибок определения $C_{ср}$, *S* и *Q* для месторождения Коунрад; *2* — то же для горизонта 1674 *м* Первомайского месторождения; *3* — то же для горизонта 1664 *м* Первомайского месторождения

Из графиков видно, что порядок ошибок на Коунрадском и Первомайском месторождениях одинаков, хотя расстояния между скважинами, при вариантах с одинаковым числом наблюдений в пределах рудного контура, различное. Площадь Коунрадского месторождения почти в 16 раз больше, чем Первомайского. Такое же соотношение наблюдается и между площадями, приходящимися на одну скважину на этих месторождениях, при вариантах, дающих одинаковые ошибки. Отсюда следует, что не плотность сети, а число наблюдений имеет первостепенное значение при определении точности подсчета запасов.

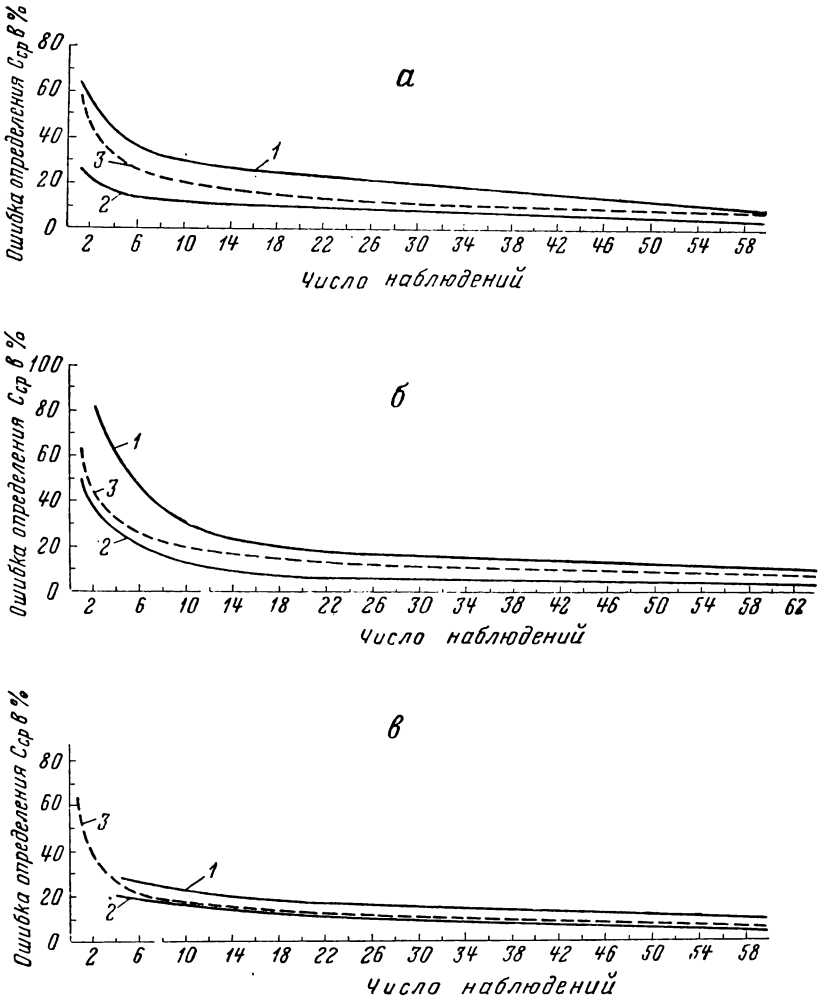


Рис. 49. Кривые ошибок определения $C_{ср}$ в зависимости от числа наблюдений

а — для месторождения Коунрад; *б* — для горизонта 1674 *м* Первомайского месторождения; *в* — для горизонта 1664 *м* Первомайского месторождения

1 и *2* — кривые максимальных и средних значений ошибок, полученных экспериментальным путем; *3* — кривые ошибок, вычисленные по формуле $n=\frac{V^2}{p^2}$

При сравнении полученных данных с результатами вычислений по формуле $p=\frac{V}{\sqrt{n}}$ (рис. 49) нетрудно заметить, что средние значения ошибок в определении C несколько ниже вычисленных, а наибольшие — выше, хотя порядок величин ошибок остается близким. Таким образом, приведенная формула математической статистики может быть использована при

ориентировочном определении числа скважин, необходимых для установления среднего содержания металла и площади оруденения, так как она обеспечивает достаточную степень точности.

Приведенные графики показывают также, что с точки зрения обеспечения необходимой достоверности для подсчета запасов по категории *B* достаточно 10—15 скважин, а 30—50 скважин могут дать достаточный материал для подсчета запасов по категории *A*. Но, помимо общих цифр (содержание полезного компонента, площадь оруденения, запасы), необходимо с определенной для каждой категории степенью достоверности изучить геологию месторождения, выявить природные типы и промышленные сорта руд, их соотношение и распределение. Для решения этих задач число скважин необходимо значительно увеличивать.

Проведенные по Коунрадскому (М. К. Чехович) и Первомайскому (ВИМС) месторождениям экспериментальные исследования точности оконтуривания рудных скоплений в зависимости от густоты сети подтверждают вышесказанное. При этих исследованиях за эталон были приняты сортовые планы в изолиниях, построенные по буровым скважинам. Затем уже описанным выше способом на эти планы накладывались экспериментальные сети: для Коунрада — 12×12; 24×24; 48×48; 96×96 *м*, а для Первомайского месторождения — 10×10; 20×20 и 50×50 *м*. По этим сетям также строились сортовые планы в изолиниях, которые сравнивались с эталонами, и по полученным данным вычислялись относительные ошибки площадного оконтуривания отдельных сортов.

В результате работ было установлено, что для Коунрадского месторождения сеть 12×12 *м*, а для Первомайского — 10×10 *м* обеспечивают надежное оконтуривание сортов и получение правильного представления о морфологии рудных тел. Но разбуривание рудных тел по таким сетям повлекло бы за собой огромные затраты, поэтому при детальной разведке целесообразно ограничиваться выяснением контуров с меньшей точностью, которая может быть достигнута при плотностях сетей соответственно 100×100 и 50×50 *м*. Детализацию же следует проводить в период эксплуатационной разведки.

Эти данные могут служить хорошим примером определения рациональной плотности разведочной сети, но распространить сделанные выводы на разведку других штокверков невозможно; для этого нужно значительно большее количество наблюдений над различными типами штокверков.

Кроме штокверков, экспериментальные и аналитические работы охватили еще две из четырех основных морфологических групп эндогенных месторождений: 1) согласные (пластообразные) залежи и 2) жилы. Работы проводились тематическими партиями геологических управлений, а местами отдельными лицами. Размах этих исследований в СССР, к сожалению, весьма невелик.

Результаты работ двух тематических партий, возглавляемых В. Д. Семенюком (Восточное Забайкалье) и А. И. Гольдфельдом (Алтай), опубликованы только в конце 1959 и начале 1960 гг. Поэтому мы смогли лишь частично использовать эти интересные данные. Авторы стремились к нахождению оптимальной плотности разведочной сети и установлению роли горных и буровых работ с целью получения всех необходимых данных для подсчета запасов и правильного проектирования. Для этого они применили как аналитический прием, так и главным образом метод разрежения сети, а где возможно, использовали материалы эксплуатации.

Геологами, изучавшими Ловозерское месторождение, выявлена очень малая изменчивость мощностей и содержаний редких металлов в малиньитовом горизонте. Названное месторождение представлено маломощными горизонтами малиньита среди классически стратифицированного щелочного плутона. Выдержанность мощностей и содержаний настолько велика, что месторождение представляется значительно более простым для разведки, чем некоторые весьма мало изменчивые осадочные месторождения; маломощные горизонты этого месторождения прослежены по простиранию

более чем на 40 *км*. Естественно, что плотность разведочной сети, несмотря на редкометальное оруденение, должна быть здесь весьма небольшой (порядка 400×400 *м*).

Г. Б. Роговер произвел анализ плотности разведочной сети для вкрапленного медно-никелевого (с платиноидами) месторождения. Последнее приурочено к горизонтальному силлу габбро-диабазов, имеет значительную мощность и занимает площадь около 15 $км^2$. Автор считает, что на таком месторождении вполне можно ограничиться сетью скважин с плотностью 200××200 *м* вместо применяемой 100×100 *м*, так как максимальное отклонение подсчитанных по обоим вариантам запасов равно 13,8%. Вследствие вытянутости месторождения и некоторых других условий автор предполагает, что наиболее подходящей для данного месторождения будет сеть 200×300 *м*.

В своих работах на свинцовом месторождении Миргалимсай и почти аналогичном месторождении Мухамед В. А. Бабушкин использовал все возможные методы анализа. Здесь свинцовое оруденение приурочено к одному из горизонтов доломитизированных известняков фаменского яруса и представляет собой пласт вкрапленных руд, тектонически разбитый на отдельные блоки. На месторождении Мухамед замена сетки 80×80 *м* сетью 160×160 *м* дает разницу в запасах менее 3%. Для анализа месторождения Миргалимсай автор привлек и эксплуатационные данные. Здесь также оказалось, что можно пользоваться буровой сетью 160×160 *м* вместо сети 80×80 *м*. При этом расхождения в содержаниях металла и его запасах равны соответственно ±11,3 и ±13%.

На месторождении Текели, приуроченном к смятым в складки известково-сланцевым и метаморфическим отложениям девоно-силура, Х. И. Мурсалимов провел сравнение запасов, подсчитанных по материалам буровых работ, с данными фактической отработки двух верхних горизонтов. При этом по скважинам были получены несколько завышенные результаты: по запасам руды +5,4%, по содержанию свинца ±9% и цинка +5,6%. Сопоставление запасов 4-го, 5-го и 6-го горизонтов рудника, подсчитанных по данным буровых скважин и установленных на основании горных работ, показало, что для определения запасов категории В можно буровую сеть 60×50 *м* заменить сетью 120×50 *м*, так как при этом получаются очень небольшие расхождения: по запасам руды ±5,4%, по содержанию свинца ±2,8%, по содержанию цинка ±1,2%.

Обширные работы на Березовском, Белоусовском и других эксплуатируемых месторождениях Иртышской зоны на Алтае проведены тематической партией А. И. Гольдфельда. При этом вскрыты некоторые интересные структурно-морфологические черты упомянутых месторождений:

1. Контуры промышленных рудных тел, намеченные по данным бурения с поверхности, иногда отклоняются от установленных при эксплуатации на 10—15 *м*.

2. Мощность рудного тела и содержание полезных компонентов, даже учтенные по данным детального опробования, при эксплуатации обнаруживают резкие колебания на коротких отрезках, изменяясь в 2—3 раза на протяжении 5—8 *м* и в 7—8 раз на расстоянии 30—40 *м*.

3. Иногда подготовленные блоки, где штреки и восстающие идут по руде, оказываются в средней части безрудными.

Все это говорит о малой достоверности запасов, особенно подсчитанных по буровым скважинам. Последние должны играть основную роль только при предварительной разведке, когда определяются параметры всего месторождения в целом для его промышленной оценки. Для подсчета запасов с погрешностью 20—30% достаточно небольшого количества скважин. Детальную же разведку нужно строить, ориентируясь на тяжелые горные выработки (разведочно-эксплуатационную шахту), проходку которых следует увязывать с эксплуатацией. Такая схема разведки месторождений, близких к описанному типу, была предложена еще в первом издании этой книги.

Анализ плотностей буровых сеток на месторождениях Иртышской зоны смятия также показал ничтожные отклонения запасов руды и металлов при двойном разрежении сети.

Широкие исследования провела группа геологов под руководством В. Д. Семенюка на жильных месторождениях Восточного Забайкалья. К сожалению, при этом сравнительно мало внимания было обращено на геолого-минералогическую характеристику и много энергии отдано несколько формальным сопоставлениям данных опробования при разрежении сетей различных разведочных выработок.

Конечно, весьма ценно сопоставление данных разведки и эксплуатации. В орбиту исследований попали жильные месторождения: Давендинское и Шахтаминское молибденовые, Холтосонское, Букукинское и Куналейское вольфрамовые, Хапчерангинское, Зун-Ундурское, Береинское оловянные и, наконец, Хаверга, Геологическое и Больше-Федоровское золотые. В результате исследований установлена большая переразведанность месторождений: в 2—5 раз. В отдельных случаях на разведку следовало израсходовать меньше 10% фактически затраченных средств.

В выводах, сделанных на основании анализа указанных месторождений, подчеркивается высокая изменчивость их свойств, особенно качества руд, связанная с наличием многих жил с V свыше 200%. Приводится интересное соображение о нецелесообразности учета «ураганных» проб и, кроме того, дается таблица, где указывается необходимое и достаточное количество проб, канав и шурфов при разведке жил редких и благородных металлов.

Все изложенное в этой главе подтверждает, что проблема плотности разведочной сети была и остается важнейшей в учении о поисках и разведке полезных ископаемых. Она играет основную роль как в самой разведке, так и в подсчете запасов и, как можно видеть, до сих пор далеко не решена. Конечно, лучшим решением вопроса было бы геолого-математическое решение, которое в удовлетворительном виде пока даже не намечается; но впредь исследования в этом направлении нужно расширять. Рассматриваемая проблема должна охватывать и численное выражение достоверности подсчитанных площадей, мощностей и в первую очередь категорий запасов.

В данный момент ясно, что пока для схематического решения этой проблемы нужно идти по пути сравнения данных разведки и эксплуатации. До сих пор сопоставлялись в основном количества металла в блоках, установленные путем разведочного и эксплуатационного о п р о б о в а н и я. В дальнейшем необходимо поставить опыты по сопоставлению данных разведочного опробования с количеством ф а к т и ч е с к и д о б ы т о й руды и металла, опираясь на экспериментальные блоки[1] или иные приемы учета руды (и металла).

Необходимо сформулировать требования, которые предъявляет промышленность (проектные организации) к данным разведки, т. е. установить, какие пределы точности требуются для определения залегания, формы, прерывистости рудных тел и т. д. Если можно установить пределы точности для разных стадий разведки (и разных категорий запасов руд), то можно ближе подойти к решению вопроса о необходимом и достаточном количестве разведочных выработок, проб и т. д.

Для определения пределов точности исследований на основании требований промышленности нужна дальнейшая детальная разработка проблемы промышленных типов месторождений.

Таким образом, работа должна идти по двум основным направлениям:

1) установление промышленных типов месторождений;

2) сравнение данных разведки и эксплуатации.

---

[1] Блоки, находящиеся под особым наблюдением со строгим учетом добытой из них руды.

Эти направления исследований не теряют своего значения и при поисках математического решения вопроса о плотности разведочной сети и выяснении численного выражения достоверности различных категорий запасов; математически обрабатывать нужно хорошую, геологически изученную «продукцию».

3. РАЗВИТИЕ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ

Одно из основных отличий предварительной разведки от детальной в методическом отношении состоит в различной плотности сети разведочных выработок. В начальную стадию предварительной разведки выработки закладывают на больших расстояниях одну от другой, стремясь охватить по возможности все месторождение и оконтурить его хотя бы с небольшой степенью точности. Затем сеть выработок сгущают, иногда в несколько приемов, доводя до максимальной плотности уже в период эксплуатации месторождения, когда от разведки требуются наиболее точные данные. Это сгущение надо осуществлять, уже руководствуясь знаниями, полученными при проходке первой сети выработок.

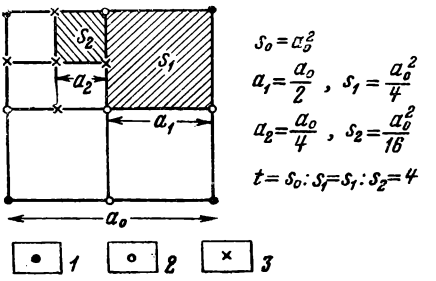


Рис. 50. Сгущение разведочной сети уменьшением расстояния между выработками вдвое

1 — выработки первой очереди; *2* — выработки второй очереди; *3* — выработки третьей очереди

Сгущение разведочной сети обычно производится следующими способами:

1) уменьшением расстояния между выработками вдвое (рис. 50);

2) способом «конверта» (рис. 51);

3) путем перехода с одного вида сети на другой (рис. 52).

Интенсивность сгущения может быть различной в зависимости от вида разведочной сети и от способа сгущения. Сеть может быть уплотнена

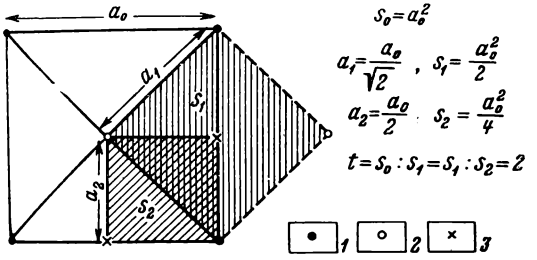


Рис. 51. Сгущение разведочной сети способом конверта

1 — выработки первой очереди; *2* — выработки второй очереди; *3* — выработки третьей очереди

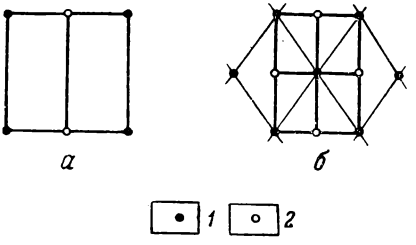


Рис. 52. Сгущение с изменением вида сети

а—превращение квадратной сети в прямоугольную; *б* — превращение ромбической сети в прямоугольную

1 — выработки первой очереди; *2*—выработки второй очереди

за один прием вдвое, втрое, вчетверо. Следовательно, в зависимости от характера сети и способа сгущения вступает в строй большее или меньшее количество новых разведочных выработок. Тот или иной темп сгущения разведочной сети определяет и размер затрат и точность результатов. Поэтому в процессе развития разведочной сети приобретает значение «показатель сгущения» t (Зенков, 1956), представляющий собой отношение плотностей разведочной сети до и после сгущения:

$$t=\frac{S_0}{S_1}=\frac{S_1}{S_2}=\ldots=\frac{S_{n-1}}{S_n}=\text{const}. \qquad (22)$$

Для квадратной сети, например, при сгущении по первому способу $t=4$, при сгущении способом конверта $t=2$. Кроме того, возможно комби-

нирование этих двух способов или сгущение с превращением квадратной сети в прямоугольную либо ромбической сети в прямоугольную и т. п.

Разнообразные способы сгущения сети наряду с применением различных видов последней позволяют получать различные значения показателя t и тем самым регулировать темп сгущения сети, достигая максимального значения ее плотности плавно. Это дает возможность экономить средства и время, затрачиваемые на разведку месторождения, и, меняя ориентировку сети, располагать разведочные выработки в соответствии с различной степенью изменчивости залежи в разных направлениях.

Описанные способы сгущения основаны на многолетней практике развития разведочной сети. Иногда геолого-минералогические и геофизические данные позволяют ограничиться отдельными выработками после проведения первой разреженной разведочной сети. Во всех случаях проблему развития разведочной сети, или последовательности проведения разведочных выработок, нужно считать одной из основных проблем учения о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

ГЛАВА V

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, УСЛОВИЯ ИХ РАЗВЕДКИ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА

Ныне действующая официальная классификация запасов полезных ископаемых полностью приведена в пятом разделе, посвященном геолого-экономической характеристике месторождений. Этой классификацией нужно пользоваться каждому геологу, и на нее следует опираться в практической работе.

Ниже приводятся некоторые общие соображения о принципах классификации запасов.

1. НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ[1]

Классификация запасов полезных ископаемых, так же как и стадии разведочного процесса, предопределяющие отнесение подсчитываемых запасов к той или иной категории, вытекает из принципа последовательных приближений в изучении месторождения. Как возрастает от стадии к стадии детальность разведки, так соответственно увеличивается и достоверность данных о месторождении.

Поскольку всякие измерения в разведочных выработках и определения качества полезного ископаемого производятся с известной степенью точности и особенно, поскольку контуры разведываемого тела проводятся с помощью интерполяции и экстраполяции, постольку всегда имеет место более или менее значительное расхождение между подсчитанными и действительными запасами полезного ископаемого в пределах месторождения или отдельного тела. Величина отклонения подсчитанных запасов от действительных зависит от сложности формы тела полезного ископаемого и от степени изменчивости его качества. Чем сложнее форма тела полезного ископаемого, чем выше степень изменчивости его качества и чем менее детально оно разведано, тем ниже достоверность подсчитанных запасов. Разделение запасов полезных ископаемых по степени их достоверности и составляет сущность классификации запасов, а использование промышленностью различных категорий запасов подчеркивает их различное народнохозяйственное значение.

На разных месторождениях при одинаковой плотности разведочной сети могут быть получены различные по достоверности данные; соответст-

[1] При составлении этого раздела использован отчет ВИМСа за 1957 г., посвященный принципам классификации запасов.

венно и категории запасов будут различными. На одном и том же месторождении и даже в пределах одного тела полезного ископаемого, на различных участках, разведанных с разной детальностью, запасы также будут принадлежать к различным категориям.

Кроме степени достоверности, для отнесения запасов к той или иной категории необходимо учитывать достоверность и точность данных о технологических свойствах полезного ископаемого и о горнотехнических условиях его эксплуатации, ибо без этих сведений невозможно оценить промышленное значение месторождения.

Для отнесения запасов к определенной категории надо учитывать три главных показателя:

1) степень достоверности подсчитанных запасов;

2) степень изученности технологических свойств полезного ископаемого;

3) степень изученности горнотехнических условий будущей эксплуатации и прежде всего гидрогеологических особенностей месторождения.

Основные положения (принципы), на которых зиждется классификация запасов полезных ископаемых, состоят в следующем:

1. Классификация запасов полезных ископаемых является геологической и устанавливает: пригодность запасов различной степени изученности и разведанности для народного хозяйства в соответствии с требованиями промышленности, их назначение и единые принципы учета в недрах.

2. В основе классификации должна лежать достоверность выявленных запасов полезного ископаемого, определяемая степенью разведанности и общей изученности месторождения.

3. Классификация запасов полезных ископаемых должна предусматривать подразделение их по степени пригодности для промышленного использования на группы и по степени достоверности на категории.

4. Изученность и разведанность запасов характеризуются полнотой и надежностью определения основных параметров, к которым относятся:

а) величина запасов полезного ископаемого, его основных и сопутствующих компонентов;

б) формы и геологические условия залегания тел полезного ископаемого, а также условия залегания вмещающих горных пород;

в) природные типы и промышленные сорта полезного ископаемого, их качество и пространственное распределение;

г) свойства полезного ископаемого и вмещающих горных пород, определяющие горнотехнические условия эксплуатации;

д) гидрогеологические условия месторождения;

е) технологические свойства полезного ископаемого;

ж) экономические условия района месторождения.

5. Запасы полезного ископаемого учитываются в недрах, в контурах, установленных на основании разведочных выработок, геофизических измерений и общих геологических данных, без вычета возможных потерь при добыче и переработке.

6. Качество полезного ископаемого определяется комплексно по всей сумме полезных компонентов без учета возможного разубоживания или иного изменения при добыче.

7. Запасы полезного ископаемого подсчитываются и учитываются, как правило, в весовом выражении. Подсчет и учет запасов в объемном выражении допустим по тем полезным ископаемым, при использовании которых не требуется определения веса.

8. Геологическая классификация запасов полезных ископаемых способствует решению следующих задач:

а) установлению единого порядка подсчета, утверждения и учета запасов, а также усовершенствованию разведки месторождений полезных ископаемых;

б) установлению порядка передачи разведанных месторождений для промышленного использования с учетом необходимых соотношений различных категорий запасов;

в) промышленной оценке месторождений полезных ископаемых;

г) обоснованию текущего и перспективного планирования и финансирования геологоразведочных работ, промышленности и народного хозяйства в целом.

9. Классификация запасов применяется к отдельным видам полезных ископаемых в соответствии со специальными инструкциями и методическими руководствами.

2. КАТЕГОРИИ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

Запасы твердых полезных ископаемых по степени изученности месторождений или их частей и, следовательно, по степени достоверности подразделяются на основные категории: А, В, С. Эти три основных подразделения классификации приняты во всем мире, но в разных странах выражаются по-разному. В США, Англии и других странах им примерно соответствуют следующие понятия: А — запасы «доказанные» (proved), В —«вероятные» (probable), С—«возможные» (possible), или принятые с 1943 г. термины: «измеренные», «выведенные», и «предполагаемые» (measured, indicated и inferred).

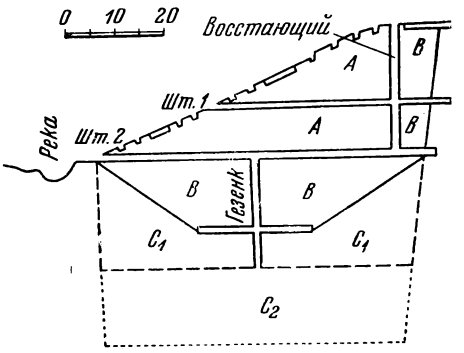


Рис. 53. Схема категоризации запасов крутопадающей рудной жилы (продольная проекция на вертикальную плоскость)

Примерное содержание буквенных категорий запасов полезных ископаемых, принятых в СССР, и их назначение указаны в табл. 12.

Схемы категоризации запасов на примере крутопадающей жилы приведены на рис. 53.

Численное выражение достоверности запасов различных категорий не установлено, хотя нередко при оценке достоверности запасов, при отне-

Таблица 12

Обобщенная категоризация запасов

Категория	Характер изученности и достоверности запасов	Промышленное назначение запасов
А	Запасы действительные, всесторонне и полно изученные	Для производственного планирования и для проектирования добычи
В	Запасы вероятные, изученные до степени, обеспечивающей решение вопросов их промышленного использования	Для обоснования капиталовложений в строительство горных предприятий и для составления технического проекта разработки месторождения
C_1	Запасы возможные, но предполагаемые с высокой степенью достоверности, слабо изученные в качественном отношении	Для обоснования перспективных планов промышленности и для проектирования детальной разведки месторождений
C_2	Запасы возможные, весьма приближенно определенные количественно и не изученные качественно	Для обоснования дальнейших геологоразведочных работ

сении их к той или другой категории, принимаются ориентировочные значения возможных погрешностей разведки и подсчета запасов.

В основу разработки методики численного выражения достоверности запасов должна быть положена идея пределов, которые могут определяться в процессе подсчетов запасов объекта по нескольким вариантам. Широкие пределы колебаний величины подсчитываемых запасов будут свидетельствовать о малой ее достоверности. Чем уже окажутся эти пределы, тем достовернее величины подсчитанных запасов.

Пусть, например, максимальный размер запасов руды на участке оценен в 80 тыс. m, минимальный — в 60 тыс. m. Относительная разность пределов составляет

$$\frac{20 \cdot 100}{80} = 25\%.$$

Эта разность пределов может характеризовать степень достоверности определения запасов руды на рассматриваемом участке.

Исходя из опыта разведочных работ, на основании сравнения данных разведки с результатами проектирования и эксплуатации, можно наметить величины допустимой погрешности определения запасов для различных категорий. Сугубо ориентировочно их можно установить в следующих размерах:

Для категории	A	15—20%
»	B	20—30
»	C_1	30—60
»	C_2	60—90

Запасы категорий A, B и C_1 в практике геологоразведочных работ называются промышленными, запасы категории C_2— геологическими. Эти названия отражают прежде всего назначение запасов соответствующих категорий. На базе промышленных запасов производится вложение средств в проектирование и строительство горных предприятий. На основе запасов категории C_2 можно лишь решить вопрос о целесообразности или нецелесообразности дальнейших геологоразведочных работ и определить размер необходимых ассигнований на эти работы.

Классификация запасов нефти и горючих газов базируется на несколько иных принципах по сравнению с классификацией запасов твердых полезных ископаемых. Основные отличительные особенности этой классификации состоят в следующем:

1. Классификация запасов нефти и газа тесно увязывается со стадиями промышленного освоения месторождения, что несколько нарушает общий принцип — группировку по степени достоверности. Поэтому бывают случаи, когда запасы нефти, отнесенные к высоким категориям на основании включения разведочного участка в сферу эксплуатации, оказываются недостоверными (скважины не фонтанируют). Однако такие случаи нечасты, обычно каждой стадии промышленного освоения месторождения соответствует определенная степень достоверности установленных на данной стадии запасов:

A — запасы, которые могут быть получены на участке действующих или новых скважин в пределах эксплуатационного контура;

B — запасы на площади, вскрытой скважинами, но полностью не исследованной и не оконтуренной;

C_1 и C_2— запасы, предполагаемые на новых площадях, еще не затронутых бурением.

2. По классификации запасов нефти и газа учету подвергаются лишь те запасы, которые могут быть извлечены из недр на современном уровне развития техники. Поэтому в отличие от месторождений твердых полезных ископаемых запасы нефти и газа в недрах подсчитываются неполно (с применением коэффициентов использования).

3. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

Из предшествующего изложения можно видеть, что для разведки месторождений различных видов применяются существенно различные методы и технические средства разведки. Плотность сети разведочных выработок также значительно меняется, возрастая от простых к более сложным месторождениям. Как уже отмечалось, решающими факторами при выборе системы разведочных работ и установлении необходимой густоты разведочной сети являются размеры тела полезного ископаемого и степень изменчивости его основных свойств (формы и качества).

Применение технически рациональной и экономичной системы разведочных работ с учетом генетического типа и морфологической группы месторождения является важнейшей проблемой методики разведки. Но она настолько же сложна, насколько важна. Здесь нельзя действовать по шаблону, ибо велико разнообразие природных скоплений полезных ископаемых, именуемых месторождениями, и к тому же заранее не бывают известны ни форма, ни качество, ни условия залегания месторождения, подлежащего разведке.

Необходимость как-то сгруппировать природное многообразие месторождений полезных ископаемых с позиций легкости (или трудности) их разведки и руководила Лафлином (1941 г.), наметившим контуры такой группировки. Он предлагает подразделять месторождения всех видов на три группы: 1) plenemensurate (полностью измеримые), 2) partimensurate (частично измеримые), 3) extramensurate (измеримые в особых случаях).

В первую группу входят месторождения, которые могут быть разведаны сравнительно легко и полностью (пласты в мульдах, локальные участки коры выветривания и т. п.). Ко второй группе относятся месторождения, нижняя часть которых уходит на большие, технически недоступные в данное время глубины (железистые кварциты, пласты углей и других полезных ископаемых, протяженные трубы и жилы и т. п.). Третью группу составляют многочисленные мелкие, разнообразные по форме и качеству месторождения, разведка которых до эксплуатации сопряжена с большими затратами или даже практически невозможна.

Еще раньше (в 1937 г.) нами была предложена более детальная классификация месторождений твердых полезных ископаемых по сложности их разведки с учетом общности для каждой группы методики и основных технических средств разведки, а также условий отнесения запасов полезного ископаемого к определенным категориям. Эта классификация состоит из пяти подразделений:

Группа *а*. Месторождения простой формы с равномерным распределением полезного компонента. К ним принадлежат главным образом месторождения осадочного генезиса (угли, некоторые строительные и огнеупорные материалы, осадочные железные руды), некоторые месторождения коры выветривания (бокситы), а из месторождений магматогенных — главным образом некоторые крупные, мало изменчивые железорудные или титановые месторождения.

Эта первая группа месторождений может быть разведана до категории А при помощи одних буровых работ при значительных расстояниях между скважинами. Применение горных выработок ограничивается единичными выработками для контроля бурения и иногда для взятия технологических проб.

Группа *б*. Месторождения большого масштаба различной, иногда сложной формы (в том числе крупные метасоматические залежи), с неравномерным распределением компонентов. К этой группе принадлежат многие штокверковые месторождения цветных металлов, некоторые месторождения черных металлов, серного колчедана, сравнительно равномерные месторождения редких металлов (в стратифицированных интрузивах), большинство россыпей золота, платины, олова и редких металлов. Сюда же относятся

сильно дислоцированные и метаморфизованные месторождения угля и месторождения мрамора.

На месторождениях этой группы при нормальном расстоянии между выработками запасы категории А могут быть получены только разведкой горными выработками. Бурение служит для выяснения запасов категории В и, если нужно, C_1.

Группа *в*. Месторождения средней величины и разнообразной формы с неравномерным, а иногда с весьма неравномерным распределением ценного компонента. Наряду с часто встречающимися жилообразными телами наблюдаются неправильные залежи. К этой группе принадлежит большинство жильных месторождений золота, олова, редких металлов, ртути, сурьмы, жильные месторождения вольфрама и молибдена, а частично и полиметаллов.

Большая неравномерность оруденения или сочетание сложной формы с неравномерностью распределения компонентов делают разведку такого рода месторождений довольно трудной. Горными работами здесь выявляются главным образом запасы категории В по отдельным блокам, но по сумме многих блоков запасы могут быть отнесены к категории А. Роль буровых работ сводится к выяснению запасов категории C_1.

Группа *г*. Сюда относятся месторождения, по морфологическим чертам сходные с месторождениями группы *в*. Практически важное отличие их, кроме крайней неравномерности распределения компонентов, заключается в малом масштабе отдельных рудных тел, представленных небольшими жилами, иногда сильно тектонически нарушенными, малыми метасоматическими телами, в том числе трубообразными, и пр. К этой группе относятся некоторые жилы бериллоносных и оловоносных пегматитов, многие небольшие жилы и неправильные тела руд редких и благородных металлов, а также вольфрама, сурьмы и ртути.

В этой группе горными работами в общем случае выявляются только запасы категории В по сумме блоков и категории C_1 по отдельным блокам. Буровые работы применяются редко и только для определения общих перспектив месторождения, т. е. запасов категории C_2. Изредка они в сочетании с проходкой горных выработок способствуют выявлению запасов категории C_1. Горные работы, помимо разведки, всегда преследуют цель подготовки рудных блоков к эксплуатации.

Группа *д*. Месторождения, представленные очень малыми гнездами и мелкими трубообразными телами. Таковы платиноносные гнезда и трубки хромитов в дунитах, некоторые месторождения изумрудов и вообще самоцветов в пегматитах, шеелитоносные и молибденоносные гнезда в скарновых зонах, занорыши и погреба оптического кварца, кальцита, флюорита. Количество подобных месторождений, вовлекаемых в эксплуатацию в связи с ростом новой техники, также увеличивается.

Месторождения этой группы необычайно сложны для разведки и промышленного освоения. Систематическая разведка запасов до категории В не производится и невозможна. Только небольшая часть запасов месторождений иногда оформляется по категории C_1, а большая их часть относится к категории C_2. Разведка этих месторождений сливается с эксплуатацией.

Описанная классификация многие годы (до 1953 г.) была принята ВКЗ и в дальнейшем довольно широко использовалась ГКЗ, а также многими геологами, правда, с исключением группы *д*.

О разведке твердых полезных ископаемых. Природные особенности коренных месторождений твердых полезных ископаемых определяют различные требования к виду разведочной системы, техническим средствам разведки, плотности разведочной сети и детальности разведки применительно к каждой из описанных групп месторождений.

В табл. 13 приводятся установленные методом аналогии некоторые средние параметры разведочной сети и характеристика целесообразных систем разведки для месторождений первых четырех групп. Но необходимо

Таблица 13

Некоторые усредненные данные о разведке коренных месторождений твердых полезных ископаемых

Группа месторождений по сложности разведки	Краткая характеристика месторождений	Преобладающие системы разведочных работ	Вид выработок	Обычные расстояния между разведочными выработками для подсчета запасов				Категории запасов, необходимые для начала промышленного освоения месторождения
				по кат. А	по кат. В	по кат. C_1	по кат. C_2	
а	Крупные залежи с непрерывной минерализацией, выдержанные по форме и обладающие довольно равномерным распределением полезного компонента	Буровые	Буровые скважины	100—200 *м*	200—400 *м*	Экстраполяция дальняя	экстраполяция	А, В и C_1 (с преобладанием А и В)
			Горные выработки	Два-четыре эксплуатационных этажа	Экстраполяция ближняя	Экстраполяция дальняя		
б	Крупные, редко средние залежи с непрерывной или слабопрерывистой минерализацией, выдержанные по форме, с неравномерным распределением полезного компонента	Буровые и горнобуровые	Буровые скважины	—	60—200 *м*	Единичные скважины и ближняя экстраполяция		В и C_1 (с преобладанием В)
			Горные выработки	Два эксплуатационных этажа	Три-четыре эксплуатационных этажа	Экстраполяция ближняя и частично дальняя		

в	Средние по размерам залежи с прерывистой минерализацией, различных форм, с неравномерным и весьма неравномерным распределением полезного компонента	Горнобуровые и горные	Буровые скважины	—	—	Единичные скважины и ближняя экстраполяция	Преимущественно	В и C_1 (с преобладанием C_1)
			Горные выработки	Один эксплуатационный этаж	Два эксплуатационных этажа	Единичные выработки и ближняя экстраполяция		C_1 и C_2
г	Малые или протяженные, но крайне прерывистые, тела с весьма и крайне неравномерным распределением полезного компонента	Горные	Горные выработки	—	Один эксплуатационный этаж (часто со сближенными горизонтами)	Два эксплуатационных этажа		
д	Очень малые гнезда и другие мелкие тела	Разведка обычно сливается с эксплуатацией						

иметь в виду, что эти средние величины могут служить лишь очень приближенным ориентиром в практической деятельности. Главным фактором, определяющим реальный подход к организации разведки и правильный подбор параметров разведочной сети, естественно, является творческая мысль и квалификация геолога-разведчика, использующего все благоприятные возможности и учитывающего конкретные особенности каждого объекта разведки.

Разведка месторождений группы *д* обычно совпадает с эксплуатацией и, таким образом, почти целиком зависит от характера подготовительных и очистных выработок. Иногда к группе *д* примыкают некоторые месторождения групп *г* и даже *в*.

Кроме таких общих усредненных условий, имеются попытки рекомендовать для каждого вида полезных ископаемых в зависимости от типовых особенностей месторождений определенные методы и системы разведки, плотности разведочной сети и некоторые другие условия. Такие рекомендации приводятся в различных инструкциях, методических руководствах и справочниках, обобщающих положительный опыт разведки разнообразнейших месторождений, но подобные рекомендации далеко не исчерпывают всех возможностей разведки.

Дальнейшая работа по обоснованию, уточнению и детализации требований к разведанности месторождений и условий, обеспечивающих рациональное ведение разведочных работ по отдельным видам и группам полезных ископаемых, имеет широкие перспективы.

Отличительной чертой методики разведки россыпей является преимущественное развитие разведочной сети в виде параллельных или почти параллельных разведочных линий, обусловленное морфологическими особенностями россыпей и характером распределения полезных минералов. Расстояния между разведочными линиями и между выработками вдоль разведочной линии зависит главным образом от размеров россыпи и от степени изменчивости содержания полезных минералов в песках.

По этим признакам россыпные месторождения подразделяются на три группы.

Первая группа представлена крупными выдержанными по мощности и по ширине россыпями со сравнительно равномерным распределением полезного минерала. Сюда входят россыпи с четкими границами продуктивных слоев, с ровным плотиком, с мелкими равномерными и хорошо окатанными минеральными зернами. Обычно они приурочены к широким долинам крупных рек (Енисей, Лена, Амур, реки Урала).

Вторая группа включает россыпи, выдержанные по форме, но характеризующиеся неравномерным распределением полезных минералов. Часто продуктивные пласты здесь неотличимы от боковых пород и их контуры выделяются лишь на основании опробования. Минеральные зерна могут обладать различными размерами и степенью окатанности. К этой же группе принадлежат и равномерные по содержанию россыпи, но с весьма неровным плотиком. Представители этой группы встречаются как среди долинных, так и среди террасовых россыпей различных полезных ископаемых.

Третья группа представлена мелкими россыпями, не выдержанными по форме, с прерывистым гнездообразным или «струйчатым», весьма неравномерным распределением полезных минералов в пределах продуктивного слоя. Промышленные участки удается установить только по данным опробования. Плотик таких россыпей обычно очень неровный, часто с крутым падением, глубокими карманами и карстовыми воронками. Это обычные россыпи мелких ключей, распадков в верховьях речных систем, а также некоторые делювиальные и элювиальные россыпи.

Для разведки россыпей применяются главным образом системы вертикальных буровых скважин и системы шурфов. Часто разведка ведется комбинированными горнобуровыми системами шурфов и скважин.

О разведке нефти и газа. Разведка нефтяных и газовых месторождений существенно отличается от разведки твердых полезных ископаемых. Хотя этапы разведки нефтяных месторождений и месторождений твердых полезных ископаемых полностью совпадают, специфика месторождений нефти и газа накладывает определенный отпечаток на методику разведочных работ каждого этапа.

На поисково-разведочном этапе, как и для твердых полезных ископаемых, проходятся различные поверхностные выработки, но они не преследуют цели обнаружения и прослеживания выходов нефти, как это часто бывает в случае какого-либо рудного месторождения, а предназначаются главным образом для конкретного установления предполагаемой нефтеносной структуры. Этой же задаче подчинено и бурение глубоких скважин, так называемое «структурное бурение», относящееся уже в большинстве случаев к стадии предварительной разведки нефтяного месторождения. Широкое применение геофизических средств на всех этапах разведки нефтяных месторождений служит хорошим примером и для разведки других полезных ископаемых. К сожалению, этот опыт пока слабо распространяется.

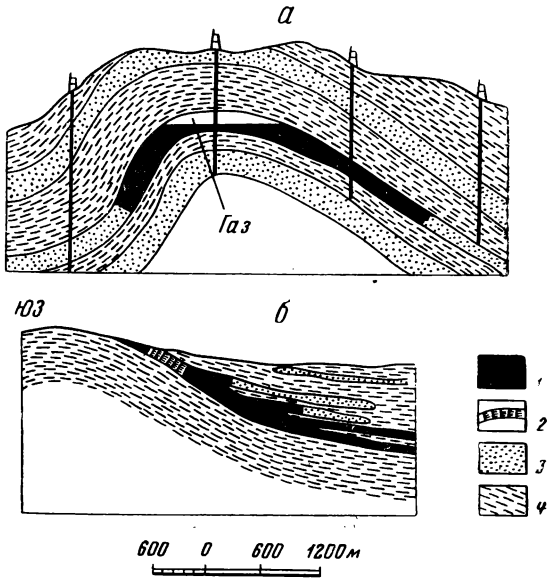


Рис. 54. Схема заложения разведочных скважин с учетом особенностей строения нефтяных месторождений

а — куполообразная структура (по Г. Д. Ажгирею); *б* — зона истощения нефтеносного пласта вблизи поверхности земли

1 — нефтеносный песок; *2* — кировые отложения; *3* — водоносный песок; *4* — сланцы и сланцеватые глины

Таким образом, первое отличие разведки нефтяных и газовых месторождений от разведки месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что здесь в начальный период разведки не ставится задача обязательного обнаружения полезного ископаемого и все усилия направляются на исследование предполагаемой газо-нефтеносной структуры.

Вторым отличием разведки нефтяных и газовых месторождений является то обстоятельство, что детальная разведка на этих месторождениях сливается в одно непрерывное целое с эксплуатацией. Это происходит потому, что в большинстве случаев разведочные скважины, достигшие нефтеносного пласта, волей-неволей становятся эксплуатационными — фонтанируют под напором из недр. Вследствие этого и пункты заложения таких разведочно-эксплуатационных скважин и задачи, разрешаемые ими, определяются спецификой нефтяных и газовых месторождений. Обычно первая скважина закладывается в наиболее высокой части геологической структуры (в куполе или в антиклинальном перегибе) с учетом проявления вулканической (грязевой) деятельности (рис. 54, *а*). Вблизи выходов нефтеносного горизонта закладывать скважины в большинстве случаев нецелесообразно из-за наличия зоны истощения в головной части горизонта (рис. 54, *б*).

Третье отличие разведки нефтяных месторождений выражается в том, что в задачу ее входит не подсчет общих количеств нефти в недрах, а определение того количества нефти (газа), которое может быть извлечено. Поэтому важно не столько определить объемы нефтеносных пластов, представляющих собой тела, насыщенные жидким или газообразным полезным

ископаемым, сколько выяснить возможный или вероятный выход полезного ископаемого из данной группы скважин с определенного участка или со всего месторождения в целом.

Отмеченные особенности разведки нефтяных и газовых месторождений обусловливают и специфическое выражение основных положений методики разведки. Правда, в процессе детальной разведки разведочно-эксплуатационные скважины располагаются по профилям, но каких-либо стандартов в отношении плотности разведочной сети наметить не представляется возможным. Расстояния между разведочными линиями колеблются в широких пределах, чаще всего от 1 до 3 *км*. Расстояния между скважинами вдоль разведочной линии, зависящие главным образом от крутизны крыльев нефтеносной структуры, меняются от 200 до 1500 *м*.

Особенности месторождений нефти и газа предопределяют исключительное применение буровых систем с использованием соответствующих технических средств разведки — роторного бурения, в последнее время все более уступающего место бурению турбинному, а также геофизических работ.

Многое из сказанного об условиях разведки месторождений нефти и газа можно отнести и к разведке воды, особенно, когда речь идет о глубоких артезианских водах. Но и разведка близповерхностных вод, так или иначе связанных с поверхностными водными потоками или открытыми бассейнами, характеризуется теми же тремя особенностями, что и разведка газо-нефтеносных участков. Разумеется, для разведки неглубоко залегающих водоносных горизонтов применяются гораздо более простые технические средства и не только буровые; иногда ограничиваются проходкой шурфов (колодцев).

4. СТЕПЕНЬ РАЗВЕДАННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обычно разведка месторождения производится с различной степенью детальности в различных его частях, и даже к моменту окончания детальной разведки на месторождении, особенно на крупном, какая-то часть запасов на флангах или на глубине остается разведанной с невысокой степенью достоверности — по категориям C_1 и C_2.

Месторождения, простые по форме и распределению полезного компонента, в результате детальной разведки имеют обычно небольшие запасы категорий C_1 и C_2. Очень сложные месторождения, напротив, разведываются в большей степени по низким категориям и обладают небольшими запасами высоких категорий (А и В). Некоторые особо сложные месторождения вообще не могут быть разведаны до начала эксплуатации по высоким категориям. Поэтому передача месторождения в эксплуатацию осуществляется в большинстве случаев при различной степени изученности (разведанности) и достоверности выявленных запасов. В силу этого обстоятельства для различных типов месторождений устанавливаются различные рациональные соотношения промышленных категорий запасов А: В : C_1, необходимые для уверенного проектирования и строительства горных предприятий.

Методика определения этого соотношения нуждается еще в разработке. Однако несомненно, что в основе ее должны лежать, с одной стороны, требования проектирующих организаций и, с другой—соображения наиболее экономичного ведения детальной разведки.

С точки зрения требований проектирующей организации, отражающей интересы будущего горного предприятия, при определении соотношений запасов $(A+B) : (A+B+C_1)$[1] следует учитывать: общую величину запасов $З_0$, возможную годовую производительность будущего предприятия $A_г$, сроки амортизации предприятия a. По методике, предложенной В. В. Померанцевым, можно подойти к определению необходимого соотношения

[1] Строго говоря, категории не должны суммироваться, так как представляют собой цифры и понятия различной достоверности.

(А+В) : (А+В+$С_1$) через величину

$$З_т = a_т A_г, \tag{23}$$

где $З_т$ — минимальные запасы, гарантирующие возврат капитальных затрат;
$a_т$ — минимальный срок амортизации предприятия.

Очевидно, $З_т$ представляет собой величину запасов наиболее высокой степени разведанности — категорий А+В.

По этим данным легко вычислить и соотношение

$$\frac{А+В}{А+В+С_1} = \frac{З_т}{З_0}. \tag{24}$$

Определение величины этого соотношения в зависимости от пределов колебания значений $З_0$, $A_г$, $a_т$ и $З_т$ для различных групп месторождений цветных и редких металлов приведено в табл. 14.

Таблица 14

Расчет соотношения $\frac{З_т}{З_0}$ для месторождений различных групп[1]

Группа месторождений по сложности разведки	Общие запасы $З_0$ в млн. $т$	Годовая производительность рудника $A_г$ в млн. $т$	Минимальный срок амортизации $a_т$ в годах	Величины $З_т$ в млн. $т$	Соотношение $\frac{З_т}{З_0}$ в %
а	500—100	6,0—2,0	26—10	60—20	12—20
б	200—50	3,0—1,4	10—8	30—11	15—22
в	100—10	2,0—0,5	10—5	20—3,5	20—25
г	10—1	0,5—0,1	5—3	3,5—0,5	25—30
д	Не анализируется				

[1] В устном сообщении (1959 г.) В. В. Померанцев предлагал расчленить запасы на два класса: 1) общие и 2) запасы на ближайшие 2—5 лет. Очевидно, первые могут быть получены в результате предварительной, вторые—в результате детальной разведки.

Исходя из этой методики при разведке более сложных и менее крупных месторождений требуется более высокое отношение запасов категорий $А_2$+В к общим запасам А+В+$С_1$. Но разведка до высоких категорий на сложных месторождениях требует бóльших затрат сил и средств, чем на простых, а иногда на таких месторождениях вообще не удается разведать запасы до высоких категорий. Вследствие этого необходимо учитывать эффективность затрат на детальную разведку, предшествующую эксплуатации. Такой учет предложен В. Я. Каудельным (1957) и проиллюстрирован им на примере Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса.

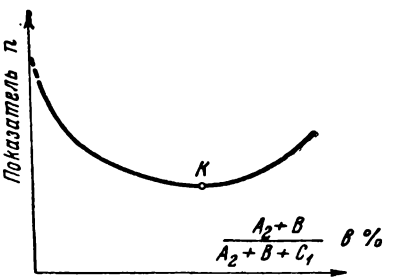


Рис. 55. Соотношение метража разведочных выработок, затраченного на разведку 1000 $т$ запасов полезного ископаемого по высоким категориям (показатель n), и степени разведанности участка

Сопоставляя эффект разведки и затраты на разведку разных шахтных полей с помощью показателя n, выражающего отношение метража разведочного бурения, затраченного на 1000 $т$ запасов угля категорий $А_2$+В, В. Я. Каудельный установил следующее[1]:

1. По мере развития разведочных работ увеличение метража бурения ведет к более или менее быстрому росту запасов $А_2$+В, в связи с чем пока-

[1] Определение категорий В. Я. Каудельным производилось по старой классификации запасов.

затель n уменьшается, достигая минимального значения в некоторой точке K (рис. 55).

2. В заключительном этапе детальной разведки относительный прирост метража скважин оказывается больше прироста запасов категорий A_2+B и поэтому n снова возрастает.

3. Для различных типов шахтных полей наиболее дешевый прирост запасов A_2+B, соответствующий наименьшему значению показателя n,

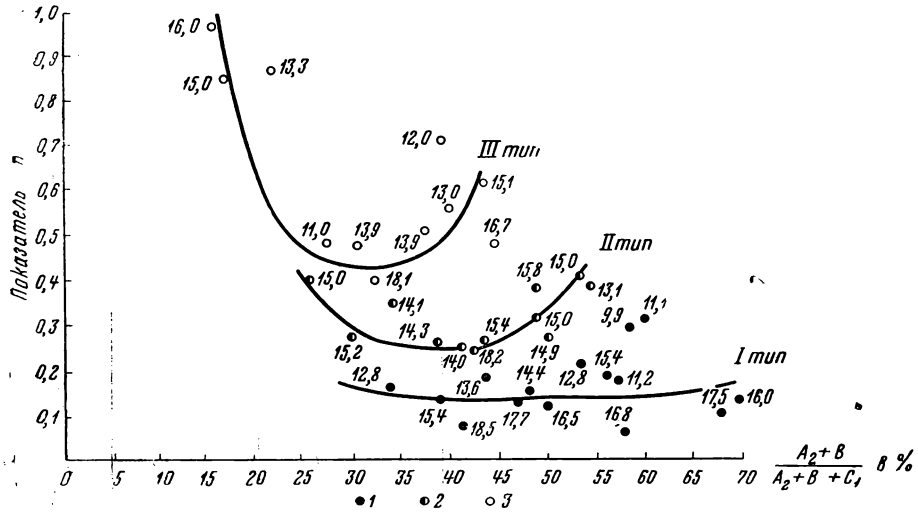


Рис. 56. Кривые соотношений разведанности и метража буровых скважин по Прокопьевско-Киселевскому району Кузбасса (по В. Я. Каудельному)

1 — данные по участкам простого геологического строения; *2* — данные по участкам сложного геологического строения; *3* — данные по участкам очень сложного геологического строения. Цифры возле точек показывают рабочую угленосность толщи

наблюдается при отношении $\frac{A_2+B}{A_2+B+C}$, равном 50—56% в случае простого строения участков (I тип шахтных полей), 35—40% при сложном их строении (II тип) и 30—35% при очень сложном (III тип, — рис. 56).

По-видимому, с точки зрения экономичности разведочных работ целесообразно ограничиваться соотношением $\frac{A+B}{A+B+C_1}$, соответствующим минимальному значению n. Надо полагать, что сопоставление $З_m$, полученного по формуле (23), с величиной запасов A+B, соответствующей $n_{мин}$, в каждом конкретном случае может помочь найти наиболее рациональное соотношение $\frac{A+B}{A+B+C_1}$.

В практике для цветных и редких металлов в зависимости от сложности месторождений необходимый минимум запасов категорий A+B принимается в пределах 5—50%, а некоторые весьма сложные месторождения разведываются только по категории C_1. Для месторождений черных металлов приняты пределы A+B=20—40%.

Соотношение между стадиями разведки и получаемыми в результате категориями запасов в общем случае выглядит так:

поисково-разведочный этап — категория C_2;

предварительная разведка — категории C_1+C_2 (иногда немного запасов категории B);

детальная разведка — категории A+B (некоторая часть запасов обычно остается разведанной по категориям C_1+C_2);

эксплуатационная разведка — категория A.

5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗВЕДКИ

Промышленная оценка месторождения производится непрерывно в процессе его разведки, находя более или менее законченное выражение в конце каждой стадии геологоразведочного процесса. В самом деле, каждая новая разведочная выработка приносит новые сведения о размерах (мощности) разведываемой залежи и о качестве полезного ископаемого или констатирует отсутствие полезного ископаемого в данном месте. Эти данные подвергаются немедленной оценке в смысле отнесения данного участка к промышленному контуру или, при неблагоприятных результатах, — оставления его за контуром. Подвергается оценке качество полезного ископаемого по всему интервалу, вскрытому разведочной выработкой, и на основании этой оценки проводятся границы тела полезного ископаемого и производится разделение его на сорта в пределах данной выработки.

Так, шаг за шагом, от одной разведочной выработки к группе выработок, расположенных в плоскости разведочного разреза, от одного разведочного разреза к другому, от одного детально разведанного участка ко всему месторождению, производится промышленная оценка. Только в итоге множества оценочных действий, совершенных в процессе разведки, появляется возможность дать общую оценку месторождения. В то же время ни одна разведочная выработка, ни одна разведочная операция, ни одно исследование качества полезного ископаемого не имеют смысла, если они не служат материалом для промышленной оценки месторождения.

Как уже отмечалось выше, весьма приближенная промышленная оценка месторождения на этапе поисково-разведочных работ должна учитывать два показателя: ориентировочную годовую производительность будущего горного предприятия и величину капиталовложений, необходимых для промышленного освоения месторождения. Эти показатели находятся с помощью эмпирических формул В. В. Померанцева—формулы годовой производительности ($A = k\sqrt{З}$) и формулы необходимых капиталовложений ($K = 300A + 40 \cdot 10^6$ руб.), которые уже приводились во втором разделе книги[1].

Эти же математические выражения могут быть использованы для предварительной оценки месторождения и в процессе разведки с той лишь разницей, что при разведке величина запасов ($З$) становится уже более достоверной по сравнению с этапом поисково-разведочных работ. Следовательно, и результаты вычислений в период разведки претендуют на бóльшую и все возрастающую точность.

Кроме того, в процессе разведки появляется возможность выяснить и другие технические и экономические показатели, а именно:

1. Объемный коэффициент вскрыши ($в_0$), необходимый для определения способа разработки месторождения (подземный или открытый),

$$в_0 = \frac{О_к - О_р}{О_р}, \qquad (25)$$

где $О_к$ — объем карьера в $м^3$;

$О_р$ — объем руды, добываемой из этого карьера, в $м^3$.

Открытый способ разработки рационален при $в_0 \leqslant 20—30$.

2. Возможность переработки (или прямого использования) полезного ископаемого. Определяется по средним значениям вещественного состава и других качественных показателей полезного ископаемого. Вначале оценка базируется на простом сравнении качества разведываемого полезного ископаемого с аналогичным хорошо изученным минеральным сырьем других действующих горнометаллургических предприятий. Затем эти показатели уточняются лабораторными и полузаводскими опытами. Для руд, способ

[1] Следует иметь в виду, что эти формулы относятся к оценке рудных месторождений в условиях экономики промышленности СССР середины XX века. Для других полезных ископаемых и другого времени коэффициенты могут иметь иное значение.

технологической переработки которых неизвестен или возможность его применения сомнительна, еще на стадии предварительной разведки нужно проводить лабораторные испытания. При невозможности получения проб необходимого веса (для каждого сорта требуется ~ 100 *кг*), нужно использовать хотя бы керновый материал.

3. Экономические показатели: ценность полезного ископаемого и себестоимость его эксплуатации. Ценность 1 *т* руды ($Ц_р$) определяется по формуле

$$Ц_р = \frac{1}{(1+у)\cdot 100} \sum_{1}^{k} Ц_i n_i \gamma_i, \qquad (26)$$

где k — число полезных компонентов в руде;

$Ц_i$ — цена 1 *т* металла в концентрате;

n_i — среднее содержание металла в руде;

γ_i — коэффициент извлечения металла в концентрат;

у — коэффициент разубоживания при добыче.

Себестоимость добычи и переработки полезного ископаемого (С) приближенно может быть определена с помощью эмпирической формулы В. В. Померанцева (в рублях на тонну):

$$С = а + \frac{б}{A}, \qquad (27)$$

где а и б—эмпирические коэффициенты;

A — годовая производительность предприятия в тыс. *т*.

По установленным таким образом экономическим показателям можно с большей или меньшей степенью вероятности определить рентабельность будущего предприятия и эффективность капиталовложений. Эти данные и ложатся в основу сравнительной оценки, определяющей выгодность или невыгодность эксплуатации разведываемого месторождения по сравнению с другими горными предприятиями, занятыми добычей и переработкой аналогичного минерального сырья.

Предполагаемая рентабельность горного предприятия (П) находится путем сопоставления ценности полезного ископаемого с себестоимостью его эксплуатации:

$$П = Ц_р - С. \qquad (28)$$

Положительная величина П указывает на вероятную прибыльность будущего предприятия, отрицательная — на убыточность.

Эффективность капиталовложений измеряется различными соотношениями. В процессе разведки предполагаемую эффективность капитальных затрат достаточно выразить в двух измерителях: $Э_1$ (в рублях на тонну запасов полезного ископаемого) и $Э_2$ (в рублях на тонну годовой добычи полезного ископаемого):

$$Э_1 = \frac{K}{З}; \qquad (29)$$

$$Э_2 = \frac{K}{A}, \qquad (30)$$

где K — капиталовложения в рублях, $З$ — запасы по сумме промышленных категорий в тоннах руды и A — годовая производительность предприятия в тоннах руды.

Таким образом, в период разведки дается предварительная, приближенная промышленная оценка месторождения, на основе которой производится передача месторождения из ведения разведочной организации в распоряжение организации, ведающей эксплуатационными работами. Более точная и всесторонняя оценка месторождения дается по окончании всех разведочных работ и в процессе проектирования эксплуатации, когда учитываются уже общегосударственные соображения и устанавливается очередность промышленного освоения разведанных месторождений.

ГЛАВА VI

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. СИСТЕМАТИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

По степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, определяющих характер и объем исследований, месторождения делятся на три группы:

1) месторождения с простыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями;

2) месторождения со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями;

3) месторождения с очень сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями.

Основными критериями для такой группировки месторождений служат: литологическая, геоморфологическая и тектоническая характеристика месторождения и прилегающего района, условия питания водоносных горизонтов, гидростатические давления, водообильность. В классификации месторождений по сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, предложенной С. П. Прохоровым и Е. Г. Качугиным (табл. 15), учитываются также наличие или отсутствие многолетней мерзлоты и характер эксплуатационных работ (открытые или подземные разработки).

В соответствии с детальностью изучения месторождения на каждой стадии разведки наряду с определенной достоверностью подсчитываемых запасов полезного ископаемого требуется более или менее подробное и точное освещение гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей месторождения.

В методических работах, изданных институтом ВСЕГИНГЕО, сформулированы основные требования к гидрогеологической и инженерно-геологической изученности месторождений полезных ископаемых по стадиям разведочного процесса, состоящие в общих чертах в следующем:

1. Независимо от сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, на каждой стадии разведки должны быть освещены более или менее определенно: площади распространения водоносных горизонтов, условия их залегания, области питания; основные черты режима подземных и поверхностных вод; возможные изменения режима подземных вод в процессе предполагаемой эксплуатации месторождения; возможные притоки воды в горные выработки; характеристика источников водоснабжения; инженерно-геологические условия участка месторождения.

2. В начальный период разведки (поисково-разведочные работы и предварительная разведка) гидрогеологические и инженерно-геологические условия изучаются предварительно. На этом этапе исследований требуется: характеристика инженерно-геологических типов горных пород, характеристика водоносных горизонтов по площади их распространения и области питания; сравнительная оценка различных участков месторождения в отношении их обводненности и инженерно-геологических условий.

3. В период детальной разведки гидрогеологические и инженерно-геологические условия месторождения должны быть выяснены достаточно полно, хотя эти исследования необходимо продолжать и в период эксплуатационной разведки, все более и более уточняя и детализируя данные. В результате детальных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований при разведке месторождения должны быть обстоятельно освещены следующие вопросы: тектоника месторождения; геоморфология участка; особенности горных пород и полезного ископаемого в инженерно-геологи-

Таблица 15

Классификация месторождений или их участков по степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий

Степень сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий	Месторождения, разрабатываемые закрытым способом			
	Группа I—месторождения, залегающие вне зоны многолетней мерзлоты			Группа II—месторождения, залегающие в зоне многолетней мерзлоты
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	
	Месторождения, приуроченные преимущественно к несцементированному песчано-глинистому комплексу пород (Подмосковный угольный бассейн, украинские буроугольные, марганцовые месторождения, некоторые угольные месторождения Средней Азии, а также Южного Урала и др.)	Месторождения, приуроченные к некарстующемуся скальному или полускальному трещиноватому комплексу пород (Донецкий, Кузнецкий, Челябинский угольные бассейны, Криворожский железорудный бассейн, месторождения цветных и редких металлов Урала, Казахстана, Сибири и Дальнего Востока)	Месторождения, залегающие в условиях карста (Кизеловский угольный и Прибалтийский сланцевый бассейны, некоторые месторождения цветных металлов Урала, Сибири, Средней Азии и др.)	
Простые	Месторождения залегают выше местного базиса эрозии; почва и кровля пласта полезного ископаемого или рудного тела устойчивы; физико-географические и геолого-тектонические условия не благоприятствуют интенсивному питанию и накоплению подземных вод; связь этих вод с поверхностными водотоками и водоемами отсутствует Также месторождения:			
	залегающие ниже уровня подземных вод, но гидростатический напор на почву и кровлю пласта полезного ископаемого не превышает 5—10 *м*. Приток воды в шахту до 100 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 1,0—3,0	залегающие ниже местного базиса эрозии, но по тектоническим условиям с ограниченной областью питания водоносных горизонтов. Приток воды в шахту до 100 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 0,6—1,6	залегающие ниже местного базиса эрозии, но гидростатический напор на почву или кровлю пласта полезного ископаемого не превышает 20—30 *м*. Приток воды в шахту до 150 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 1,4—4,0	залегающие в толще многолетнемерзлых пород или в талых породах, представленных некарстующимися скальными или полускальными породами. Приток воды в шахту до 60 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 0,5—2,0

Сложные	Месторождения залегают ниже местного базиса эрозии; почва или кровля пласта полезного ископаемого или рудного тела может быть неустойчива; физико-географические и геолого-тектонические условия месторождения благоприятствуют питанию или взаимосвязи различных водоносных горизонтов: на участке имеются глубокие овраги, водопроницаемые покровные образования, болота, крупные тектонические нарушения, не связанные с поверхностными водотоками и водоемами			
	Также месторождения:			
	в которых в кровле пласта полезного ископаемого залегают небольшой мощности (10—15 *м*) обводненные пески или сложная по строению толща пород; гидростатический напор одновременно на почву и кровлю пласта полезного ископаемого не превышает 30 *м* или в отдельности только на почву или кровлю пласта не превышает 50—70 *м*. Приток воды в шахту 200—300 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 6,0—9,0	продуктивная толща которых перекрыта водоносными песками или трещиноватыми карбонатными породами, питающими водоносные горизонты продуктивной толщи. Приток воды в шахту 150—200 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 2,0—3,6	в которых гидростатический напор на почву или кровлю пласта полезного ископаемого не превышает 50—70 *м*, но гидрогеологические условия малоблагоприятны для питания подземных вод: крутой рельеф местности, наличие покрова слабо водопроницаемых или водонепроницаемых отложений, отсутствие крупных карстовых воронок и суходолов. Приток воды в шахту 200—400 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности 4,0—12,0	в подмерзлотной талой зоне которых заключены напорные воды, или месторождения, в разрезе которых наблюдается изменчивая мощность толщи многолетнемерзлых пород с наличием среди них таликов. Приток воды в шахту до 150 *м*³/*час*. Коэффициент водообильности меньше 9,0

Продолжение табл. 15

Очень сложные	Месторождения залегают ниже местного базиса эрозии; почва и кровля пласта полезного ископаемого или рудного тела могут быть неустойчивы; физико-географические и геолого-тектонические условия благоприятствуют интенсивному питанию подземных вод: на месторождении или по его границам имеются поверхностные водотоки или водоемы, с которыми распространенные на месторождении водоносные горизонты имеют активную связь, развиты водопроницаемые покровные отложения, имеются глубоковрезанные овраги, а также крупные тектонические нарушения, связанные с поверхностными водотоками и водоемами			
	Также месторождения:			
	в которых в кровле пласта полезного ископаемого залегает мощная (15—25 *м*) толща обводненных песков или несколько водоносных горизонтов; гидростатический напор на почву и кровлю пласта полезного ископаемого свыше 30 *м* или в отдельности только на почву или кровлю пласта свыше 50—70 *м*. Приток воды в шахту 500—800 $м^3/час$ и более. Коэффициент водообильности 15,0—20,0	продуктивная толща которых перекрыта мощной толщей водоносных пород; водоносные горизонты продуктивной толщи имеют активную взаимосвязь. Приток воды в шахту 300—600 $м^3/час$. Коэффициент водообильности 4,4—9,0	в рельефе которых наблюдаются пологие склоны с наличием крупных карстовых воронок, суходолов; гидростатический напор на почву или кровлю пласта полезного ископаемого свыше 60—70 *м*. Приток воды в шахту 600—1500 $м^3/час$ и более. Коэффициент водообильности 16,0—36,0 и более	в подмерзлотной талой зоне которых заключены напорные водоносные горизонты с значительными динамическими запасами. Приток воды в шахту 300—500 $м^3/час$. Коэффициент водообильности 10,0—12,0

Продолжение табл. 15

Степень сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий	Месторождения, разрабатываемые открытым способом			
	Группа I—месторождения, залегающие вне зоны многолетней мерзлоты			Группа II—месторождения, залегающие в зоне многолетней мерзлоты
	тип 1	тип 2	тип 3	
Простые	Месторождения или их участки разрабатываются до уровня грунтовых вод или ниже уровня грунтовых вод, но гидрогеологические и инженерно-геологические условия не вызывают особых затруднений при создании устойчивых откосов, а также опасений больших притоков или прорывов подземных вод в карьер: поверхностные водотоки или водоемы вблизи месторождения, а также тектонические нарушения на месторождении отсутствуют; в породах вскрыши имеется водоносный горизонт мощностью до 10 *м*; напоры подземных вод на подошву пласта полезного ископаемого не превышают 30 *м*; месторождения или их участки не требуют применения предварительных специальных противооползневых мероприятий и значительных механических водоотливных средств как при вскрытии, так и при эксплуатации месторождения или участка			
	Откосы карьера сложены:			
	глинистыми породами	скальными недислоцированными или слабодислоцированными породами, не подверженными влиянию климатических факторов, которые могли бы существенно изменить физико-механические свойства пород в сторону понижения их устойчивости	слабо закарстованными известняками, причем карстовые явления на поверхности отсутствуют или слабо развиты	глинистыми или скальными некарстующимися породами

Продолжение табл. 15

Сложные	Месторождения или их участки разрабатываются ниже уровня подземных вод, но поверхностные водотоки или водоемы (вблизи месторождения), а также связанные с ними крупные гектонические нарушения отсутствуют, область питания подземных вод ограниченна: в породах вскрыши имеется водоносный горизонт мощностью до 30 *м*; напоры подземных вод на подошву пласта полезного ископаемого не превышают 40—70 *м*; гидрогеологические и инженерно-геологические условия требуют предварительного осушения для создания устойчивых бортов карьера, а возможно. и снижения напора во избежание прорыва подземных вод из подошвы карьера			
	Кроме того, месторождения или их участки характеризуются:			
	наличием в откосах песчаной толщи или переслаиванием песчано-глинистых пород, причем мощность одного песчаного слоя или общая мощность нескольких песчаных водоносных слоев до проектной глубины карьера не превышает 20 *м*	наличием в бортах откосов ослабленных поверхностей, снижающих устойчивость пород и обусловленных: а) трещиноватостью, б) сильной дислоцированностью пород, в) напластованием последних в сторону карьера, г) пропластками и включениями слабоустойчивых пород	наличием сильно закарстованных пород и крупных карстовых явлений на поверхности, обусловливающих благоприятные условия питания подземных вод атмосферными осадками и в том числе ливневыми водами как в пределах, так и за пределами участка разработок	наличием в откосах карьера рыхлых разностей пород с ослабленными поверхностями в виде переувлажненных зон, сильно снижающих устойчивость откосов

Очень сложные	Месторождения аналогичны предыдущим, но подземные воды имеют благоприятные условия для пополнения: обширная область питания, наличие вблизи месторождения или участка поверхностного водотока или водоема, связанных с ним или с мощными водоносными горизонтами крупных тектонических нарушений, могущих обусловить значительные притоки или крупные прорывы подземных вод; напоры подземных вод на подошву пласта полезного ископаемого превышают 70 *м*; месторождение или участок требует снижения напора и систематических осушительных мероприятий для обеспечения устойчивости откосов, а также организации мощного механического водоотлива как при вскрытии, так и при эксплуатации месторождения или участка			
	Кроме того, месторождения или их участки характеризуются:			
	наличием в откосах песчаной толщи или переслаиванием песчано-глинистых пород, причем мощность одного песчаного слоя или общая мощность нескольких песчаных водоносных слоев превышает 20 *м*	наличием в бортах карьера сильнодислоцированных трещиноватых аргиллитов, алевролитов, или слабо сцементированных аргиллитов, или алевролитоподобных сланцев и песчаников, устойчивость которых снижается под влиянием климатических и других факторов	наличием в долине поверхностного водотока крупных карстовых воронок, способствующих усиленному поглощению поверхностных вод	преобладанием в разрезе пород откосов рыхлых разностей

ческом отношении; водоносные горизонты, их мощность, площади распространения, водообильность, статические уровни подземных вод; источники и области питания водоносных горизонтов; связь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водоемами; режим подземных и поверхностных вод; физико-механические свойства водоносных и водоупорных горных пород; количественные показатели притоков воды по участкам и отдельным выработкам; физические свойства и химический состав подземных и поверхностных вод; условия водоснабжения предприятия.

Выполнение всех этих требований, особенно в случае сложной гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, связано с значительными и порой громоздкими полевыми и лабораторными работами.

2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидрогеологические наблюдения при разведке ведутся в буровых скважинах и горных выработках — не только в специально заложенных для гидрогеологических целей, но, по возможности, во всех разведочных выработках. В процессе бурения скважин отмечаются: уровни водоносных горизонтов, поглощение промывочной жидкости, самоизлив воды из скважины, температуры воды, провалы бурового инструмента, выход газов.

В условиях устойчивой мерзлоты гидрогеологические исследования приобретают определенную специфику. Скважины, пройденные в сплошной мерзлоте, обычно легко осушаются и остаются безводными. Если же имеются подмерзлотные водоносные горизонты, то обычные гидрогеологические измерения значительно усложняются. При временном прекращении бурения

Таблица 16

Средняя продолжительность откачек в зависимости от состава пород и характера водоносного горизонта (по М. Е. Альтовскому)

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации в *м/сутки*	Удельный дебит в *л/сек*	Характер водоносного горизонта	Продолжительность откачки при каждом понижении в 8-часовых сменах	
				пробная откачка	опытная откачка
Скальные сильнотрещиноватые породы и гравийно-галечниковые породы с незначительной примесью мелких частиц	60—70 и более	5—10 и более	Напорный Грунтовый	1—2 2—3	6—9 9—12
Скальные трещиноватые породы, мел, гравийно-галечниковые породы со значительной примесью мелких чистиц, гравелистые разнозернистые пески	60—20	10—1,0	Напорный Грунтовый	2—4 3—5	9—12 12—18
Скальные слаботрещиноватые породы (доломиты, мергели, сланцы), мел, разнозернистые пески	20—5	1,0—0,1	Напорный Грунтовый	3—5 4—6	12—18 15—21
Мелкозернистые неоднородные пески	Меньше 5	0,5—0,01	Напорный Грунтовый	4—6 5—7	12—18 15—24

для предотвращения замерзания жидкости в скважину нагнетают раствор соли. Иногда, напротив, приходится дать скважине «замерзнуть» для последующего разбуривания льда с целью выяснения интервалов, имеющих отрицательную температуру.

Главными приемами гидрогеологических изысканий на месторождениях полезных ископаемых являются откачки и нагнетания воды, проводимые с целью выяснения водообильности горных пород, и химические анализы подземных вод.

О т к а ч к и применяются двух видов: пробные и опытные.

Первые служат только для ориентировочного определения водообильности встреченного водоносного горизонта и качества его воды. При пробной откачке фиксируется расход воды и понижение статического уровня, соответствующее этому расходу. Продолжительность пробной откачки в зависимости от ряда условий указана в табл. 16. Желательно производить пробные откачки при двух понижениях уровня воды, один из которых должен быть максимально возможным. После откачки ведутся наблюдения за восстановлением уровня. По результатам опыта строится график.

Опытные откачки подразделяются на откачки из одиночных скважин и откачки из опытного куста скважин. Первые преследуют цель более точного определения дебита скважины в зависимости от понижения уровня воды и проводятся при трех и более понижениях уровня. Опытные откачки из куста (группы) скважин, кроме указанных целей, служат для определения коэффициента фильтрации водоносных пород, для установления связи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водотоками и водоемами, а также для определения радиуса и времени формирования воронки депрессии.

Расположение наблюдательных скважин и расстояния между ними определяются гидрогеологическими особенностями участка и характером вмещающих горных пород. Число «лучей» (линий, по которым располагаются наблюдательные скважины) в опытном кусте зависит от степени неоднородности водоносного пласта и от требуемой точности определения коэффициента фильтрации. При однородном строении водоносного пласта наблюдательные скважины закладываются по одному лучу. В породах, сильнотрещиноватых и неоднородных, применяется расположение наблюдательных скважин по двум лучам: по направлению преобладающей трещиноватости и перпендикулярно к нему. Ориентировочные расстояния между наблюдательными скважинами приведены в табл. 17. Если на месторождении пройдено много разведочных скважин, то они могут и должны быть использованы при производстве откачек в качестве наблюдательных.

При проведении опытных откачек для более точного вычисления коэффициента фильтрации вводятся некоторые поправки к данным замеров уровня, например поправка на колебания уровня подземных вод в период откачки, поправка на резко различную минерализацию воды в разных скважинах и др.

Н а г н е т а н и я служат для определения водопоглощения трещиноватых горных пород. Нагнетание производится при трех-четырех ступенях давления. На основании опыта определяется зависимость расхода воды от напора, позволяющая выяснить удельное водопоглощение породы. В рыхлых и сильнотрещиноватых породах применяются н а л и в ы без давления. Однако последний способ менее совершенен и иногда дает сильное искажение величины водопроницаемости.

Комплекс гидрогеологических наблюдений, осуществляемых в горных выработках, включает подземную гидрогеологическую съемку, наблюдения за притоком воды, наблюдения за уровнем, температурой и химизмом воды. Все эти виды работ преследуют те же цели, что и гидрогеологические наблюдения при бурении, и проводятся обычно в комплексе с ними. Оценка водопритоков в горные выработки составляет специальный раздел гидрогеологии.

Таблица 17

Расположение скважин опытного куста в зависимости от состава пород и характера водоносного горизонта

(по М. Е. Альтовскому)

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации в *м/сутки*	Характер водоносного горизонта	Расстояние между опытной скважиной и наблюдательными (в *м*)		
			1-й	2-й	3-й
Скальные сильнотрещиноватые породы	60—70 и более	Напорный Грунтовый	15—20 10—15	50—40 20—30	60—80 40—60
Скальные трещиноватые породы	60—20	Напорный Грунтовый	6—8 5—7	10—15 8—12	20—30 15—20
Гравийно-галечниковые породы без примеси мелких частиц, крупно- и среднезернистые однородные пески	60—70 и более	Напорный Грунтовый	8—10 4—6	15—20 10—15	30—40 20—25
Гравийно-галечниковые породы с значительной примесью мелких частиц	60—20	Напорный Грунтовый	5—7 3—5	8—12 6—8	15—20 10—15
Неоднородные разнозернистые и мелкозернистые пески	20—5	Напорный Грунтовый	3—5 2—3	6—8 4—6	10—15 8—12

С целью изучения качества воды производится химический анализ проб воды, отобранных в скважинах или горных выработках. Количество проб зависит от детальности исследований и от сложности гидрохимического режима. При поисково-разведочных работах достаточно взять по одной пробе на полный анализ воды из каждого основного водоносного горизонта и из каждого поверхностного водотока и водоема. В стадии предварительной разведки требуется выяснить характер изменения химического состава вод не только по глубине, но и по площади. На стадии детальной разведки должно быть выяснено также изменение состава вод во времени (по сезонам).

В процессе опытных откачек в конце каждого понижения отбирается проба воды на полный химический анализ из струй нагнетательной трубы насоса. При откачке эрлифтом отбор проб следует производить по окончании откачки пробоотборником, опускаемым ниже уровня погружения смесителя. В фонтанирующей скважине проба отбирается непосредственно из струи через 1—2 часа после начала фонтанирования. Для полного химического анализа необходимо 1,5—2 *л* воды, для сокращенного достаточно 1 *л*. Пробы воды должны храниться в стеклянных бутылках с плотными пробками, залитыми парафином или сургучом.

Изучение химического состава воды в процессе разведки месторождения полезного ископаемого имеет целью выяснение связи отдельных водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами; установление пригодности воды для питья и технического водоснабжения; определение степени агрессивности воды, выражающейся в разрушительном действии на металлы и бетон; использование данных о химическом составе воды в качестве поискового критерия или признака.

Пригодность воды для питья устанавливается по ее химическому составу и бактериологическим данным. Определяется сухой остаток, жест-

кость, окисляемость, содержание ионов Cl, SO_4, HCO_3, Na+K, Ca, Mg, содержание свободной CO_2, Al_2O_3, SiO_2 и величина pH. Количество вредных примесей не должно превышать (в *мг/л*): фтора —1,5, мышьяка —0,05, свинца — 0,1, меди — 3,0, цинка —5,0, железа и марганца —0,3.

Воды с повышенной кислотностью разрушающе действуют на бетонные сооружения, на металлические изделия, особенно на разнообразные трубопроводы и прежде всего на водоотливное оборудование. При содержании связанной углекислоты менее 30 *мг/л* (жесткость $<3{,}8$ нем. градуса) воды считаются агрессивными независимо от других показателей. Разрушение бетона происходит в результате новообразований гипса и сульфаталюмината кальция, сопровождающихся увеличением объема вещества в 2—2,5 раза. При содержании SO_4 от 250 до 800 *мг/л* вода слабо агрессивна; содержание SO_4 более 800 *мг/л* делает ее агрессивной в отношении бетона. При содержании свободной серной кислоты, равном 2—3 *г/л*, вода становится агрессивной и в отношении металлов.

3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инженерно-геологические исследования в процессе разведки проводятся с целью выяснения горнотехнических условий будущей эксплуатации месторождения. Кроме рассмотренных выше гидрогеологических исследований, позволяющих определить важнейшее из горнотехнических условий эксплуатации — обводненность месторождения, — необходимо знать, с какими особенностями вмещающих горных пород и самого полезного ископаемого придется столкнуться при проходке разведочных и подготовительных горных выработок и в процессе отработки месторождения.

Наиболее существенное значение из физико-механических свойств горных пород и полезного ископаемого имеют их крепость и устойчивость в горных выработках.

Крепость породы зависит от ее твердости, упругости, вязкости и трещиноватости, определяемых структурой и минеральным составом. Она может быть приближенно установлена по косвенным признакам, например по сопротивлению раскалыванию, по упругости при ударе, по твердости, пористости и трещиноватости. Однако наиболее объективным способом определения крепости горной породы служат испытания ее на буримость соответствующим буровым снарядом или перфоратором. Известные шкалы, предусматривающие разделение горных пород на ряд категорий по буримости, представляют собой технические классификации крепости пород.

Разведчик должен уметь определить крепость вмещающих пород и полезного ископаемого и выразить их в категориях той или иной принятой шкалы, ибо от этого зависят темпы проходки разведочных и эксплуатационных выработок и объемы затрат на разведку и эксплуатацию месторождения.

Устойчивость вмещающих пород и полезного ископаемого является важным условием проведения горных выработок. Она представляет собой функцию ряда физико-механических свойств горных пород и прежде всего их текстурно-структурных особенностей, важнейшим элементом которых является характер связей между отдельными минеральными зернами. По этому последнему признаку различаются породы связные и рыхлые, или несвязные. В первых прочность связей колеблется в широких пределах в зависимости от характера цемента, скрепляющего минеральные зерна, от степени выветрелости и химической измененности, от способности набухать при увлажнении и т. п. Известно, что крупнозернистые породы менее устойчивы, чем мелкозернистые.

Устойчивость горной породы, кроме того, зависит от условий ее залегания, от степени трещиноватости, от характера обнажения, т. е. от различ-

ных структурно-геологических условий, определяющих ориентировку усилий (силы тяжести, тектонических усилий), воздействующих на обнаженные в выработках массивы горных пород и тела полезного ископаемого.

В соответствии с характером обнажения и, следовательно, с ориентировкой усилий, воздействующих на обнаженный массив горной породы, возникают те или иные деформации, которые можно разделить на две группы:

1) деформации, вызванные горным давлением в подземных выработках;

2) деформации, определяемые углом внутреннего трения пород в открытых карьерах.

Уже из этой краткой характеристики видно, что устойчивость (или неустойчивость) горных пород представляет собой сложное и далеко еще не изученное явление.

Устойчивость горных пород вообще и полезного ископаемого в частности может быть определена косвенно путем изучения прочности структурных связей, степени измененности, влагоемкости, трещиноватости пород и т. п. Наиболее достоверные данные об устойчивости пород можно получить при проходке горных выработок. И поскольку первые выработки на месторождении являются разведочными, то на долю разведчика и выпадает обязанность первой оценки устойчивости пород, слагающих месторождение.

При детальных геологоразведочных работах по возможности выясняются и остальные физико-механические свойства вмещающих пород и полезного ископаемого, отчасти определяющие их крепость и устойчивость в различных условиях (морозостойкость, способность к размоканию, набухание, пластичность и т. п.) или имеющие самостоятельное значение для эксплуатации; к последним относится, например, кусковатость или гранулометрический состав, коэффициент разрыхления, способность к самовозгоранию, слеживаемость, от которых зависит технология горного производства: организация транспорта и складирования, система разработки, проходческий цикл.

Выяснение физико-механических свойств горных пород требует значительных лабораторных и полевых испытаний, для которых из буровых скважин и горных разведочных выработок отбираются образцы пород.

Отбор образцов горных пород для инженерно-геологических исследований должен обеспечивать сохранение структуры и естественного состояния породы. В связи с этим иногда приходится бурить без промывки, с медленным вращением снаряда, подбирать соответствующее давление на забой скважины, применять специальные приборы — грунтоносы.

Главной задачей инженерно-геологических испытаний горных пород является определение:

1) минералого-петрографического состава пород и их физико-механических особенностей; 2) гранулометрического состава рыхлых пород или кусковатости монолитных пород в различных условиях их разрушения при проходке выработок; 3) влажности; 4) пористости; 5) коэффициента разрыхления; 6) угла внутреннего трения сыпучих пород; 7) пластичности глинистых пород; 8) степени набухания глинистых пород; 8) способности к размоканию глинистых и других пород (слабо сцементированных); 10) сопротивления монолитных пород раздавливанию и разрыву; 11) морозостойкости скальных монолитных и трещиноватых пород.

Часть перечисленных определений (размокаемость, морозостойкость, угол внутреннего трения в естественных обнажениях, степень набухания глины) легко произвести на месте, в полевых условиях. Другие испытания требуют специального оборудования и проводятся в лабораториях.

В районах распространения многолетней мерзлоты производится изучение льдистости. Так называемая «сухая» многолетняя мерзлота более благоприятна для разработки месторождения, чем мерзлые породы с большой степенью льдистости, которые при оттаивании выделяют воду, подвер-

гаясь различным деформациям. В скальных породах лед обычно заполняет всевозможные трещинки и пустоты. В рыхлых породах он находится в виде кристаллов, рассеянных в порах, и в виде отдельных линзочек или прослоек. Количество льда в породе может быть определено путем непосредственных измерений занимаемого им объема или путем учета влажности оттаиваемого образца.

Существенное значение имеют геотермические наблюдения, особенно на таких месторождениях, где полезное ископаемое способно гореть (угли, пириты). В буровых скважинах и в горных выработках температура замеряется с помощью так называемых «ленивых» термометров (с точностью до 0°,2), термометрических бомб или электрометрическим методом. В скважинах температура замеряется примерно через 5 *м* по глубине, в горных выработках — через 5—10 *м* по мере их проходки. В последних измеряется температура породы (путем помещения термометра в пробуренные для отпалки шпуры), а также температура воздуха на некотором расстоянии от забоя. По результатам геотермических наблюдений на разведочных разрезах строятся графики, отражающие, с одной стороны, геотермический градиент, а с другой — возможные местные колебания температуры, иногда опасные в пожарном отношении.

ГЛАВА VII

ДОКУМЕНТАЦИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

1. ВИДЫ ДОКУМЕНТАЦИИ ВЫРАБОТОК

Документация разведочных выработок представляет собой фиксацию наблюдений в процессе разведки месторождения. Первым и главным условием документирования является возможно более точное отображение фактов путем описания, зарисовок, фотографии. Выполняемые при этом измерения должны быть достаточно точны, а описания и зарисовки объективны.

Своевременная документация разведочных выработок чрезвычайно важна для направления дальнейших геологоразведочных работ на месторождении, для определения результатов разведки и в конечном счете для промышленной оценки месторождения и проектирования эксплуатации. Хорошо выполненная первичная документация разведочных выработок представляет большую ценность. Ее важность и необходимость определяются тем, что в большинстве случаев бывает невозможно повторить наблюдения, которые были сделаны в процессе проходки разведочной выработки. Недаром в древних русских рукописях, относящихся к горному промыслу (солеварению), найдено такое наставление для буровых дел мастеров (А. В. Хабаков, 1950 г.): «А пойдут места солоные, ты иди их бережно и глины со всякого ходу денного бурова снимай, да к огню припекай, да примечай: тако ли все равны солона идут и ты те сажени и вершки помни, в грамоте умеешь— про себя запиши, а только не умеешь — ты ходы на стене заруби... Что деется забыл или залинился записать или на стене зарубить, то есть не мастер, а прокуда».

Кроме рисунков, чертежей, фотографий и описаний, большое значение имеют вещественные документы: образцы полезного ископаемого и вмещающих горных пород. В зависимости от условий проходки разведочных выработок образцы могут быть представлены либо штуфами, либо измельченным материалом (шлам, шлих). Изучение образцов наряду с химическими, минералогическими, спектральными и другими анализами проб является основой для определения качества полезного ископаемого и подсчета его запасов. Каждый образец регистрируется и описывается в специальном

журнале. Наиболее представительные из них отбираются для составления коллекций.

В зависимости от вида наблюдений, выполняемых в процессе геологоразведочных работ, выделяется и несколько видов документации:

1) геологическая документация, имеющая целью отображение геологических условий залегания, формы и внутреннего строения тела полезного ископаемого;

2) документация опробования;

3) геофизическая документация;

4) гидрогеологическая документация;

5) инженерно-геологическая документация.

Кроме того, документация подразделяется на первичную и сводную. Первичная документация является исходным материалом, отображающим непосредственно наблюдаемые в разведочных выработках явления. Сводная документация составляется на основе первичной с бóльшим или меньшим использованием интерполяции и экстраполяции. Следовательно, сводная документация включает уже некоторый элемент гипотетичности и потому, во-первых, менее достоверна по сравнению с первичной, а во-вторых, нередко бывает многовариантна по причинам, уже отчасти отмеченным выше при рассмотрении относительной точности геологоразведочных разрезов.

Ниже вкратце рассматриваются различные приемы геологической документации как отдельных выработок, так и их групп. Основное содержание других видов документации вытекает из существа соответствующих видов исследований — геофизических, гидрогеологических и инженерно-геологических; подробное описание их дается в курсах разведочной геофизики гидрогеологии и инженерной геологии. Документация опробования рассматривается в четвертом разделе данной книги.

2. ОБЪЕКТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Основными объектами наблюдений в процессе проходки разведочных выработок являются:

1) геологические условия залегания тела полезного ископаемого;

2) размеры и элементы залегания вскрытых разведочной выработкой участков тела полезного ископаемого и вмещающих его горных пород. Связь формы тел с элементами деформационной структуры. Типы трещин и складок во вмещающих породах;

3) характер контактов между залежью и вмещающими горными породами, а также между различными типами полезного ископаемого внутри залежи;

4) вещественный состав полезного ископаемого и распределение полезных минералов (и их комплексов, агрегатов) в пространстве, т. е. текстуры руд;

5) изменения вмещающих пород вблизи тела полезного ископаемого;

6) тектонические и иные нарушения, особенно те, с которыми связано какое-либо смещение тела полезного ископаемого.

В понятие «геологические условия залегания» входят многообразные сведения о составе и строении пород, вмещающих тело полезного ископаемого, а также о взаимоотношениях между ними и полезным ископаемым.

Определение размеров и элементов залегания тела полезного ископаемого в разведочной выработке иногда представляет сравнительно трудную задачу. Разведочные выработки не всегда пересекают тело полезного ископаемого по линии его истинной мощности; большей частью сечения тел, обнажаемые в горных выработках, представляют собой некоторые косые срезы. Поэтому истинные значения мощностей могут быть определены лишь

вычислением или графическим путем (если мощность тела превышает сечение штрека — по данным нескольких смежных выработок).

Нередко точное измерение мощностей и элементов залегания затрудняется неровностями стенок горных выработок. Прямые плоскости контактов или трещин вследствие кривизны кровли или забоя горной выработки могут казаться кривыми. Поэтому при работах в горных выработках целесообразно распространять некоторые данные с одной стенки на другую, усреднять наблюдаемые углы падения и т. п. (Все эти рассуждения не относятся к маломощным пластам и жилам, мощность которых видна в штреке.)

Определение размеров и элементов залегания тела полезного ископаемого в буровых скважинах связано со своими трудностями. Здесь по техническим причинам (истирание керна, измельчение материала, искривление скважин) далеко не всегда можно точно определить положение контакта между телом полезного ископаемого и вмещающими породами, а также между разновидностями этих пород. Элементы залегания вследствие измельчения материала при ударном бурении или вследствие вращения керна вместе с колонковым снарядом по одной скважине обычными методами вообще определить не удается. Только замеры углов слоистости в керне в совокупности с замерами искривлений по нескольким скважинам позволяют судить об элементах залегания тела полезного ископаемого и вмещающих пород.

Изучая характер контактов, надо прежде всего различать:

1) контакты четкие (резкие), часто прямолинейные, характерные для пластовых тел осадочных месторождений и для рудных тел, образованных путем заполнения открытых полостей;

2) контакты нечеткие (расплывчатые), обычно извилистые, сопровождающиеся вкраплениями и включениями полезного минерала в боковых породах, типичные для метасоматических залежей и месторождений коры выветривания;

3) контакты, совершенно незаметные на глаз, когда тело полезного ископаемого с промышленной минерализацией связано непрерывным и постепенным переходом с вмещающими породами, лишенными полезных минералов.

В случае четких контактов изучение сводится к фиксированию их элементов залегания и к определению природы контакта. Как известно, контакты могут быть стратиграфические, интрузивные, тектонические и т. п. Для разведочных целей особенно важно установить различие между тектоническими и нормальными стратиграфическими контактами, поскольку от этого будет зависеть направление дальнейших разведочных работ.

Контакты нечеткие представляют большую сложность для первичной документации. Здесь приходится условно выделять отдельные участки с различной минерализацией.

Границы руд, совершенно незаметные на глаз, устанавливаются только с помощью опробования.

Вещественный состав полезного ископаемого в процессе геологической документации определяется главным образом по минеральным ассоциациям, различимым макроскопически. В ряде случаев приходится прибегать к минералогическим исследованиям под микроскопом. Разумеется, при характеристике вещественного состава большое внимание уделяется текстурам и структурам полезного ископаемого, определяющим не только генетические особенности месторождения, но и технологию переработки полезного ископаемого. Большое внимание должно быть обращено на строение рудного тела.

Для рудных и некоторых нерудных месторождений окончательное выделение промышленных сортов руд производится после химических анализов, для других полезных ископаемых — после соответствующих испытаний. Поэтому первоначальное выделение сортов полезного ископаемого,

производимое визуально, почти всегда является условным и может подвергнуться значительной корректировке.

Изменения вмещающих пород особенно важно фиксировать при разведке эндогенных месторождений, поскольку это часто позволяет выявить специфические поисковые признаки для данного полезного ископаемого. Обычно отмечаются те изменения, которые хорошо заметны на глаз. В некоторых случаях приходится прибегать к микроскопу и корректировать первоначальные визуальные данные о характере изменений и их масштабе.

Тектонические нарушения изучаются с точки зрения их генетических особенностей и морфологических отношений с телом полезного ископаемого. Прежде всего необходимо различать нарушения доминерализационные (дорудные), внутриминерализационные (внутрирудные) и послеминерализационные (послерудные). Первые обычно играют ведущую роль;

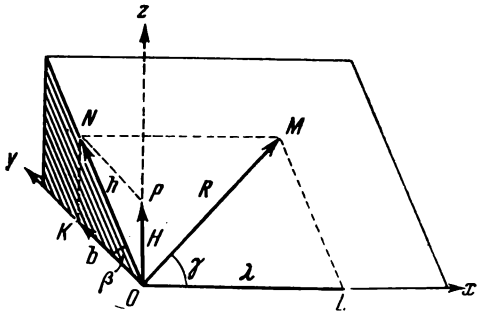


Рис. 57. Разложение вектора перемещения (по И. А. Молчанову)

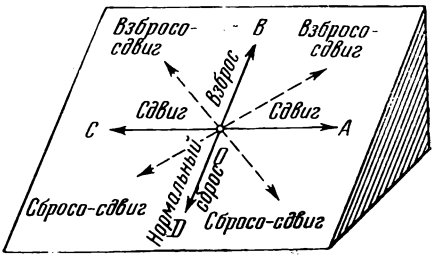


Рис. 58. Классификация дизъюнктивов (по И. А. Молчанову)

вторые помогают установить продуктивную стадию оруденения; последние иногда очень важны, поскольку с ними могут быть связаны различного рода передвижки тела полезного ископаемого вместе с блоком вмещающих пород, существенно влияющие на направление разведочных работ.

По классификации И. А. Молчанова (1939), получившей широкую известность и, пожалуй, наиболее удобной для морфологической характеристики нарушений при документации, различаются три элемента тектонического нарушения: перемещение, скрещение и смещение.

Перемещение представляет собой относительную передвижку блоков, разделенных плоскостью нарушения (трещины). Оно характеризуется вектором R (рис. 57), лежащим в плоскости нарушения. Вектор R может быть разложен на две составляющие: $OL = \lambda$ (сдвиг) и $ON = h$ (сброс или взброс). Последняя в свою очередь может быть разложена на две составляющие: $OP = H$ (высота перемещения) и $OK = b$ (ширина перемещения). Зная угол падения сместителя (β) и угол между вектором R и направлением простирания γ, получаем следующие полезные для практических вычислений при документации соотношения:

$$h = R \sin \gamma; \tag{31}$$

$$\lambda = R \cos \gamma; \tag{32}$$

$$H = h \sin \beta = R \sin \beta \cdot \sin \gamma; \tag{33}$$

$$R = \sqrt{h^2 + \lambda^2}. \tag{34}$$

В зависимости от положения плоскости нарушения относительно простирания тела полезного ископаемого возникают различные виды перемещений (табл. 18, рис. 58).

Таблица 18

Классификация перемещений

Квадрант или линия	Угол γ	Элементы сдвига λ	Элементы сброса h	Название перемещения
OA	0	$+R$	0	Положительный сдвиг
AOB	0—90°	От $+R$ до 0	От 0 до $+R$	Положительный взбросо-сдвиг
OB	90°	0	$+R$	Взброс
BOC	90—180°	От 0 до $-R$	От $+R$ до 0	Отрицательный взбросо-сдвиг
OC	180°	$-R$	0	Отрицательный сдвиг
COD	180—270°	От $-R$ до 0	От 0 до $-R$	Отрицательный сбросо-сдвиг
OD	270°	0	$-R$	Нормальный сброс
DOA	270—360°	От 0 до $+R$	От $-R$ до 0	Положительный сбросо-сдвиг

Скрещение характеризуется двугранным углом, образуемым плоскостью нарушения с плоскостью тела полезного ископаемого. В плане двугранный угол представляет собой угол между линией простирания тела и линией нарушения — так называемый угол встречи ω (рис. 59).

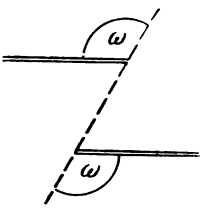


Рис. 59. Угол встречи

Смещение характеризуется расстояниями между разобщенными частями тела полезного ископаемого, измеренными в плане и в вертикальном разрезе перпендикулярно к плоскости тела.

Нормальное смещение N — кратчайшее расстояние между полуплоскостями тела;

вертикальное смещение

$$Z = \frac{N}{\cos \alpha}; \tag{35}$$

горизонтальное смещение

$$l = \frac{N}{\sin \alpha}, \tag{36}$$

где α — угол падения тела.

3. ДОКУМЕНТАЦИЯ ГОРНЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Основными элементами документации горных выработок являются зарисовки с натуры и весьма краткие описания, сопровождаемые отбором необходимых образцов полезного ископаемого и вмещающих пород. Часто одновременно с геологической документацией проводится опробование полезного ископаемого. Зарисовки горных выработок надо делать таким образом, чтобы отразить особенности тела полезного ископаемого, элементы залегания обнаженных горных пород и полезного ископаемого и тектонические нарушения.

Канавы зарисовываются по одной стенке и дну, так как рыхлые породы, обнажающиеся в противоположных стенках канавы, обычно однообразны и не представляют большого интереса для разведчика. Обе стенки канавы целесообразно документировать в тех случаях, когда рыхлые приповерхностные образования представляют собой полезное ископаемое, как, например, в месторождениях коры выветривания. В неглубоких канавах (расчистках) и особенно при малом углублении в коренные породы часто можно ограничиться зарисовкой дна.

В шурфах обычно зарисовываются две взаимно-перпендикулярные стенки (по простиранию и по падению), а иногда даже одна стенка — если она дает возможность достаточно точно зафиксировать морфологические особенности вскрытого тела полезного ископаемого и его структурные соотношения с вмещающими горными породами.

Дудки должны документироваться в виде разреза, ориентированного в направлении максимальной изменчивости тела полезного ископаемого или вмещающих пород.

Подземные горные выработки по приемам документации следует подразделить на две группы:

1) выработки, пересекающие тело полезного ископаемого (квершлаги, орты);

2) выработки, проходимые по простиранию тела полезного ископаемого (штреки, штольни).

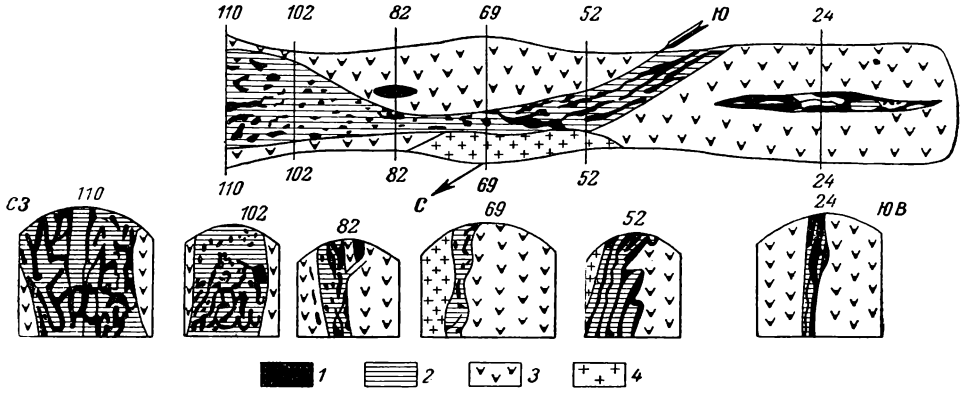


Рис. 60. Пример документации штольни при крутом падении тела полезного ископаемого (по Г. Д. Ажгирею)

1 — цинковая обманка; *2* — галенит; *3* — жильный кератофир; *4* — гранит

Первые в большинстве случаев документируются по одной стенке, но для составления погоризонтных планов нужно охватывать и кровлю. При наличии сложных структурно-морфологических элементов тела полезного ископаемого приходится, кроме того, зарисовывать некоторые важные участки отдельно.

При документировании выработок, проводимых по простиранию крутопадающего тела полезного ископаемого, главными объектами описаний и зарисовок являются кровля и забой (рис. 60), при пологопадающем теле — стенка и забой. Лишь в редких случаях при капризных формах тела ценного полезного ископаемого, обладающего апофизами, нужно зарисовывать, кроме кровли, также обе стенки выработки; это будет способствовать уточнению направления дальнейших разведочных работ и полной выемке полезного ископаемого. Но и в таких случаях лучше делать для этого специальные зарисовки.

Подземные вертикальные и наклонные горные выработки, проходимые по падению тела полезного ископаемого (восстающие, гезенки), документируются по стенкам. В большинстве случаев бывает достаточно зарисовать одну стенку (рис. 61), предпочтительно ту, по которой производится опробование (ориентированную вкрест простирания); и только при очень сложных формах тела полезного ископаемого возникает необходимость, как исключение, зарисовывать две противоположные стенки. Иногда бывает целесообразно вести опробование вертикальных или наклонных выработок по забоям подобно опробованию штолен и штреков: в таких случаях зарисовываются и забои этих выработок.

Зарисовки выработок, проходимых по простиранию или по падению мощных однообразных тел полезного ископаемого, ширина которых превосходит габариты выработок, нецелесообразны, так как они все оказываются одинаковыми и не дают представления ни о формах, ни об изменчивости качества полезного ископаемого.

Необходимо помнить, что все зарисовки должны быть точно привязаны к определенным маркшейдерским пунктам, взаимно увязаны и ориентированы по странам света. В противном случае вся эта кропотливая работа теряет смысл. На зарисовках должны быть отмечены пункты взятия образцов и проб.

Описания массовых и сплошных зарисовок должны быть предельно краткими и характеризовать те черты обнажения, которые не поддаются зарисовке. Разумеется, на первых этапах разведки месторождения описания неизбежно бывают более многословными, на последующих они становятся более краткими, так как ряд повторяющихся явлений, присущих каждому участку месторождения, может опускаться. Чаще всего описания требуют особенности внутреннего строения тела полезного ископаемого, вещественный состав и текстурно-структурные особенности, и то при плохо составленной легенде зарисовки. Нередко приходится более подробно расшифровывать изображаемые на зарисовках тектонические нарушения и характер изменения вмещающих пород.

Описания забоев и соответствующих интервалов разведочных выработок по возможности должны быть выполнены в одной тетради с зарисовками и вблизи последних, например на смежной странице или на обороте.

Отбор образцов производится с таким расчетом, чтобы они могли характеризовать типичные черты самого полезного ископаемого и вмещающих его пород. При наличии разнообразных минеральных комплексов, образующих различные типы и сорта полезного ископаемого в пределах залежи, необходимо отбирать образцы по каждому типу. Размеры образцов должны быть минимальными, но достаточными для освещения вещественного состава и текстурно-структурных особенностей полезного ископаемого. Поперечные размеры рядового образца не должны превышать 10 *см*. Исключение составляют музейные образцы и образцы для эталонной коллекции, которую желательно подбирать на каждом разведываемом месторождении. Размеры таких образцов могут быть значительно больше.

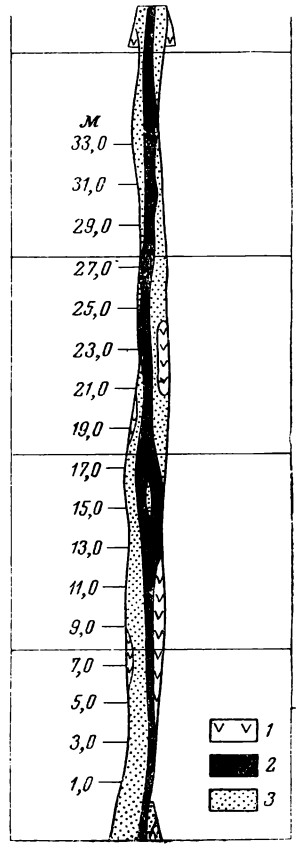


Рис. 61. Пример документации восстающего (по В. И. Смирнову)

1 — диориты; *2* — сульфидная руда сплошная; *3* — сульфидная руда вкрапленная

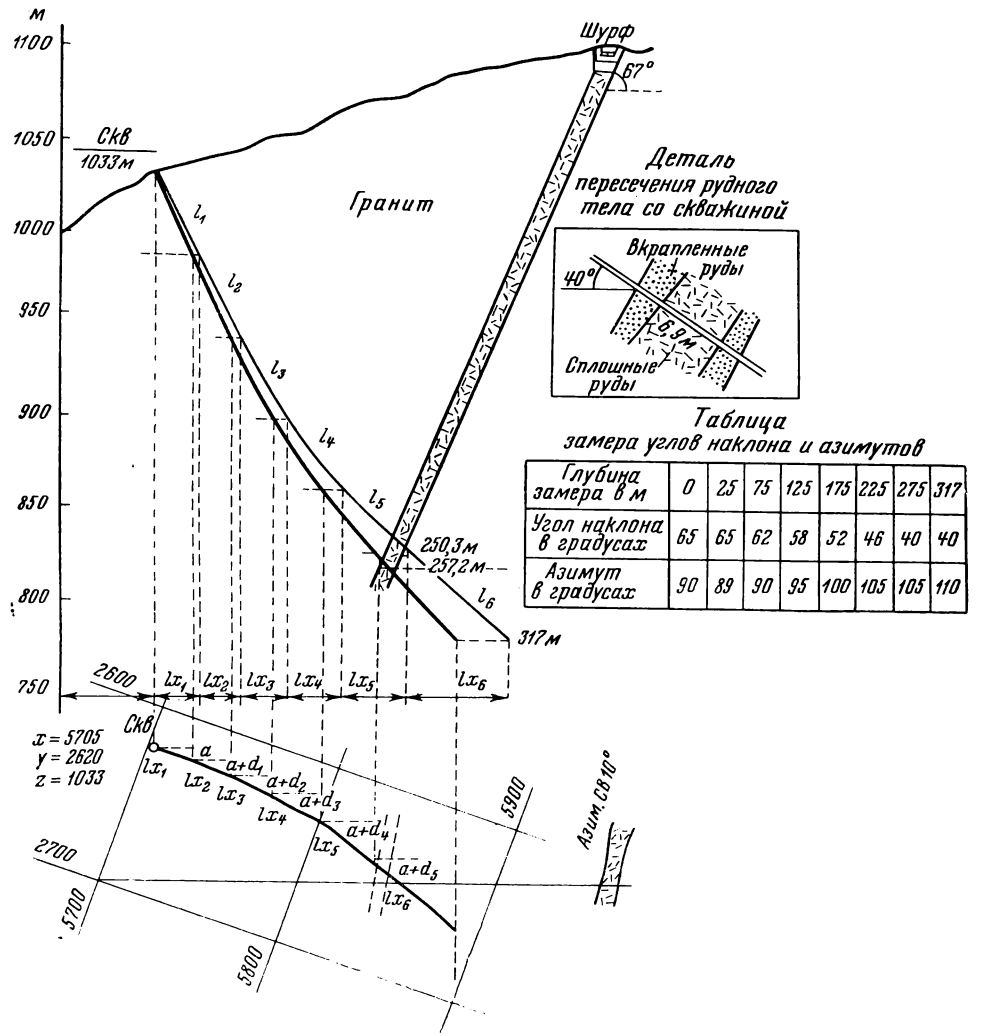
Обязательным условием отбора и дальнейшего использования образцов является тщательная привязка пунктов их взятия к зарисовкам, этикетирование и нумерация. В противном случае они превращаются в груду бесполезного каменного материала.

4. ДОКУМЕНТАЦИЯ БУРОВЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Геологическая документация разведочных скважин осуществляется путем систематического ведения сменного бурового журнала, регистрации материала, добываемого из скважин, и построения геологического разреза по оси скважины (колонки).

При ударном или роторном бурении извлекаемый из скважины измельченный материал (шлам) может служить лишь приближенной характеристикой вскрытых пород и полезного ископаемого. Но и здесь по аналогии с другими выработками и путем шлихового анализа, иммерсионных иссле-

дований и изучения сцементированных шлифов и аншлифов можно установить минеральный состав, а спектральными и химическими анализами — элементарный состав извлекаемого материала. Это позволяет уже довольно надежно охарактеризовать проходимые горные породы, тип и качество полезного ископаемого.



Глубина замера в м	0	25	75	125	175	225	275	317
Угол наклона в градусах	65	65	62	58	52	46	40	40
Азимут в градусах	90	89	90	95	100	105	105	110

Рис. 62. Построение скважины по данным измерений зенитных и азимутальных искривлений

При колонковом бурении получаемый из скважины керн дает возможность обстоятельно охарактеризовать геологический разрез и особенности вскрытого скважиной полезного ископаемого. Керн является главным документом и поэтому подвергается тщательному изучению, описанию и хранится в специальных ящиках, представляя собой одновременно и материал для опробования и минералого-петрографическую коллекцию.

Разрезы по буровым скважинам в зависимости от вида бурения составляются по-разному. Наиболее сложный вид обычно имеет разрез по скважине колонкового бурения. На этом разрезе указываются номер и координаты скважины, отображается ее конструкция, отмечаются границы каждого рейса бурового снаряда и соответствующий каждому рейсу выход керна, устанавливаются контакты тела полезного ископаемого и различ-

ных пород, вскрытых скважинами, указываются интервалы опробования и результаты химических анализов проб. Если производились замеры искривления, каротаж и гидрогеологические наблюдения, то результаты этих исследований также отображаются на чертеже буровой колонки.

Для построения разреза по искривленной скважине исходят из предположения, что угол наклона, замеренный в точке n, сохраняется до половины расстояния между ней и соседними точками n—1 и n+1. Построение производится следующим образом (рис. 62). Через определенные интервалы глубины l_1, l_2,...,l_n замеряются азимуты и углы наклона скважины. По замеренным углам наклона строится профиль скважины в вертикальной плоскости. Затем точки, в которых замерялись углы наклона, проектируются на горизонтальную линию, на которой, таким образом, отсекаются проекции интервалов скважины длиной l_{x_1}, l_{x_2},...,l_{x_n}. По этим проекциям строится новая линия с учетом азимутальных искривлений. Полученная горизонтальная проекция скважины проектируется на вертикальный профиль. Точки пересечения вертикальных и горизонтальных проекций пунктов замеров укажут на действительное положение скважины в данном разрезе.

Бурение большого числа разведочных скважин на крупном месторождении приводит к накоплению огромных коллекций керна, требующих специальных помещений (кернохранилища). В то же время значительная часть керна оказывается ненужной. Поэтому керн подвергается сокращению и частичной ликвидации. Сокращение и ликвидация керна регламентируются специальными инструкциями, основные положения которых сводятся к тому, что храниться должны лишь отдельные характерные образцы горных пород, а также весь керн, добытый с интервалов проходки по телу полезного ископаемого. Кроме того, полностью сохраняется керн опорных скважин, характеризующих полный разрез месторождений, который служит эталонной коллекцией.

Документация разведочных скважин в зависимости от их размеров и сложности геологического строения месторождения проводится в масштабах 1 : 100—1 : 500.

5. ОСНОВЫ И ВИДЫ СВОДНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Разнообразные сведения, полученные по всем разведочным выработкам, должны быть увязаны между собой и с геологической картой. Это позволит построить полноценные разведочные разрезы, характеризующие геологическое строение и горнотехнические условия эксплуатации месторождения, и подсчитать запасы полезного ископаемого. В процессе такой увязки производится корректировка ранее составленной геологической карты, а также построенных по данным разведки разрезов и погоризонтных геологических планов. При этом приходится не раз возвращаться к проверке данных первичной документации. В некоторых случаях требуется проведение дополнительных наблюдений в разведочных выработках и на поверхности. Существенную помощь при этом оказывают геофизические методы и прежде всего каротаж буровых скважин.

К числу основных условий, без которых невозможна надежная увязка данных различных разведочных выработок и геологической карты месторождения, относятся:

1) достаточно точные топографическая и маркшейдерская съемки; при этом топографические планшеты и маркшейдерские построения должны быть приведены к единой системе координат;

2) определения кривизны глубоких (свыше 150 *м*) разведочных скважин — как зенитной, так и азимутальной;

3) единая легенда для всех участков разведываемого месторождения, по возможности иллюстрируемая эталонной коллекцией горных пород и типов полезного ископаемого;

4) одинаковые или по крайней мере близкие и кратные масштабы зарисовок, буровых колонок и других графических построений;

5) рациональная нумерация выработок, образцов и проб.

Анализ качества топографической и маркшейдерской основ, а также описание способов определения кривизны скважин можно найти в специальных курсах геодезии, маркшейдерии и техники бурения.

В процессе разведки производится масса разнообразных измерений, определений и наблюдений, которые должны быть строго зафиксированы в пространстве, иначе возникнет непоправимая путаница, которая обесценит все проведенные исследования. Поэтому все элементы геологоразведочных исследований должны иметь строгую нумерацию, причем надо раздельно нумеровать: разведочные выработки, образцы, пробы, различные анализы, геофизические измерения, гидрогеологические наблюдения.

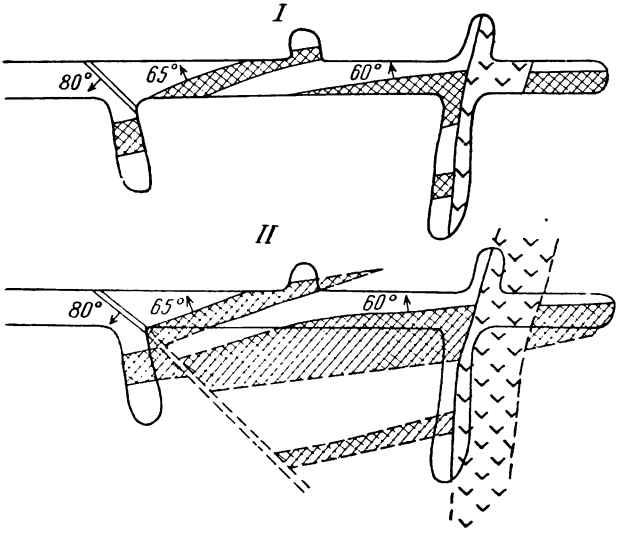


Рис. 63. Этапы составления погоризонтного плана

I — нанесение данных первичной геологической документации на сводный маркшейдерский план; *II* — увязка данных между отдельными выработками

Нумерация может быть осуществлена тремя способами: 1) в хронологической последовательности (хронологическая нумерация); 2) относительно опорного пункта (локальная нумерация) и 3) в виде абсолютных топографомаркшейдерских отметок. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, поэтому выбор способа нумерации зависит от конкретных условий разведки месторождения.

Часто для нумерации многочисленных образцов и проб при разведке крупного месторождения приходится прибегать к системе «резервированных чисел» во избежание повторения номеров на различных участках месторождения. Так, например, для одного участка избирается интервал номеров от 1 до 1000, для другого — от 1001 до 2000 и т. д. Большие неудобства вызывают всякого рода дробные и литерные обозначения, довольно широко распространенные в практике; их следует избегать.

Общепринятого стандарта условных обозначений для зарисовок, разведочных разрезов и крупномасштабных геологических карт нет. Поэтому при разведке каждого месторождения вырабатывается своя легенда. Последняя, однако, должна создаваться с учетом общегеологических обозначений литологических разностей (известняки, песчаники, гранитоиды и т. п.) и возраста горных пород.

Легенда должна составляться в двух вариантах: красочном и штриховом, для чертежей различного вида и назначения. Следует всемерно стремиться

не менять однажды принятого обозначения в легенде, но в то же время надо учитывать неизбежность пополнения легенды с повышением изученности месторождения.

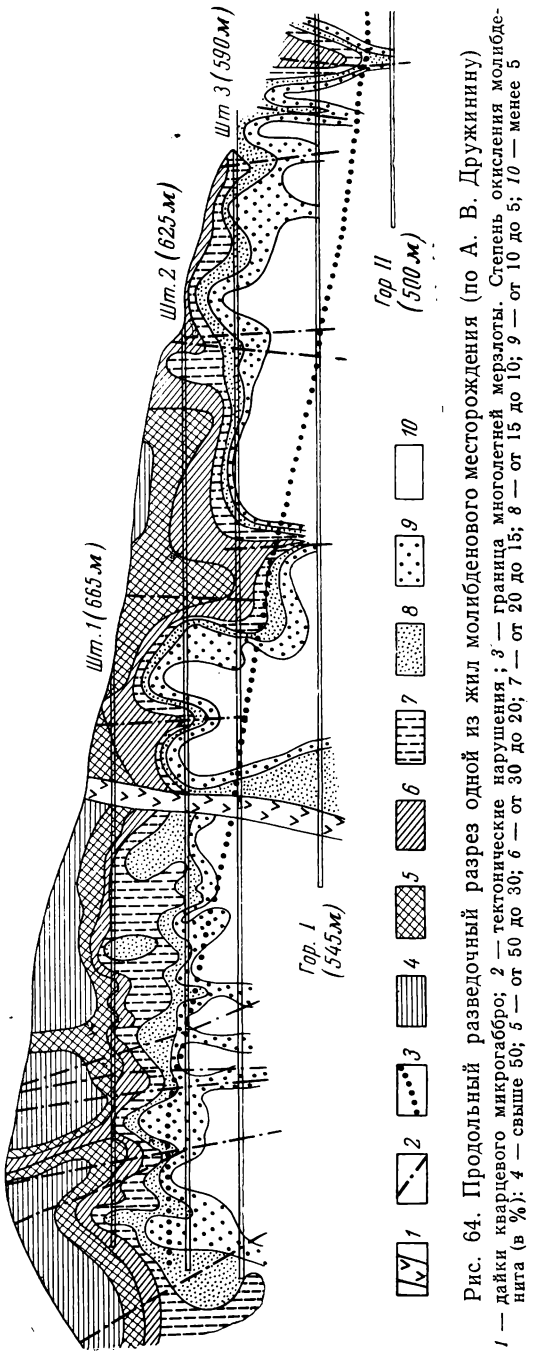


Рис. 64. Продольный разведочный разрез одной из жил молибденового месторождения (по А. В. Дружинину)
1 — дайки кварцевого микрогаббро; *2* — тектонические нарушения; *3* — граница многолетней мерзлоты. Степень окисления молибденита (в %): *4* — свыше 50; *5* — от 50 до 30; *6* — от 30 до 20; *7* — от 20 до 15; *8* — от 15 до 10; *9* — от 10 до 5; *10* — менее 5

В результате увязки данных, полученных по отдельным разведочным выработкам и при геологической съемке поверхности месторождения, создается сводная документация, которая, не считая отчетного материала, включает: 1) карты; 2) разрезы; 3) проекции; 4) блок-диаграммы; 5) модели.

Все сводные разведочные чертежи и объемные изображения строятся в определенных масштабах и в установленной системе координат. Обычно масштабы сводной геологической документации колеблются в пределах 1 : 200—1 : 2000. Изредка, в случае очень крупных и простых месторождений, масштаб сводной документации уменьшается до 1 : 5000 и, наоборот, весьма мелкие и сложные месторождения или отдельные участки могут потребовать масштаба 1 : 100. Критерием для выбора масштаба служит наиболее удобный формат разведочного чертежа, равный примерно 60×100 *см*.

Сводная документация, составляемая в процессе геологоразведочных работ, до начала эксплуатации месторождения, обычно выражается в построении карт, разрезов, реже — проекций и блок-диаграмм. Модели являются известной «роскошью», они могут быть изготовлены не во всякой разведочной партии. Основными видами сводной геологической документации надо считать геологические карты и разрезы. Все остальные виды документации являются производными.

Геологические карты поверхности в процессе создания сводной документации составляются в масштабах 1 : 2000; 1 : 1000 и 1 : 500 в зависимости от сложности геологической обстановки месторождения.

При поисково-разведочных работах создается геологическая карта в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 5000 (редко 1 : 25 000 и 1 : 2000), на основании которой направляется предварительная разведка. Все данные, получаемые в стадии предварительной разведки, сразу же наносятся на топографическую карту масштаба 1 : 2000 — 1 : 1000 или 1 : 500; последняя даже не может быть составлена без использования точных разведочных материалов. Конечно, если в масштабах 1 : 10 000—1 : 5000 можно отразить геологию всего рудного поля, то в масштабах 1 : 2000 —1 : 1000 —1 : 500 можно изображать только геологию разведываемого месторождения.

Разрезы, после геологической карты, служат основным способом изображения форм и внутреннего строения месторождения. Они могут быть горизонтальными, вертикальными и наклонными. Последние, однако, в практике разведочных работ применяются очень редко и только для некоторых специальных целей структурного исследования месторождения.

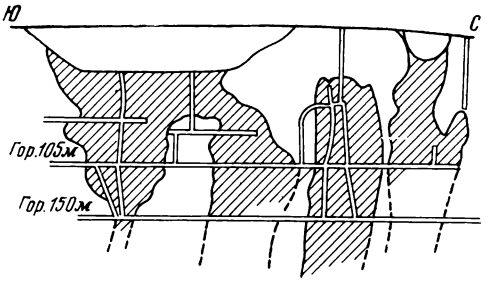


Рис. 65. Проекция общих контуров рудных тел на вертикальную плоскость

Обычно сводные чертежи строятся в соответствии с принятым методом разведки месторождения или в виде погоризонтных планов (горизонтальные сечения), или в виде вертикальных разрезов вкрест простирания месторождения. В случае изометрических форм месторождения вертикальные разрезы иногда составляются в различных направлениях и прежде всего по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. При разведке крутопадающих плоских тел полезного ископаемого (пластов, жил, линз) иногда строятся продольные разрезы в плоскости падения тела. Однако чаще применяются подобные изображения месторождений по простиранию в виде проекции на вертикальную плоскость (см. ниже).

Погоризонтные планы составляются преимущественно по горным разведочным выработкам, рассекающим тела полезного ископаемого на неко-

тором горизонте. Густая сеть достоверных наблюдений дает возможность составлять погоризонтные планы с высокой степенью детальности. Поэтому процесс составления погоризонтных планов на основе документации горных разведочных выработок получил условное название «подземного геологического картирования».

На погоризонтных планах ситуация изображается согласно зарисовкам или прямым наблюдениям вдоль оси горизонтальных горных выработок и подземных скважин. Между выработками производится интерполяция (рис. 63). При этом, естественно, некоторые мелкие детали геологического строения и форм тела полезного ископаемого, зафиксированные на зарисовках, опускаются, так как они не могут быть изображены в меньшем масштабе погоризонтного плана.

Вертикальные разрезы составляются вдоль разведочных линий в тех же масштабах, что и погоризонтные планы. При составлении вертикальных разрезов большую роль обычно играют разведочные скважины, если они применяются при разведке месторождения. Поэтому здесь важно учитывать искривление скважин, особенно глубоких, задаваемых с поверхности. Скважины, обнаруживающие и зенитное и азимутальное искривление, проектируются на разрез при небольшом отклонении от плоскости разведочного разреза. В случае значительного отклонения целесообразно строить дополнительный (косой) разрез в плоскости скважины. При составлении разрезов по буровым скважинам всегда полезно использовать данные каротажа.

Продольные разведочные разрезы (рис. 64) составляются обычно при крутом падении плоских тел полезного ископаемого в плоскости среднего простирания и падения тела. Такого рода сводные чертежи удобны для залежей, отличающихся значительной изменчивостью форм и качества полезного ископаемого по простиранию и падению. На них отчетливо выделяются рудные столбы и хорошо отображается строение вмещающих пород, пересекаемых телом полезного ископаемого, а также тектонические нарушения, невыразительные в поперечных разрезах. Хорошо на них отражаются категории разведанных запасов полезного ископаемого.

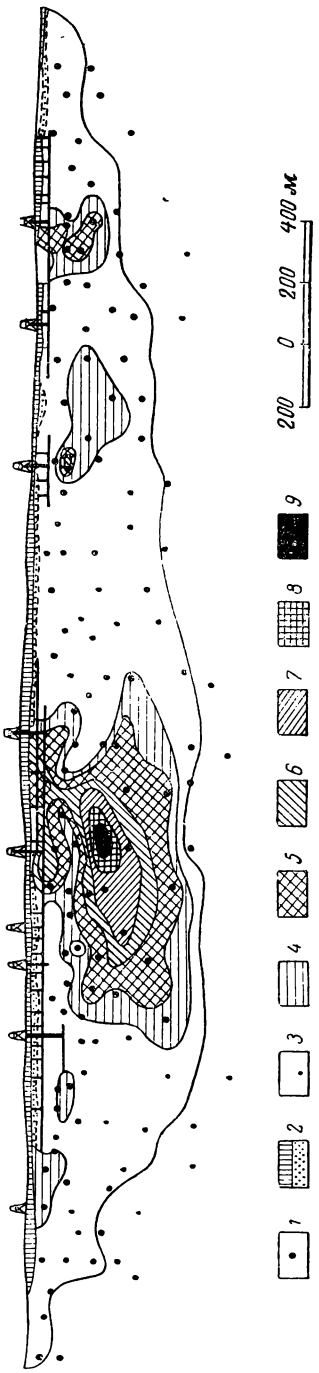


Рис. 66. Проекция изолиний мощности на осевую плоскость рудного тела

1 — точки пересечения рудной зоны разведочными скважинами; *2* — железная шляпа и сыпучка. Горизонтальная мощность колчедана (в м): *3* — от 0 до 10; *4* — от 10 до 20; *5* — от 20 до 30; *6* — от 30 до 40; *7* — от 40 до 50; *8* — от 50 до 60; *9* — более 60

Проекции тел полезных ископаемых в зависимости от элементов их залегания строятся в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости. Последний вид проекции целесообразен для плоских тел, обладающих средним углом падения 40—50°.

Проекции могут быть простыми и сложными. На первых, по данным спроектированных на некоторую плоскость выработок обрисовываются лишь контуры тел полезного ископаемого (рис. 65), вторые представляют собой какую-либо систему изолиний в контурах тела полезного ископаемого: изолинии мощности, изолинии содержания полезных компонентов, изолинии, характеризующие поверхность тела полезного ископаемого, и т. п.

Проекции в изолиниях мощности по существу представляют собой серию совмещенных параллельных разрезов тела полезного ископаемого в плоскости его падения, спроектированных на какую-либо плоскость (рис. 66). Такие проекции чаще всего применяются для характеристики тел полез-

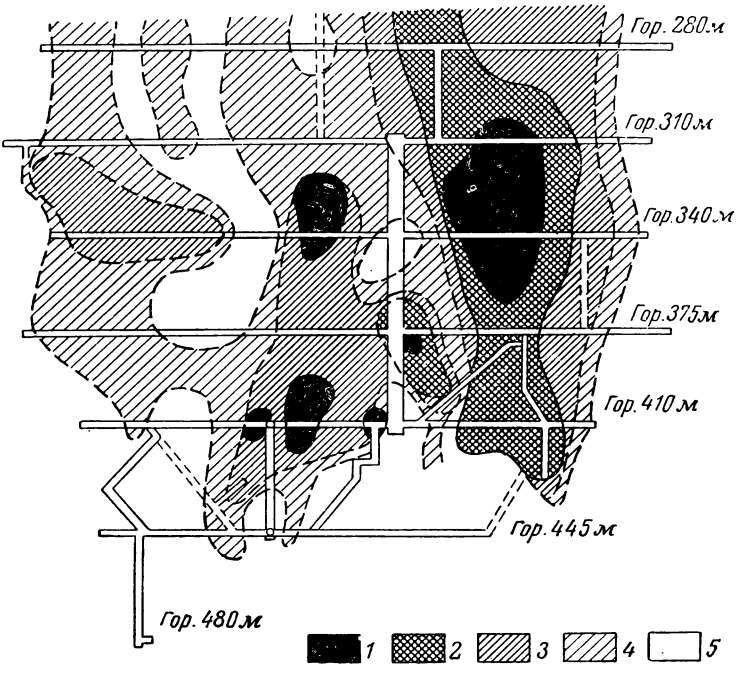


Рис. 67. Проекция изолиний содержания металла на осевую плоскость рудного тела

Содержание металла (в *кг/м²*): *1* — от 20 до 8; *2*—от 8 до 4; *3*—от 4 до 2; *4* — от 2 до 1; *5* — от 1 до 0

ного ископаемого со сравнительно равномерным распределением полезного компонента и несложным внутренним строением. Иногда они вычерчиваются в комбинации с продольным разрезом.

Проекция в изолиниях качества удобна для изображения характера распределения полезного ископаемого по качеству, сортам и природным типам. Она дает, например, наглядное представление о местоположении рудных столбов (рис. 67).

В изолиниях могут быть выражены и другие свойства месторождения. Однако обычно проекции служат вспомогательными чертежами к построенным разрезам, так как они характеризуют лишь какое-либо одно свойство месторождения и не показывают внутреннего геологического строения месторождения с такой полнотой, как геологические разрезы.

Блок-диаграммы строятся обычно на основании горизонтальных и вертикальных разрезов и дают наглядное пространственное представление о месторождении в целом. Среди них можно указать на две существенные разновидности: 1) блок-диаграммы изометрические, построенные по правилам аксонометрии или диметрии (рис. 68), и 2) блок-диаграммы перспектив-

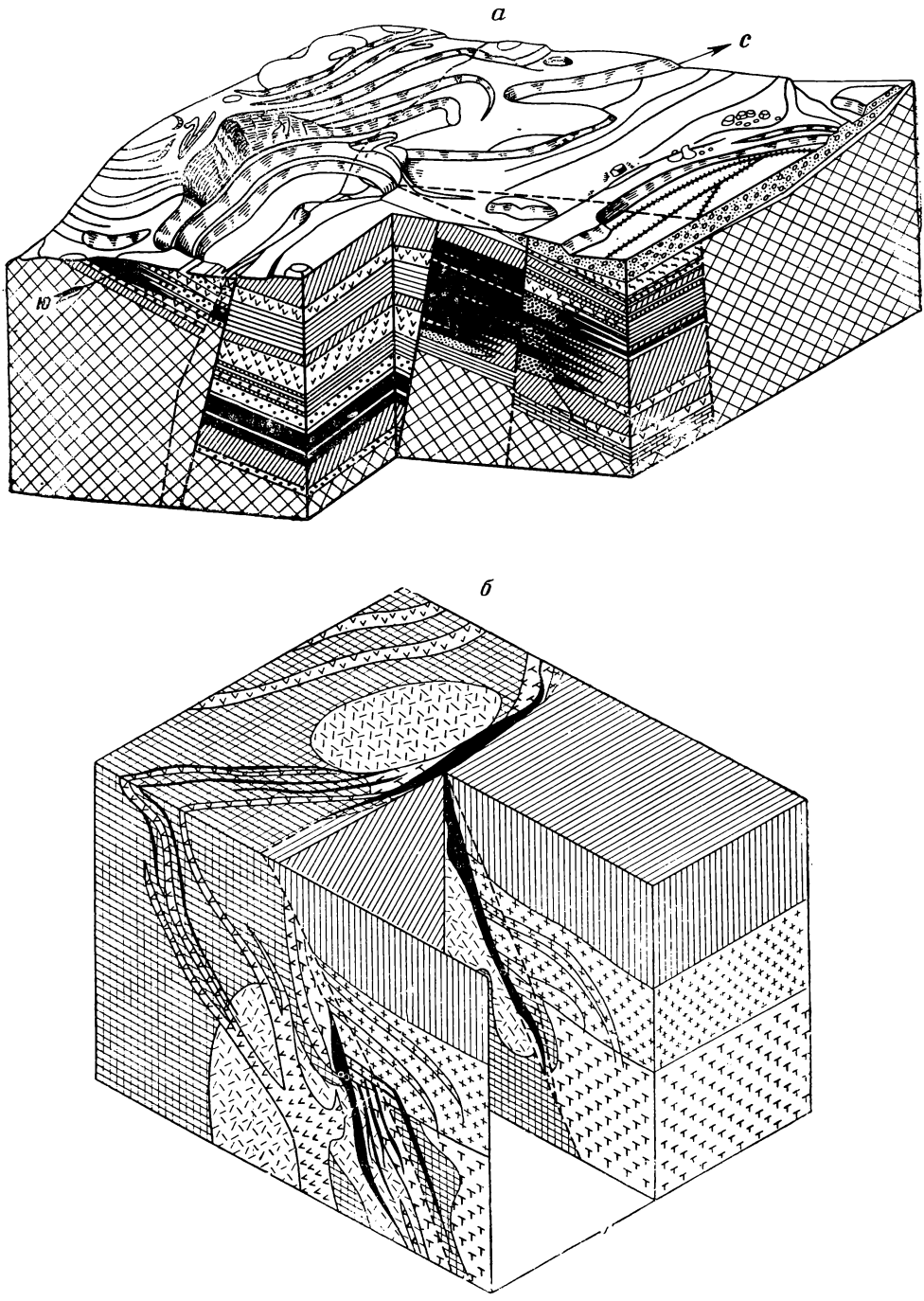


Рис. 68. Изометрические блок-диаграммы
а — блок-диаграмма с боковым срезом; *б* — блок-диаграмма с вырезом

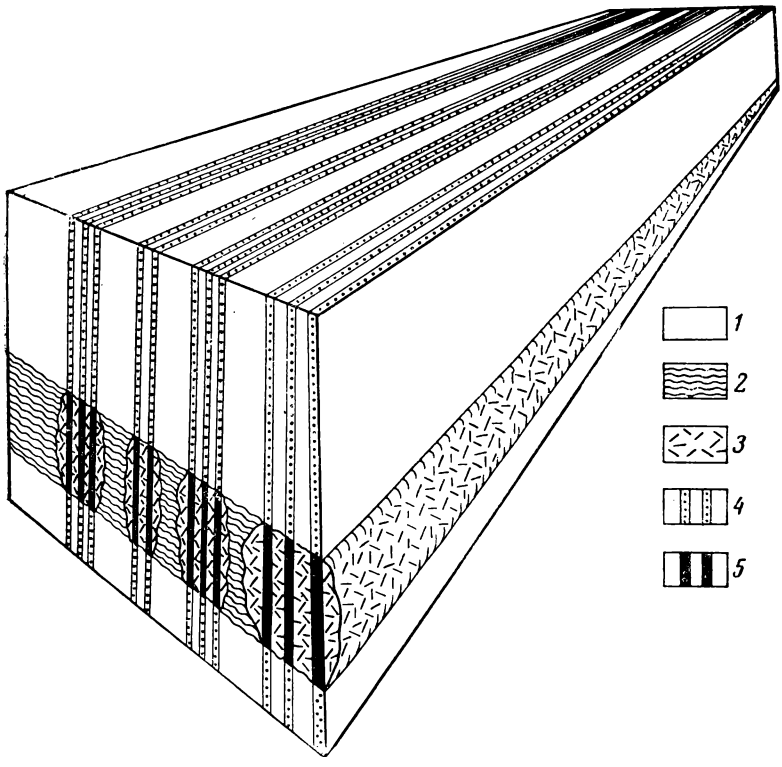


Рис. 69. Блок-диаграмма перспективная

1 — метаморфические сланцы; *2* — амфиболиты; *3* — оруденелые амфиболиты; *4* — кварцево-сульфидные жилы; *5* — участки кварцевых жил с повышенной концентрацией оруденения

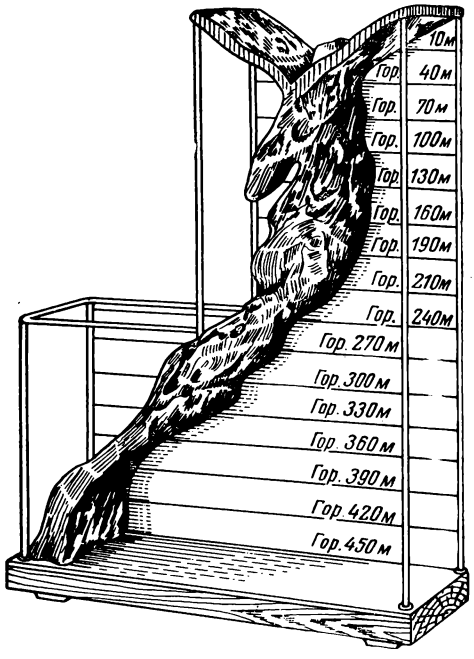


Рис. 70. Рельефная скульптурная модель рудного тела

ные, выполняемые с учетом законов перспективного изображения (рис. 69). Эти последние хороши как иллюстрации, но малопригодны для технических расчетов вследствие разномасштабности изображения в перспективе.

Наилучшее изображение месторождения дают модели, но изготовление их обходится дорого и, кроме того, они громоздки по сравнению с графическим материалом. Поэтому модели можно встретить только на крупных действующих горных предприятиях. Среди моделей различаются рельефные, отображающие формы всего месторождения или отдельных его частей

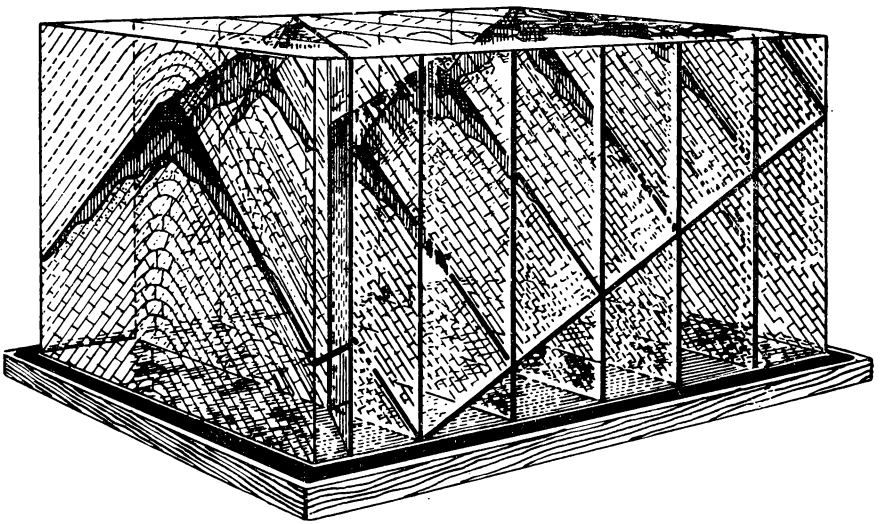


Рис. 71. Прозрачная модель месторождения

и тел полезного ископаемого (рис. 70), и прозрачные, изготовленные из набора стеклянных или иных прозрачных пластин, на которых показываются параллельные сечения месторождения (рис. 71). Такая серия просвечивающих разрезов месторождения позволяет наиболее полно отразить и его внутреннее строение.

ГЛАВА VIII

ПРИМЕРЫ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. РАЗДЕЛЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ФОРМЕ С УЧЕТОМ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА

В данной главе рассматриваются практические примеры разведки некоторых типичных месторождений полезных ископаемых. Эти примеры являются иллюстрацией практического преломления приведенных выше общих положений методики разведки и применения технических средств разведки в тех или иных природных условиях (хотя эти примеры и нельзя назвать образцовыми).

Огромный практический опыт геологической службы СССР, а также весь мировой опыт геологоразведочных работ XX века свидетельствуют о том, что ведущее значение при организации разведочного процесса имеет форма месторождений. Разумеется, большую роль играют и качество, неотделимое от формы, и размеры месторождения. Последний фактор особенно

Таблица 19

Группировка месторождений полезных ископаемых по форме и размерам с учетом их изменчивости[1] и качества

Основные формы тел полезных ископаемых	Вмещающие породы (и условия залегания месторождений)	Виды полезных ископаемых (элементы, минералы или сырье)	Изменчивость месторождений по качеству	Ведущие системы разведочных работ	Примечания
1. Пластовые и пластообразные тела обычно крупных размеров	а) Обычно горизонтально залегающие рыхлые, мягкие и сыпучие, большей частью молодые осадочные породы, а также породы коры выветривания	Марганец, железо, никель, кобальт, сера, бокситы, керамическая глина, гипс, соли, бурые угли, магнезит, каолин, многие строительные материалы	Закономерная	Мелкое бурение	
	б) Преимущественно аллювий и делювий	Россыпи различного типа, содержащие золото, платиноиды, алмаз, касситерит, вольфрамит, рутил, ильменит, монацит, циркон, колумбит	Закономерная и случайная $50\% < V < 200\%$	Мелкое бурение с контрольным шурфованием	Крупные размеры обычно имеют только некоторые морские и реже аллювиальные россыпи
	в) Древние крепкие осадочные и осадочно-метаморфические различно дислоцированные породы, а также преимущественно полого залегающие свиты карбонатных пород, реже песчаников (медистые песчаники)	Каменные угли и антрациты, углистые сланцы, железные и титановые руды, бокситы, фосфориты, урановые руды, многочисленные строительные материалы, магнезит, барит (иногда с сульфидами), флюориты, свинцово-цинковые и медные руды	Закономерная и случайная	Глубокое бурение, главным образом колонковое	Практически сюда же относятся жильные титановые и железные руды

	г) Преимущественно полого залегающие эффузивные породы и стратифицированные основные и щелочные массивы	Вкрапленные никелево-медные руды (с платиноидами), апатиты, пласты с ниобием, титаном, цирконием, торием, редкими землями, хромшпинелиды, платиноносные породы	Закономерная и случайная	Глубокое вертикальное бурение, обычно колонковое, изредка ударно-канатное	
2. Крупные изометрические и вытянутые штокверки, а также крупные залежи неправильной формы	а) Малые интрузии разнообразного состава и вмещающие их породы	Титан, медь, молибден, олово, вольфрам, золото, карбонатиты, нефелиновый сиенит	Обычно случайная, редко закономерная $50\% < V < 90\%$	Глубокое вертикальное бурение, комбинированное ударно-канатное и колонковое, с контрольным шурфованием	При разведке штокверков применяется преимущественно ударно-канатное бурение
	б) Поля скарнов и грейзенов, реже серпентинизированные, графитизированные и отальк ованные зоны и участки	Железо, медь, свинец, цинк, вольфрам, молибден, олово, литий, бериллий, асбест, графит, тальк	Случайная $60\% < V < 120\%$	То же	

[1] В таблице приняты предложенные П. Л. Каллистовым два вида изменчивости: закономерная и случайная.

Продолжение табл. 19

Основные формы тел полезных ископаемых	Вмещающие породы (и условия залегания месторождений)	Виды полезных ископаемых (элементы, минералы или сырье)	Изменчивость месторождений по качеству	Ведущие системы разведочных работ	Примечания
3. Жилообразные и линзообразные тела средних и небольших размеров, а также средние и небольшие жильные зоны	а) Основные и ультраосновные интрузивные и эффузивные породы, значительно реже крепкие осадочные породы	Медно-никелевые руды (обычно с платиноидами), хромшпинелиды, частично свинец, цинк, медь, сера, флюорит, барит, графит, корунд, асбест	Случайная $V_{ср} = 80\%$	Буровые и горнобуровые системы с бурением с поверхности	
	б) Разнообразные изверженные и крепкие осадочные породы	Олово, вольфрам, молибден, золото, свинцово-цинковые руды (с Ag, Au, Cd, Bi, Sb, As, In, Ge, Ga и т. д.), пятиэлементная формация (U, Ni, Co, Ag, Bi)	Случайная $V_{ср} = 130\%$	Горнобуровые с поверхностным и подземным бурением	Разведка обязательно начинается горными работами
	в) Эндо- и экзоконтакты гранитных интрузий и эффузивные породы	Пегматиты с бериллием, литием, танталом, ниобием, цезием, мусковитом, теллуриды золота, флогопит и некоторые другие	Случайная $V_{ср} = 200\%$	Горнобуровые с подземным бурением и горные	То же

4. Трубообразные выдержанные и ветвящиеся тела небольших, реже средних размеров	б) Ультраосновные и метаморфизованные осадочные породы (выдержанные одиночные трубы)	Медь, медь с золотом, вольфрам, медно-никелевые руды (обычно с платиноидами), платиноносные гортонолиты и дуниты	Случайная *V* очень высокий (фактически не вычислялся)	Горные и горнобуровые с подземным бурением	Разведка по крайней мере первых полутора-двух этажей ведется только горными работами
	б) Карбонатные породы, скарны (ветвящиеся трубчатые тела)	Олово, свинцово-цинковые руды (с Ag и и многими другими примесями)	То же	То же. Обычно сразу ведутся разведочно-эксплуатационные работы	Еще более необходимо начальный этап, а иногда всю разведку осуществлять горными работами
5. Мелкие гнезда, линзы, жилки, трубки, погреба, заноры, расположенные в определенных зонах или беспорядочно	а) Эндо- и экзоконтакты гранитных интрузий (пегматиты), скарны, эффузивные породы, вторичные кварциты, известняки (тела приурочены к ориентированным зонам)	Бериллий, тантал, ниобий, цезий, вольфрам, пьезокварц, исландский шпат, оптический флюорит, наждак, корунд	Случайная *V* не может быть вычислен	Горные	
	б) Ультраосновные породы, пегматиты	Платина, драгоценные и оптические минералы	То же	То же	

отражается на крайних представителях — очень больших или очень малых месторождениях.

Все это вызывает необходимость рассмотрения огромного числа примеров, так как внутри каждой группы месторождений встречаются представители с весьма разнообразными размерами, формами и качеством. Здесь в целях экономии места рассмотрение примеров разведки приходится ограничить некоторыми типичными месторождениями.

Обобщенная схема применимости различных систем разведки для тех или иных геолого-минералогических типов месторождений приведена в табл. 19. Естественно, что в такой таблице невозможно отразить все многообразие природных условий, обусловливающих применение определенной разведочной методики. Условия залегания указаны только для тех месторождений, где они характерны и легко поддаются фиксации (1-я группа пластовых и пластообразных тел). Из-за недостатка места вместо перечисления многочисленных месторождений даны списки элементов, минералов или сырья.

Однако общую картину применения различных систем разведки в зависимости от принадлежности месторождения к той или иной группе эта таблица отражает. В ней отчетливо показано постепенное усложнение разведочных систем (от мелкого бурения до горных работ как единственного метода) по мере перехода от простых форм месторождений в мягких осадочных породах к трубам и мелким гнездам в крепких осадочных и интрузивных породах, а также по мере усложнения изменчивости качества полезного ископаемого.

Эта, в основном морфологическая, группировка перекликается с классификацией, приведенной в табл. 13 (с небольшими отклонениями), в которой также представлено пять групп.

2. ПЛАСТОВЫЕ И ПЛАСТООБРАЗНЫЕ ТЕЛА (ГРУППА 1)

В эту группу входит большое число разнообразных месторождений полезных ископаемых, общей морфологической чертой которых является их пластовая или близкая к пластовой форма. Тела полезных ископаемых залегают горизонтально (или очень полого) на различных глубинах от поверхности или имеют крутое падение, или, наконец, обладают переменными элементами залегания. Поэтому применяемые к ним системы разведки могут иметь значительные различия. Тем не менее относительная выдержанность пластообразной формы тел полезного ископаемого и обычно невысокая степень изменчивости их качества позволяют разведывать месторождения этой группы преимущественно с помощью буровых систем. Применение горнобуровых систем для ряда представителей рассматриваемой группы вызывается главным образом сложным характером или интенсивной изменчивостью качества полезного ископаемого.

Разведка пластовых месторождений железа

Разведку месторождений этого типа рассмотрим на примере Эльтиген-Ортельской мульды, разведанной в 1926 г.

Площадь мульды в пределах рудного контура составляет 8 *км*², причем ее длинная ось более чем в 2 раза превышает короткую. Залегание слоев, образующих мульду, почти горизонтальное: углы падения даже по краям ее не превышают 2—3°. Мощность пласта колеблется от 0 до 21 *м*, составляя в среднем 11,9 *м*. Наибольшая глубина залегания рудного тела от поверхности равна 30 *м*, средняя глубина значительно меньше.

Среднее отношение объема покрывающих пород к объему руды равно 1,8, но кое-где оно достигает 4,5. Запасы руды при включении в подсчет руды со средним содержанием железа 33,3% равны 150,6 млн. *т*, а при включении руды с содержанием 38% — 104 млн. *т*. В западной части мульды отсутствует верхний «непромышленный» пласт, а в северо-западной выделяется марганцовистая руда с повышенным содержанием железа.

Разведка Эльтиген-Ортельской мульды показала несколько большую изменчивость месторождения по качеству и мощности на периферии пласта. Для выяснения всех вопросов, стоявших перед разведкой, оказалась вполне достаточной прямоугольная сеть выработок с интервалом в 200 *м* по короткой оси и 400 *м* по длинной оси мульды.

Ознакомление с материалами разведки позволяет нарисовать схему разведочных операций и их нормальную последовательность для разведки новых аналогичных месторождений.

Поисково-разведочные работы и детальная геологическая съемка дали возможность наметить в грубом приближении контуры рудной мульды и характер оруденения. На основании этих данных в стадии предварительной разведки можно было заложить основную разведочную линию мелких скважин вращательного бурения по длинной оси мульды с интервалом между выработками 800—1000 *м* и перпендикулярные к ней короткие линии с интервалом 400—500 *м*. Таким образом, для предварительного суждения о месторождении площадью 8 $км^2$ достаточно было 16—20 выработок. По этим выработкам оказалось возможным с достаточной точностью построить взаимно-перпендикулярные разрезы и подсчитать общие запасы руды и среднее содержание полезных и вредных компонентов. Среди компонентов наибольшим колебаниям подвержено содержание железа; поэтому для него и следует вычислить коэффициент вариации с целью ориентировочного суждения о степени изменчивости месторождения.

В задачу детальной разведки входило:

1. Уточнение формы и контура рудного тела, что в данных условиях разрешалось сгущением сети выработок (причем особая точность контура не требовалась).

2. Выяснение качества руд, что во всех случаях разведки железорудных месторождений является наиболее ответственной задачей, так как при этом требуется выделить сорта руды и дать их характеристику. Поскольку содержание железа колебалось в пределах 20—50% и характеризовалось постепенной изменчивостью в горизонтальном направлении, для выяснения качества руд достаточно было небольшого количества выработок. Так как сорта руд выделяются путем разбивки пласта на три части (верхняя, средняя и нижняя), то специального сгущения сети не требовалось. Очевидно, при детальной разведке сеть 200×400 *м* действительно удовлетворяет предъявляемым требованиям. Возможно только, что выделение марганцовистых руд требует некоторого сгущения сети в северном участке мульды.

3. Точное определение вскрыши, необходимое в связи с намечавшейся разработкой месторождения открытым способом. Для этого был составлен план кровли рудного пласта в горизонталях и карта изомощностей вскрыши. Этим целям также удовлетворяла сеть 200×400 *м* при масштабе съемки 1 : 2000, которая служила основой для всех производимых работ. Почва рудного горизонта лежит выше уровня моря и Тобечикского озера, поэтому опасности обводнения открытых работ нет.

Выделение сортов на подобном месторождении может быть произведено только применительно к требованиям промышленности, устанавливаемым проектирующей и исследовательской организациями (обжиг, агломерация руд).

Буровые работы при разведке должны обязательно контролироваться шурфами, число которых в данном случае должно быть равно примерно 10—15 на 100 скважин.

Разведка силикатных никелевых руд

Огромный опыт накоплен в СССР в области разведки силикатных никелевых руд, залегающих в коре выветривания змеевиков и перидотитов.

Аккермановское месторождение на Южном Урале залегает на поверхности гипербазитового массива, подвергшегося выветриванию на глубину до 100 *м*. Этой глубиной и определяется общая мощность рудоносной толщи.

Месторождение сложено главным образом серпентинитами, которые несут следы интенсивных тектонических воздействий в виде трещиноватости и зон перетирания. Верхняя часть трещиноватых зон представлена рыхлыми продуктами коры выветривания, являющимися главными рудами на никель. Кроме этих охристо-кремнистых рудных образований, представляющих собой конечные продукты разложения серпентинита, здесь имеются переходные типы к плотным разностям серпентинита, содержащие более или менее значительные концентрации никеля.

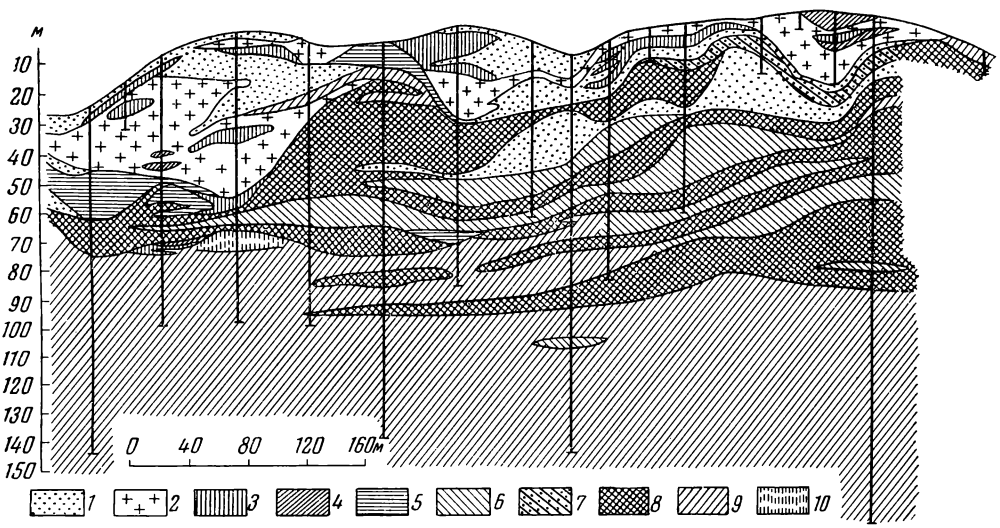


Рис. 72. Меридиональный разрез Аккермановского месторождения по участку № 2 (по К. Н. Трубину)

1 — измененные серпентиниты; *2* — охристо-кремнистые породы; *3* — обохренные серпентиниты; *4* — слабо измененные серпентиниты; *5* — серпентиниты с кремнистыми прожилками; *6* — керолитизированные серпентиниты; *7* — сетчатые серпентиниты; *8* — серпентиниты с доломитовыми прожилками; *9* — неизмененные серпентиниты; *10* — серпентиниты с магнезитом

Для правильного ведения разведочных работ необходимо отчетливо понимать процесс формирования месторождения и условия локализации обогащенных участков, главнейшими из которых являются характер трещинных структур в приповерхностном слое и формы рельефа. Эти условия определяют и общую мощность рудоносной толщи, и внутреннее ее строение, и характер ее нижнего контакта, то прямолинейного, то волнистого.

Сложность задач разведки обусловлена главным образом прихотливыми границами, разделяющими различные типы и сорта руд в пределах толщи (рис. 72). Поэтому разведка этих плащеобразных никеленосных залежей при небольшой мощности рудной толщи осуществляется системой шурфов или дудок, располагаемых по квадратной сети. Для разведки сравнительно мощных рудных толщ, по-видимому, вполне удачной и производительной является система скважин ударного бурения с контрольными шурфами. Расстояния между выработками квадратной сети в стадии предварительной разведки составляют 40—50 *м*, а при детальной разведке уменьшаются до 20—25 *м*. Выяснение горнотехнических условий в связи с открытыми раз-

работками месторождений этого типа больших затруднений не представляет; необходимо только при разведке включать в изучение вмещающие породы, которые будут охвачены будущим карьером.

Разведка россыпей

При разведке россыпей приходится иметь дело с толщей рыхлых песчано-глинистых отложений, принадлежащих к элювию, делювию, пролювию, коллювию, аллювию и реже к моренным флювиогляциальным и эоловым накоплениям. С этими рыхлыми накоплениями, обычно с нижней их частью, связаны промышленные концентрации самородных металлов (золото, платина) или полезных минералов (касситерит, вольфрамит, шеелит, алмаз, танталит, монацит, рутил, пирохлор, циркон и др.) В последние годы список элювиально-делювиальных россыпей пополнился россыпями пьезооптического кварца.

Наиболее сложная часть работы по исследованию россыпей приходится на поисково-разведочную стадию[1], когда требуется углубленный анализ процессов создания россыпей. Методика предварительной и детальной разведки россыпей сравнительно проста: основное внимание здесь надо уделять правильному и технически рациональному проведению буровых и шурфовых работ.

Разведочными работами устанавливаются длина, ширина, мощность россыпи и среднее содержание в ней металлов или минералов (т. е. объем песков и среднее содержание полезного минерала в единице объема или веса), характер распределения полезного минерала («струи», параллельные прослойки, «корчаги» и пр.) и свойства этого минерала, а также и других полезных минералов шлиха (величина, форма, «защитные рубашки», сростки и т. д.); последнее наряду с гранулометрическим составом пласта влияет на выбор промывальных устройств.

Весьма сложной задачей при разведке россыпей является выяснение горнотехнических условий их разработки. Применение той или иной системы зависит как от общего запаса песков, определяющего амортизационный срок действия предприятия, и среднего содержания полезных минералов в единице объема, так и в значительной степени от горнотехнической характеристики россыпи.

Основными факторами, определяющими горнотехнические условия эксплуатации, являются: 1) мощность торфов и песков, их соотношение, глубина залегания песков и содержание в них полезных минералов; 2) степень зараженности торфов полезными минералами; 3) процент валунистости, а также общий гранулометрический состав песков и торфов; 4) рельеф плотика и его характер; 5) глубина проникновения полезных минералов в плотик, их концентрация и характер распределения; 6) распределение многолетней мерзлоты; 7) наличие таликов и их распределение внутри мерзлотной толщи; 8) водоносность, ее количественная и качественная характеристика; 9) характер поверхности участка россыпи; 10) поверхностные воды. Совокупность перечисленных данных, выявляемых разведкой, дает возможность правильно составить проект разработки россыпи.

Глубина залегания пласта определяет отношение вскрыши к полезной мощности, а распределение полезных минералов по всей толще рыхлых отложений предопределяет способ массовой промывки (драга и пр.). Процент валунистости влияет на условия разработки россыпи; большой процент валунистости препятствует применению дражного, экскаваторного и гидравлического способов. Характер плотика (твердый, неровный или мягкий, разрушенный) имеет особенно большое значение в случае проникновения в его толщу полезного минерала и может заставить предпочесть такой метод разработки, при котором потеря в плотике будет наименьшей.

---

[1] Эта стадия работ для россыпей не освещалась во втором разделе книги.

Многолетняя мерзлота определяет подчас не только выбор системы эксплуатации, но и оценку промышленного значения россыпи, так как оттаивание мерзлых грунтов требует больших затрат и дополнительного оборудования. Водоносность, влияющая на способы разработки различных месторождений полезных ископаемых, в эксплуатации россыпей часто играет решающую роль вследствие рыхлости материала и способности его легко насыщаться водой.

Характер рельефа, уклон долины требуют учета при проектировании открытых работ и при организации гидравлической разработки. Что касается поверхностных вод, то их наличие или отсутствие уже само по себе предопределяет возможность или невозможность применения драги и гидравлики.

Разведка элювиальных и делювиальных россыпей часто производится попутно с вскрытием выходов коренных месторождений алмазов, олова, вольфрама, корунда, золота и других полезных ископаемых. Но иногда разведка элювиальных россыпей имеет и самостоятельное значение, если промышленная россыпь установлена, а коренные месторождения оказываются непромышленными. Нередко элювиальная россыпь по существу является корой выветривания (например россыпь баритов).

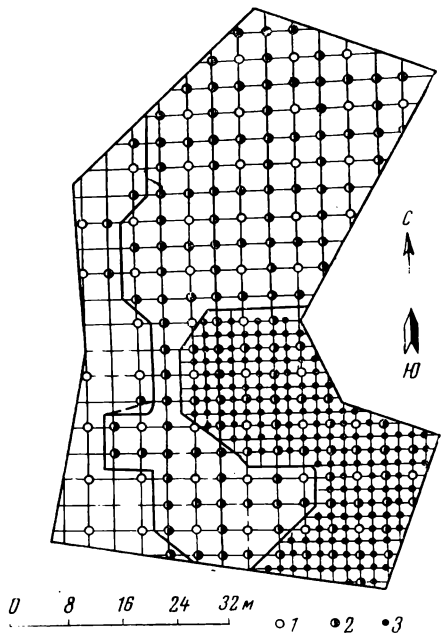


Рис. 73. Схема разведки оловянной россыпи (по Лэйку)

1 — скважины начальной редкой сети; *2* — скважины обычной сети детальной разведки; *3* — проверочные скважины

Изучение элювиальных россыпей в большинстве случаев представляет весьма простую задачу. Маломощный слой рыхлых отложений, включающий обломочный несортированный материал; обогащение над коренными выходами выражено, но не резко; водоносность отложений невелика или отсутствует (в ряде районов имеется многолетняя мерзлота) — все эти условия допускают быстрое и легкое получение детальных и надежных данных о россыпи с помощью поверхностных разведочных выработок. Заметим, что некоторые элювиальные россыпи относятся к числу немногих рудных месторождений, где даже детальная разведка может быть осуществлена проходкой канав и копушей (например россыпи алмазов). В обычном случае разведка ведется с помощью мелких шурфов или мелким ударно-вращательным (или вращательным) бурением в сочетании с шурфованием.

Если связь с коренным месторождением не установлена или сомнительная, а обогащенность рыхлого материала доказана, то, пользуясь методом аналогии, можно приступить к предварительной разведке россыпи. П. Р. Лэйк (1932 г.), имеющий большой опыт в разведке оловянных элювиально-делювиальных россыпей о-ва Банка, предлагает закладывать квадратную сеть с начальным расстоянием между выработками 160 *м* и дальнейшим сгущением по мере надобности до 80 и 40 *м* (рис. 73). Действительно, для равномерно обогащенных россыпей, связанных с коренным рассеянным штокверковым оруденением, начальный интервал может быть принят равным 160—200 *м*. Лишь для золотых и вольфрамовых россыпей он едва ли может быть более 100 *м*.

Если элювиальные или делювиальные россыпи находятся неглубоко от поверхности, но покрыты четвертичными отложениями мощностью 5—10 *м*, то описанный выше векторный метод оконтуривания может иногда оказаться выгоднее применения сеток.

При наличии данных о связи россыпи с линейно вытянутыми направлениями (дайки, жильные системы) необходимо располагать выработки по разведочным линиям вкрест их простирания (или, если возможно, проходить канавы). Начальное расстояние между выработками на линиях должно быть 40—80 *м*, а между линиями 200—400 *м*.

Ведется ли разведка по квадратной сетке или по линиям, постепенное сгущение выработок по мере детализации изучения площади неизбежно. Если плотик кавернозный и распределение полезного минерала очень сложное, расстояние между выработками в разведочной сети может быть в итоге сокращено до 20 *м*, а при линейном расположении — до 10 *м* при расстоянии между разведочными линиями 50—80 *м*. Сгущение выработок на всей площади или на отдельных участках продолжается до тех пор, пока не достигается надежное освещение всех деталей, необходимое для правильной эксплуатации. По всем выработкам в дополнение к обычным данным точно устанавливается гранулометрический состав шлихов, точный состав рыхлых пород, процент каменистости, величина отдельных крупных глыб, характер плотика и наличие мерзлоты.

При разведке делювиальных россыпей иногда ошибочно не учитывается струйчатое расположение материала по склону в виде веера. В некоторых случаях вдоль склона горы располагается несколько выходов рудных тел (жилы, гнезда и пр.), разрушенный материал которых сползает вниз. Образуются рудоносные «струи», грубоперпендикулярные к простиранию склона. Следовательно, разведочные линии следует располагать вдоль склона, а не наоборот. Радиальное размещение линий также не приходится рекомендовать вследствие неравномерности опробования и осложнений, возникающих при подсчете запасов.

При разведке делювиальных россыпей всегда приходится учитывать величину намечающейся площади россыпи. Большие площади дают возможность по данным начальной редкой сети выработок наиболее рационально и с наименьшими затратами сгустить сеть до необходимых размеров. Расстояния между выработками и линиями можно рекомендовать те же, что и для элювиальных россыпей.

Если не считать отдельных случаев разведки копушами и канавами, то основными средствами разведки делювиальных россыпей являются шурфы, скважины медленно-вращательного и комбинированного бурения, а также комбинированные системы шурфов и буровых скважин.

В группе аллювиальных россыпей следует различать косовые, русловые, долинные, террасовые и погребенные россыпи. Среди них главная роль принадлежит долинным россыпям и отчасти террасовым и погребенным (Ю. А. Билибин). Косовые и русловые россыпи имеют весьма небольшое значение. При разведке аллювиальных россыпей прежде всего требует освещения площадь распространения россыпи и строение пласта.

Длина и ширина россыпи часто находятся в прямой зависимости от характера долины, в которой она формируется. Так, в мелких ключах образуются россыпи длиной от 0,2 до 0,5 *км* при ширине 10—20 *м*. В ключах и речках длиной от 3 до 25 *км* (т. е. наиболее распространенных) длина россыпи изменяется от 1 до 5 *км* при ширине от 20 до 100 *м*, причем в верхних частях россыпь имеет ширину 20—40 *м*, а в нижних 50—100 *м*. В речных долинах, для которых труднее даже ориентировочно указать средние цифры, длина россыпей часто составляет 10—20—30 *км* при ширине в сотни метров и более. Многочисленные примеры подобных речных россыпей золота можно наблюдать в Ленском, Амурском и Алданском районах.

Мощность золотоносных пластов колеблется в довольно широких пределах: от десятков сантиметров до нескольких метров. Но надо иметь в виду,

что длина, ширина и мощность россыпи — понятия условные и скорее экономические, чем геологические. Содержание полезных минералов по направлению от центральной части россыпи к периферии часто постепенно уменьшается, в связи с чем почти всегда возникает вопрос о пределах «бортового» содержания. То же можно сказать и о мощности. Очень часто вблизи самой поверхности опробование показывает знаки или отдельные зерна полезного минерала, число которых по мере углубления возрастает. Наиболее высокое содержание обычно отмечается вблизи плотика и на самом плотике. Таким образом, понятие о мощности при особо тщательном разведочном опробовании опять-таки определяется технико-экономическим анализом, который показывает, что надо считать «торфами», а что — «песками».

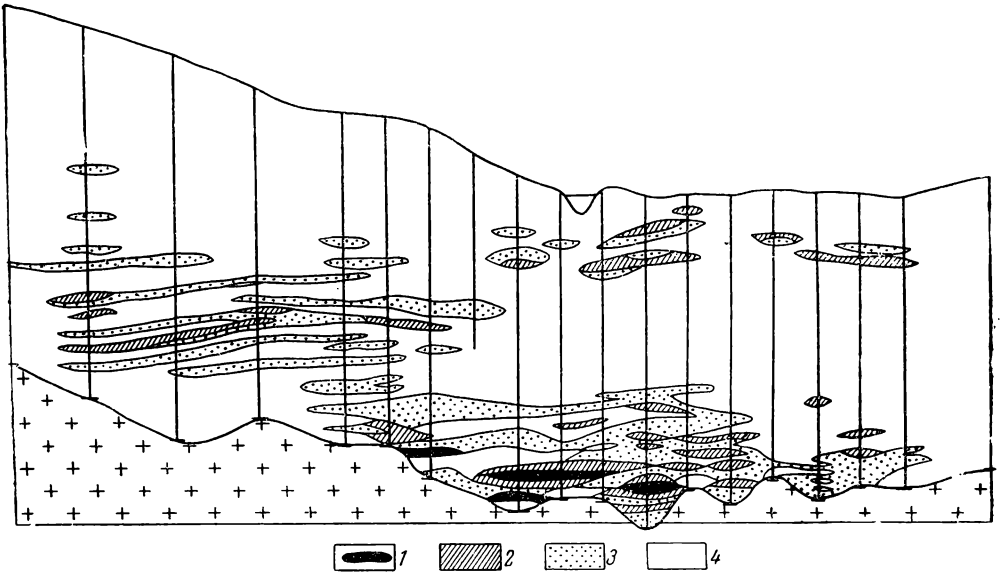


Рис. 74. Обогащенные прослойки россыпи
Содержание металла (в *г/м*³): *1*—более 1; *2*—от 1 до 0,2; *3* — от 0,2 до 0,03; *4*—меньше 0,03

Очень существенную роль при изучении и разведке россыпей играет плотик, который может иметь различную поверхность: гладкую, неровную, ребристую или кавернозную. Характер его поверхности зависит от свойств коренных пород и нередко, особенно в известняках, обусловливает весьма сложное распределение полезного минерала. Кроме углублений («карманы», «корчаги»), в которых концентрируется полезный минерал, последний проникает в трещины плотика до глубины 1 *м* и даже 2 *м*, иногда образуя с тонкой глиной так называемую «примазку». Все эти обстоятельства нередко весьма усложняют разведку и делают неприменимыми некоторые технические средства (бур Эмпайр). В некоторых россыпях главный обогащенный пласт не приурочен к плотику, а отделен от него слоем пустых или слабометаллоносных пород.

Весьма существенным фактором при разведке является распределение полезного минерала внутри пласта в горизонтальном и вертикальном направлениях. В плане распределение обогащенных участков меняется от весьма выдержанного и равномерного до крайне причудливого «струйчатого», «кустового» и «гнездового». В некоторых районах, например в Амурском, от 50 до 90% золота получено из обогащенных «струй». Не меньшая сложность распределения наблюдается и в вертикальном разрезе россыпей (рис. 74). Картина еще больше усложняется, когда (как, например, в Ленских россыпях) в разрезе появляется несколько пластов, разделенных ложными плотиками.

Все сложные черты, свойственные аллювиальным россыпям, зависят от типа коренного источника, характера и уклона плотика, геологической истории района, а также от многих второстепенных причин. Все эти черты накладывают отпечаток и на методику разведочных работ.

При разведке аллювиальных россыпей необходимо учитывать характер, величину, физическое состояние зерен полезного минерала (этот вопрос уже освещался в разделе поисков). Нужно учитывать количество глин, каменистость, окатанность материала; обычно каменистость вверх по реке увеличивается, а окатанность уменьшается.

Морфологические и генетические особенности аллювиальных россыпей предопределяют разведку их выработками, располагаемыми по линиям вкрест простирания долины. При изменении простирания долины изменяется и ориентировка разведочных линий. Каждая разведочная линия сама по себе должна быть прямой, без изгибов и изломов.

Самым ответственным моментом в поисково-разведочной стадии работ является заложение первых разведочных линий. Наиболее перспективные участки для их заложения нередко намечаются, с одной стороны, по геологической карте, а с другой — по результатам шлиховых поисков. Огромную роль играют морфологические критерии, например, места внезапного расширения долин после узкого каньонообразного участка, места слияния двух речек и т. д.

Водоносные долинные и тем более косовые и русловые россыпи часто бывает трудно вскрыть шурфами. Поэтому нередко на поисково-разведочной стадии работ приходится применять бурение станком Эмпайр или другим аналогичным агрегатом.

Обычно первые поисково-разведочные линии задаются на расстоянии 1000—2000 *м*, а выработки на линиях — на расстоянии 20—80 *м* одна от другой в зависимости от размера предполагаемой россыпи. При заложении линий не нужно забывать о возможности распыления полезного материала и располагать их возможно ближе к намечающимся коренным источникам сноса.

Дальнейшее развитие работ после обнаружения предположительно промышленной россыпи относится к стадии предварительной разведки.

В процессе производства предварительной разведки необходимо в первую очередь закончить старые поисково-разведочные линии, если они не были закончены, обращая особое внимание на проходку бортовых выработок.

Нормальными расстояниями между выработками на линии можно считать: для простых россыпей 40 *м*, для сложных 20 *м* и для особо прихотливых 10 *м*. При такой густоте выработок разрез аллювиальных отложений по разведочной линии, а также морфология пласта исследуются достаточно полно. Но во многих случаях лучше начальный интервал увеличить в 2 раза, т. е. закладывать выработки на расстояниях соответственно 80, 40 и 20 *м*. В дальнейшем этот интервал уменьшается вдвое. Такой порядок заложения выработок может дать отрицательные результаты при разведке особо прихотливых россыпей, в которых весь полезный материал иногда концентрируется в струях, кустах или карманах. Если имеются основания ожидать такого распределения полезного материала, то для прихотливых, а иногда и для сложных россыпей интервалы между выработками нужно сразу принимать наименьшие. Эти струи и кусты могут быть настолько невелики, что даже при интервале 10 *м* выработки их не оконтурят.

Опробованию подвергается вся толща аллювия, начиная с поверхности и кончая породами плотика, причем в торфах интервалы опробования, естественно, увеличиваются. В нескольких выработках необходимо определять состав пород всего разреза рыхлых отложений по крупности и особенно процентное содержание валунов, их средний и максимальный размер; лишь при небольших россыпях можно ограничиться определением состава пород только продуктивного пласта.

Многолетняя мерзлота должна фиксироваться с такой же точностью и детальностью, как и сам продуктивный пласт. Как известно, многолетняя мерзлота распространяется или непрерывным слоем, или отдельными блоками, или перемежающимися слоями мерзлых и талых пород. В продольных и поперечных профилях многолетняя мерзлота должна быть оконтурена наряду с плывунами и водоносными слоями. Интересный пример литологического состава россыпи и распределения многолетней мерзлоты представлен на рис. 75.

В выработках следует отмечать уровень подземных вод и изучать связь подземных вод с поверхностными. В некоторых случаях целесообразно произвести откачки для определения дебита воды, особенно в случае разработки россыпи подземным способом.

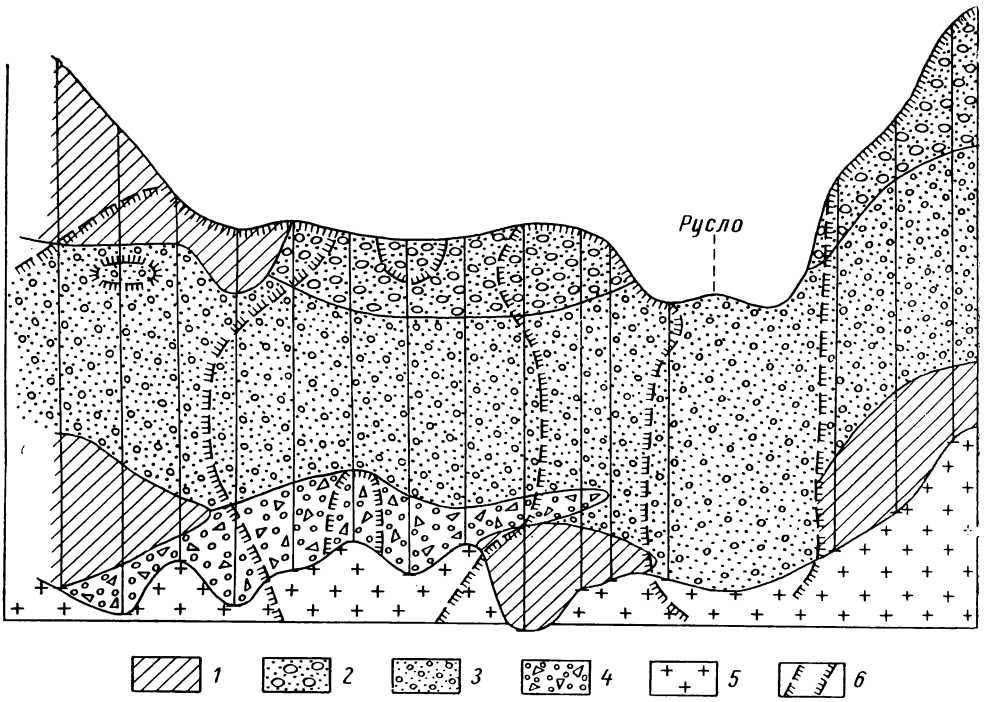


Рис. 75. Разрез по разведочной линии через россыпь р. Куронах

1 — глина; *2* — крупновалунный слой; *3* — речник; *4* — щебенка с песком; *5* — плотик; *6*—границы многолетней мерзлоты

Аллювиальные оловоносные россыпи (например, на о-вах Банка и Биллитон) имеют довольно простое строение. Пласт мощностью от 0,1 до 0,6 *м* залегает под аллювиальными отложениями на глубине 6—8 *м* от поверхности непосредственно на коренных породах. Разведка этих россыпей производилась по линиям и квадратным сетям (40×40 и 30×20 *м*) обычно буром Эмпайр. Но неточность результатов заставила применить новый бур — Конрад — диаметром 700 *мм*. Есть основания ожидать, что бур БМН-860 отечественного производства даст лучшие результаты.

Таким же методом разведываются вольфрамовые россыпи. При слабой водоносности отложений применяются шурфовые работы.

Разведку аллювиальных россыпей можно вести с помощью: 1) шурфовых работ; 2) бурения станками НИГРИЗа, Эмпайр, Невьянским, БМН-860, ударно-канатным; 3) сочетания указанных средств.

Полноценные разведочные наблюдения, как правило, могут быть осуществлены только в шурфах. Опробование также может быть эффективно только при проходке шурфов, особенно если плотик крепкий и обогащен ценными минералами. Однако громоздкость организации, дороговизна

работ и водоносность отложений во многих случаях заставляют предпочесть шурфам буровые скважины, а за шурфами оставить только контрольные функции.

Бурение скважин малых диаметров дает искаженные результаты: с одной стороны, тяжелые минералы, падая со стенок скважин, проникают на забой и обогащают породу; с другой стороны, желонка не полностью засасывает тяжелые минералы, что приводит к разубоживанию, наиболее характерному для разведки россыпей.

Отмеченные выше недостатки скважин малых диаметров относятся также к скважинам, пройденным буром Эмпайр. Поэтому указанным буром можно пользоваться только в поисковой стадии работ. В случае применения этого бура для разведки необходимо систематически контролировать результаты бурения шурфованием. Контрольные шурфы в количестве 10—20% от числа скважин задаются в тех же пунктах, где были пройдены скважины. Без проверки шурфами полученные при бурении данные в большинстве случаев нельзя считать достоверными.

То же относится и к скважинам ударно-канатного бурения.

Более надежные результаты получаются при бурении скважин больших диаметров. Кроме того, в тех районах, где имеется особенно большой опыт ударного бурения (например, на Ленских россыпях), можно при глубоком изучении этого опыта и тщательной работе указанным способом получить данные, по достоверности отвечающие требованиям предварительной разведки. При контроле шурфами россыпь может быть разведана с желательной степенью детальности.

Комбинированное ударно-вращательное бурение применяется для разведки неглубоко залегающих и некаменистых россыпей, а ударно-канатное — для всех видов мелких, глубоких и каменистых россыпей.

Террасовые россыпи представляют собой долинные россыпи предыдущих циклов эрозии. Они большей частью не водоносны, но в северных районах обычно охвачены многолетней мерзлотой. Отсутствие воды способствует применению шурфов. Изредка, как исключение, для разведки террасовых россыпей применяются штольни.

Погребенные россыпи, обычно залегающие под слоем мощных рыхлых водоносных образований, разведываются ударно-канатным бурением, результаты которого контролируются шурфами. Если контроль шурфами невозможен, то в отдельных случаях проходятся шахты со штреками, которые в дальнейшем должны использоваться как эксплуатационные.

Береговые россыпи в виде узкой полосы тянутся нередко на десятки километров вдоль морского берега. Материал этих россыпей представлен исключительно песком и гравием (без глин).

Разведка месторождений каменных углей[1]

Каменноугольные пласты обычно занимают большие площади и отличаются относительной выдержанностью. Конечно, местами пласты могут быть частично или полностью размыты (водами наступавшего моря, реками, ледниками), что необходимо учитывать при разведке.

К основным геологическим и горно-эксплуатационным факторам, подлежащим выяснению при разведке, относятся: мощность пласта и ее изменчивость, строение пласта, тектоника месторождения, качество углей, сорта и их распределение в пространстве, способность углей сохраняться в штабелях и выдерживать перевозку, водоносность разреза, состав кровли и почвы пласта, гипсометрия почвы пласта, газоносность, пыленосность, самовозгораемость, крупность кусков при добыче.

[1] Разведка угольных месторождений рассматривается довольно детально, так как они являются наиболее типичными представителями экзогенных пластовых месторождений.

Мощность пласта является фактором исключительной важности, так как она в значительной мере определяет систему разработки, стоимость добычи 1 *т* угля и, что самое важное, пределы рабочей мощности: средняя мощность может быть близка к промышленной, а фактически значительная часть пласта может оказаться потерянной в участках, имеющих мощность ниже промышленного предела.

Огромную роль для оценки месторождения играет и строение пласта. Каменноугольные пласты часто изменяются по простиранию и падению: появляются пачки сланцев, иногда пласт разделяется на два пласта, пустые породы, разделяющие пласт, увеличиваются или уменьшаются в мощности. Выяснение изменчивости пласта как по мощности, так и по строению является важнейшей задачей разведки.

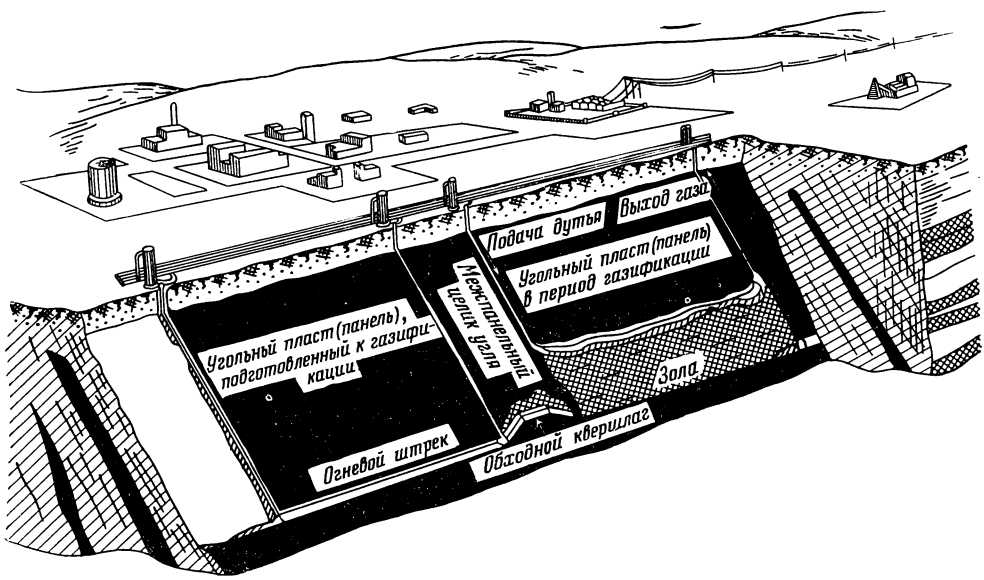


Рис. 76. Схема подземной газификации углей (по И. Ефременко и Н. Талызину)

Тектоническое строение месторождения часто предрешает и методику разведки и систему разработки каменноугольного пласта, Особенно важна фиксация всех, даже малейших, сбросов для пластов, подвергающихся подземной газификации, так как нарушение в 0,5—1 *м* и даже меньше в маломощных пластах может прекратить продвижение забоя и остановить весь процесс. Схема процесса подземной газификации представлена на рис. 76.

В зависимости от назначения угля в процессе разведки требуется различный подход к опробованию. В результате опробования должны быть установлены технический и элементарный состав углей, выход первичных смол, данные по сжиганию под котлами. Для многих углей важно выяснить способность сохранения их в штабелях и поведение при транспортировке. Некоторые угли, например многозольные и многосернистые, требуют проведения опытов по обогащению, другие — опытов по брикетированию и шихтовке в смеси с углями другого района. Если для металлургических углей главную роль играет технический анализ, то для химических углей особенно важно определение элементарного состава и испытание на выход первичных смол. Энергетические угли надо изучать с точки зрения количества балластных и вредных компонентов золы, ее состава, плавкости.

Основным средством разведки каменноугольных месторождений является колонковое бурение. Все его преимущества, в том числе возможность искусственного ориентированного искривления скважин и применения двойных колонковых труб для увеличения выхода керна, особенно отчетливо выявляются при разведке углей.

Но при детальной разведке буровых работ обычно бывает недостаточно для выяснения качества углей и горнотехнических условий эксплуатации и приходится проходить шахты с рассечками и штреками. Шахта во всех случаях должна пересечь зону выветрелых углей, поэтому средней ее глубиной можно считать 40—50 *м*.

Каменноугольные пласты Донбасса в целом относятся к устойчивым стратиграфическим горизонтам, изменяясь в сравнительно нешироких пределах. Тем не менее их подразделяют по степени изменчивости на четыре группы: 1) устойчивые рабочие пласты, сохраняющие мощность и простоту строения; 2) относительно устойчивые рабочие пласты, сохраняющие мощность в определенных пределах, но изменяющие строение; 3) неустойчивые рабочие пласты, склонные к более частой потере рабочей мощности и меняющие строение, и 4) пласты со случайной рабочей мощностью. Рабочая мощность принимается равной 0,4—0,7 *м* в зависимости от угла падения и положения пласта в свите.

Разведка во всех случаях осуществляется с помощью колонковых скважин, располагаемых по линиям. Очень часто разведка в Донбассе сводится к прослеживанию уже разрабатываемых пластов на глубину и по простиранию в пределах хорошо освещенных площадей. В этом случае первые скважины могут быть пройдены по разведочным линиям, удаленным от уже изученного пункта на расстояние: для первой группы 3000 *м*, для второй — 2000 *м*, для третьей — 1000 *м* и для четвертой — 750 *м*. Если же работы начинаются на новом участке (но в пределах площади детальной съемки), то расстояния между линиями скважин в стадии предварительной разведки будут колебаться соответственно от 2000 до 500 *м*.

При детальной разведке должны быть точно выяснены тектонические нарушения и установлена синонимика пластов. Опробование должно обеспечить характеристику марочного состава углей. Водоносные горизонты, режим и дебит подземных вод должны быть установлены с точностью, достаточной для проектирования водоотлива. Степень газоносности и пыленосности, характер кровли и почвы, а также геометрия пластов должны быть выяснены с достаточной детальностью. Все эти данные могут быть получены без горных работ при помощи буровых скважин, но только на освоенных площадях.

На буровые работы ложится большая ответственность, если разведка опирается только на результаты бурения. Поэтому нужно предусмотреть, особенно для курных углей, бурение по углю скважин большого диаметра и с обязательным применением каротажа. Для новых удаленных площадей для получения перечисленных сведений в стадию детальной разведки, безусловно, необходима проходка шахты ниже горизонта выветривания углей. Изучавшиеся ранее площади, но с меняющимся качеством угля, также нужно осветить горными работами. Примерные расстояния между линиями скважин при детальной разведке на новых площадях для месторождений первой, второй, третьей и четвертой групп выражаются соответственно в 1000; 750; 300 и 150 *м*.

Эксплуатационная разведка, опирающаяся на подготовительные выработки, служит для уточнения мелких тектонических нарушений, деталей строения пластов и некоторых других вопросов.

В Кузнецком бассейне встречаются два типа угленосных накоплений: палеозойского и юрского возраста. Отложения Кузнецкого бассейна характеризуются большой мощностью угленосных толщ (до 2600—3000 *м*), большой насыщенностью угольными пластами (коэффициент угленосности достигает 14%) и большим количеством мощных пластов (до 14—16 *м*).

Угольные пласты сравнительно хорошо выдерживаются по мощности и качеству на больших площадях или обнаруживают закономерную изменчивость. Вмещающие породы обладают однообразным составом и характеризуются отсутствием маркирующих горизонтов, поэтому синонимика пластов

устанавливается по комплексу угольных пластов (и составу отдельных пластов) и вмещающих пород.

По качеству кузнецкие угли представлены почти всеми существующими марками — от длиннопламенных газовых до тощих полуантрацитов. Угли Кузбасса имеют склонность к самовозгоранию, обладают повышенной газоносностью и пыленосностью.

В Кузбассе наблюдается большое разнообразие тектонических структур — от пологоскладчатых в центральном поле до сложных дислоцированных и нарушенных сбросами по периферии бассейна. Иногда складчатость настолько сложна, что, несмотря на резкое сгущение скважин, осветить ее буровыми работами не удается.

По степени дислоцированности в пределах бассейна выделяются три группы участков: 1) участки со спокойной тектоникой; 2) участки со сложной тектоникой и 3) участки с очень сложной тектоникой. По выдержанности строения пластов выделяются также три группы: 1) устойчивые; 2) относительно устойчивые и 3) неустойчивые.

Ориентировочным пределом рабочей мощности для пластов Кузбасса считается 0,7 *м*, хотя на учет берутся пласты начиная от 0,5 *м*. В каждом конкретном случае пределы рабочей мощности могут быть установлены путем специальных экономических исследований или техническим проектом.

Организация предварительной разведки основывается на данных поисково-разведочных работ и детальной съемки. В качестве разведочных средств используются мелкие горные выработки, скважины медленно-вращательного бурения и отдельные скважины колонкового бурения. Разведочные линии прокладываются вкрест простирания выходов. В результате работ должно быть выяснено качество угля путем предварительного опробования керна, установлены главные элементы тектоники и синонимика основных угольных пластов участка. В построении разрезов по разведочным линиям допускается некоторая схематичность. Рекомендуемые расстояния между разрезами (конечно, ориентировочные) приводятся в табл. 20.

Таблица 20

Расстояния между разведочными разрезами при предварительной разведке (в *м*)

Группа пластов по выдержанности строения	В простых тектонических условиях	В сложных тектонических условиях
Устойчивые	2000	1000
Относительно устойчивые	1000	500
Неустойчивые	500	250

На основании предварительной разведки производится промышленная оценка участка.

Детальная разведка осуществляется путем сгущения выработок и проходки дополнительных линий. При глубоком колонковом бурении широко применяется искусственное искривление скважин и каротаж.

При неустойчивых пластах в сложной тектонической обстановке сгущение сети не дает желательных результатов. В таких условиях нужно переходить на горные работы и вспомогательное бурение из подземных выработок.

В результате этих работ должна быть получена полная уверенность в правильном сопоставлении пластов по соседним разрезам, а также в правильной трактовке структуры участка. С достаточной детальностью должны быть выяснены характер почвы и кровли угольных пластов, их обводненность, а также качественный марочный состав углей по пластам и отдельным пачкам в случае мощных пластов.

Если разведка ведется на участке, примыкающем к известным шахтным полям, и вскрывает новые пласты или пласты с изменчивыми свойствами, то полезно из существующих шахт провести выработки для вскрытия этих пластов и взять пробы для заводских испытаний. Если же разведка ведется в новых районах, то необходимо параллельно с буровыми скважинами заложить разведочные шахты, произвести технологическое опробование и уточнить все неясные структурные вопросы.

При разведке кузнецких угленосных свит, отличающихся сложным строением и различным качеством углей, значительную роль играют углепетрографические исследования. Они помогают увязать угольные пласты по разведочным разрезам, определить состав и свойства углей, установить возможность обогащения углей, обосновать режим разведочного бурения. Н. П. Гречишников методом подсчета микрокомпонентов установил определенные качественные признаки Волковского и Кемеровского угольных пластов по северо-западному крылу Кемеровской синклинали (угли Кемеровского пласта лучше спекаются, потому что содержат на 20% меньше фюзенита в сравнении с волковскими), в результате чего существенно изменилось представление о строении угленосной толщи (рис. 77).

Месторождения типа Подмосковного бассейна характеризуются: 1) грубогоризонтальным залеганием пластов на незначительной глубине от поверхности; 2) промышленной мощностью пластов, имеющих форму пластообразных и линзообразных залежей; 3) постепенностью в проявлениях выклинивания, раздувания и расслаивания; 4) рыхлыми вмещающими породами; 5) пригодностью углей для использования в качестве энергетического топлива. Свойства углей (коксуемость, выход первичных смол) и горнотехнические условия месторождений (водоносность) изменяются в широких пределах.

В каменноугольных месторождениях этого типа трудно изучать изменчивость пласта в том или ином направлении, поэтому здесь целесообразно строить два взаимно-перпендикулярных разреза, т. е. производить разведку по квадратной сетке. Эта начальная сетка закладывается в виде колонковых скважин с интервалом 750—1000 *м*, если данные о мощности и качестве угля позволяют надеяться на положительные результаты разведки. Характер кровли и почвы фиксируется, по возможности, детально. Не нужно забывать, что между пластами и непосредственно под пластами угля иногда встречаются залежи огнеупорных глин, которые можно и должно разведывать попутно, а в углях и золе могут быть встречены уран, молибден, германий и другие важные элементы. Указанная сеть скважин нередко дает возможность составить представление о форме залежи (пластообразная или линзообразная).

Опыт показал, что для предварительной разведки пластообразных залежей нормальным интервалом между скважинами можно считать 500—750 *м*, а для линзовидных залежей 350—500 *м*. Соответственно этому начальная сеть буровых скважин, если нужно, сгущается. Если месторождение сложено неводоносными породами и залегает близко к поверхности, то часть скважин целесообразно заменить шурфами и дудками. Медленновращательное бурение можно применять только для уточнения контура залежи.

В процессе предварительной разведки необходимо установить водоносные горизонты и дебит вод, произвести технический и элементарный анализы угля и определить выход первичных смол. Результаты предварительной разведки являются основой для составления ТЭДа.

Детальная разведка выражается в постепенном сгущении сети скважин. В окончательной фазе детальных разведок сеть обычно сгущается: для пластообразных залежей до 250—350 *м* и для линзообразных до 150—250 *м*. В этой фазе должны быть получены не только точные данные о разрезе, о характере водоносных и водоупорных пород, но и материалы для суждения о необходимости осушительных работ. Опробование ведется на энергети-

ческое топливо, и только небольшой процент проверяется на выход смол.

Если разведывается новый район, то необходимо хотя бы в двух-трех пунктах заложить в точках расположения скважин сопряженные провероч-

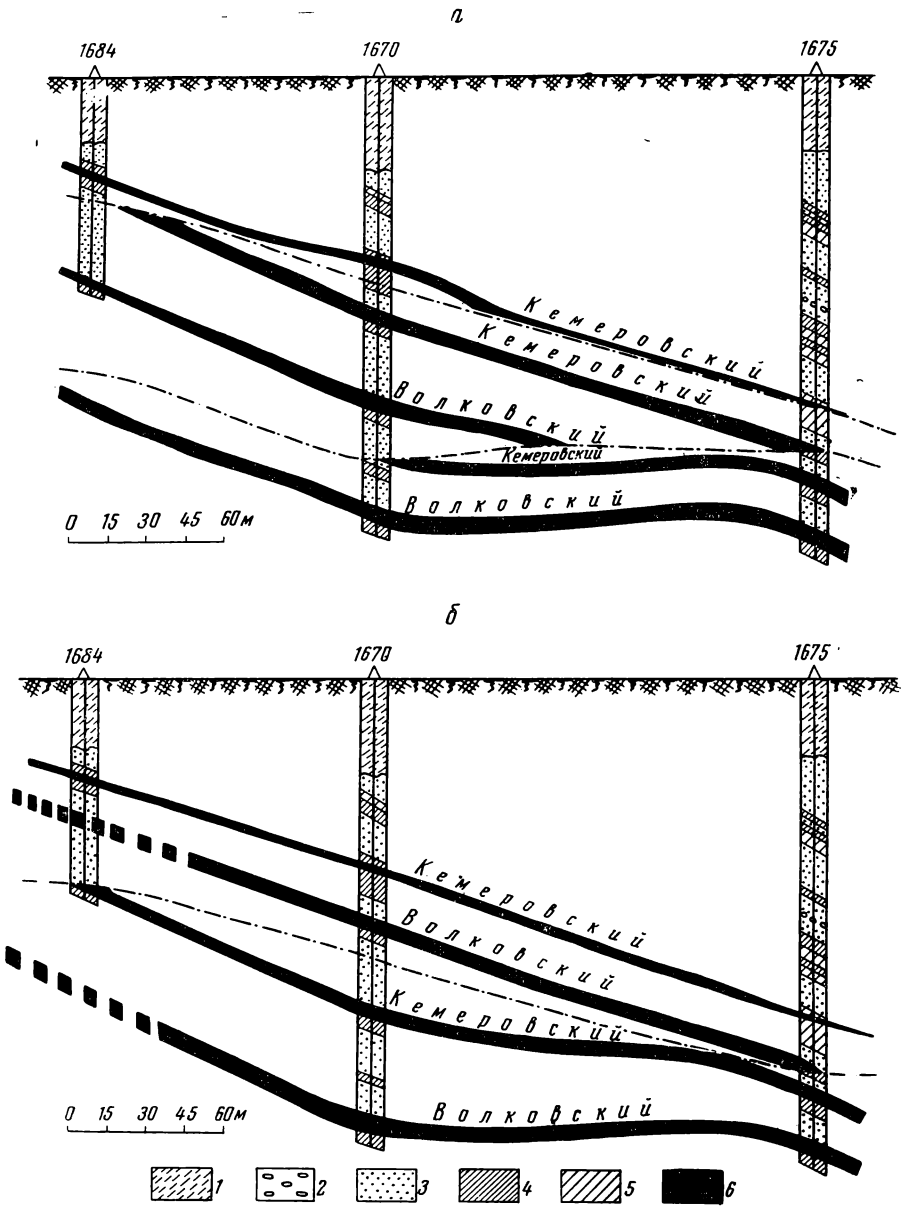


Рис. 77. Геологические разрезы по IV разведочной линии Петровского участка в Кузбассе (по Н. П. Гречишникову)

а — разрез, построенный без учета углепетрографических исследований; *б* — разрез, построенный на основании углепетрографических исследований

1 —наносы; *2* — конгломерат; *3* — песчаники; *4* — алевролиты; *5* — аргиллиты; *6* — уголь

ные шахты, чтобы получить надежные данные о горнотехнических условиях эксплуатации и добыть достаточное количество угля для заводских испытаний. Для технического проектирования необходимо иметь материалы по опытному сжиганию и брикетированию угля, данные о способности хранения угля в штабелях, транспортировке, кусковатости, пыленосности и твердости

угля, о характере кровли и почвы, не говоря уже о составе и характере золы и вредных примесей. В случае сильной водоносности указанные шахты проходятся как эксплуатационные, но до их проходки детальная разведка не может считаться законченной. По условиям залегания и вмещающим породам подмосковный тип угольных пластов является как бы разведочным эталоном для многих осадочных месторождений различных полезных ископаемых.

Челябинский бассейн содержит угольные пласты сложного строения: с незакономерным изменением мощностей, с расщеплением на отдельные пачки и быстрым выклиниванием. Угленосные отложения с прерывистым расположением залежей располагаются в пределах сложных складчатых зон, осложненных мелкой волнистостью и нарушениями. Вмещающие породы отличаются быстрой изменчивостью, переходами глинистых разностей в песчаные и отсутствием маркирующих горизонтов, роль которых выполняют только сами пласты углей.

Угли представлены двумя разновидностями: с нормальной зольностью (до 30%) и с повышенной зольностью (углистые сланцы, уголь с породой), причем повышенная зольность свойственна краевым частям месторождений. В этих же краевых частях присутствуют пачки углей с нормальной зольностью, поэтому разрабатывать их приходится совместно. Каменноугольные пласты с нормальной зольностью характеризуются также большой изменчивостью по простиранию в отношении зольности и содержания серы.

Все это обусловливает трудность увязки разведочных данных внутри разрезов и между разрезами. Особую сложность создают волнистость, мелкие нарушения и изменчивость качества пластов.

В зависимости от условий залегания для разведки угольных пластов челябинского типа с одинаковым успехом применяется заложение скважин и по разведочным линиям — для построения разрезов вкрест простирания, и по разведочным сеткам — для создания взаимно-перпендикулярных разрезов вкрест наиболее интересных направлений.

Первые поисково-разведочные выработки дают возможность ориентироваться в новом участке по аналогии с уже разведанными. Для предварительной разведки скважины колонкового бурения располагаются по квадратной сети 300×300 либо 400×400 *м* или по разведочным линиям; в последнем случае расстояние между разрезами принимается равным 750—1000 *м*, а между скважинами в разрезах 150—200 *м*. В результате предварительной разведки намечается качество угля в смысле его пригодности для металлургической, энергетической или химической промышленности.

Предварительная разведка позволяет только весьма ориентировочно судить об условиях эксплуатации и особенно о пределах рабочей мощности пластов и границах приконтурной полосы, но в то же время данные этой разведки должны быть достаточны для составления ТЭДа (иначе разведку надо продолжать).

Детальная разведка дает удовлетворительный материал для проекта эксплуатации, так как позволяет установить закономерности изменения пластов по качеству, мощности и строению, достоверно увязать разрезы, а также выявить второстепенную складчатость и смещения по сбросам. Для эксплуатации открытыми работами изучается состав перекрывающих пород, их глубина и условия вскрыши. Гидрогеология изучается с детальностью, необходимой для проектирования водоотлива. Точно устанавливается гипсометрия пластов и составляются планы пластов в изолиниях глубин и мощностей. Эти данные обычно получают с помощью буровых скважин, которые закладывают по разведочным сетям 150×150—200×200 *м* или по линиям, расположенным на расстоянии 250—750 *м* одна от другой, при расстоянии между скважинами на линиях 75—100 *м*.

Приконтурные участки могут быть уточнены в предварительной и детальной стадиях разведки медленно-вращательным бурением или проходкой мелких шурфов.

При разведке некоторых месторождений углей и сланцев часто оказывается невозможным увязать отдельные пачки и прослойки угля и пустых пород в сложных и мощных пластах, несмотря на сильное сгущение сети буровых скважин. Вывод может быть только один: в таких случаях при детальной разведке необходимо применять горные работы.

Применение горных работ может пониматься двояко: можно производить все уточнения в процессе эксплуатационной разведки, а можно проходить горноразведочные выработки в стадии детальной разведки. Решение вопроса должно быть такое: если без большого риска можно спроектировать рудник и начинать эксплуатацию, то целесообразно перенести доразведку пластов на стадию эксплуатационной разведки; в противном случае необходимо поставить горноразведочные работы до эксплуатации. При планировании открытых работ необходимо во всех случаях детальной разведки применять горноразведочные выработки.

Иногда разведка сталкивается с такими сложными месторождениями (например, Егоршинское и др. на восточном склоне Урала, Сучан на Дальнем Востоке), где увязка разрезов без широкого применения горных работ вообще немыслима.

Разведка медистых песчаников Джезказгана

Медные месторождения Джезказганского района приурочены к сундучной складке в отложениях песчано-сланцевой свиты мощностью 200—300 *м*, залегающих на нижнекаменноугольной сланцево-известняковой толще.

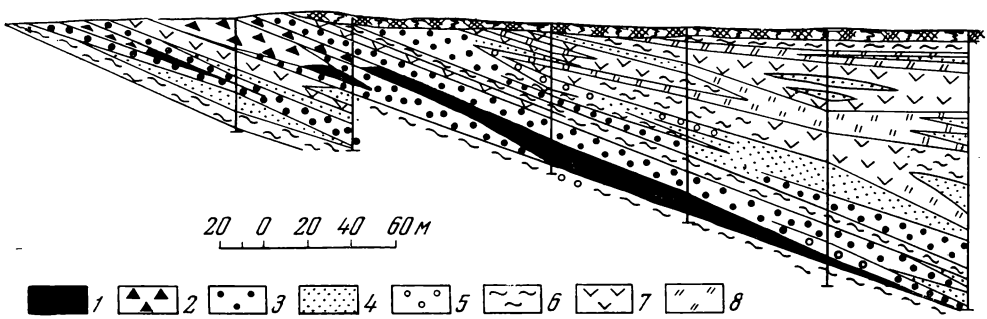


Рис. 78. Разрез одного из участков Джезказганского медного месторождения

1 — руда сульфидная; *2* — руда окисленная; *3* — серые песчаники с вкрапленниками медных минералов; *4* — серые песчаники безрудные; *5* — конгломераты; *6* — красные сланцы; *7*—красные песчаники; *8* — зеленовато-серые сланцы

Рудные залежи представляют собой пластообразные пологопадающие тела с вкрапленным оруденением; залегают они сравнительно неглубоко согласно с вмещающими породами. Наблюдаются все переходы от богатой руды до убогой (рис. 78).

Процессы окисления и вторичного обогащения выражены весьма отчетливо, но границы между зонами расплывчатые и весьма сложные. Зона окисления имеет глубину от 15 до 30 *м*. Мощность зоны вторичного обогащения колеблется от 10 до 70 *м* (подзоны выщелачивания и окисного обогащения не играют существенной роли).

С точки зрения разведочного процесса очень важно, что руда не приурочена к одному горизонту, а часто образует несколько «этажей» (горизонтов), число которых доходит до пяти-шести. Это обстоятельство усложняет разведку: приходится сгущать выработки, пересекающие главную залежь, для оконтуривания параллельных мелких залежей и глубже бурить. На отдельных участках рудных тел Джезказгана проявляется полиметаллическое оруденение, которое также требует выделения и оконтуривания и в свою очередь вызывает необходимость сгущения разведочной сети.

Таким образом, факторами, определяющими методику разведки джезказганских руд, кроме их пластовой формы, являются: многоярусность рудных тел, значительные колебания мощности отдельных тел, изменчивость содержания и разнообразие сортов руд. Изменчивость этих пластообразных залежей значительно выше всех ранее рассмотренных пластовых месторождений; она носит случайный характер, и значение V_C составляет $\sim$ 80%. В таких условиях предварительная разведка с интервалами между линиями в 100 *м*, а между скважинами $\sim$ 60 *м* позволяет дать предварительную оценку месторождения.

При детальной разведке разведочные линии закладывались через 50 *м* с интервалами между скважинами в 30 *м*. Равномерность расположения выработок не строго выдержана, и в среднем на каждую скважину приходится 2300 $м^2$ рудной площади, что можно считать более чем достаточным для данных условий. Частично результаты бурения контролировались глубокими шурфами.

Выяснение горнотехнических условий, весьма благоприятных в Джезказгане, не потребовало дополнительных работ.

Разведка Миргалимсайского полиметаллического месторождения

Месторождение Миргалимсай в Казахстане приурочено к свите известняков среднего палеозоя, пологая складчатость которой осложнена разрывными нарушениями со значительными смещениями в горизонтальном и в вертикальном направлениях. Оруденение наблюдается в пределах одного стратиграфического горизонта «ленточных» известняков. Таким образом, месторождение представляет собой пологую пластовую залежь общей мощностью от 4 до 14 *м*, занимающую площадь в несколько квадратных километров. Рудоносный горизонт и соответственно рудные тела в местах тектонических нарушений обнаруживают различного рода плавные изгибы и смещения.

Внутреннее строение рудного горизонта отличается неравномерностью распределения полезных компонентов, повышенные концентрации которых приурочены к определенным прослойкам и секущим прожилкам. Безрудные прослойки внутри рудоносной пачки достигают мощности 2 *м*, а местами даже 6 *м*. Коэффициент вариации содержания полезных компонентов равен 80—90%.

Вещественный состав руд сравнительно прост. Главным промышленным металлом является свинец, находящийся в рудах в виде галенита. Кроме того, в составе руд встречаются сфалерит, пирит, марказит, халькопирит, аргентит и блеклая руда. Руды бедные. Текстуры их представлены главным образом вкрапленной и мелкослоистой разновидностями. Вследствие этого промышленные контуры рудных тел устанавливаются условно по данным опробования.

Предварительная разведка месторождений проводилась исключительно колонковым бурением по квадратной сети с расстояниями между скважинами от 120 до 160 *м* при местных сгущениях в тектонически усложненных участках до 80—60 *м*.

Для детальной разведки в простых по условиям залегания рудных участках применяется сеть с расстояниями между разведочными скважинами от 50 до 80 *м*, а в участках сложного строения от 20 до 40 *м*. (С точки зрения изменчивости рудного пласта можно было бы ограничиться сеткой 160×$\times$160 *м*. Выявление тектонических условий и других сложных вопросов требует значительного увеличения числа скважин, хотя и не до такой степени, как принято сейчас.) Кроме того, для более детального изучения месторождения, для технологического опробования и разрешения основных горнотехнических вопросов в период детальной разведки задаются шахты, которые предназначаются и для целей эксплуатации. Эксплуатационная разведка базируется уже на системе подземных горных выработок в виде

штреков, проходимых вдоль подошвы или лежачего бока рудного горизонта, с восстающими из этих штреков через 40—50 *м*.

Изучение качества руд производится путем опробования разведочных скважин на всем отрезке пересечения рудных тел; длина отдельных интервалов опробования 1—2 *м*. В горных выработках опробование осуществляется бороздовым способом при средней длине борозды около 2 *м* и поперечном сечении 10×3 *см*.

В процессе разведки выясняются важнейшие горнотехнические вопросы: крепость и устойчивость руд и вмещающих пород (на основе опыта проходки горных выработок), обводненность месторождения (по притокам воды в горные выработки и буровые скважины), а также кусковатость, коэффициент разрыхления и объемный вес руд.

3. КРУПНЫЕ ШТОКВЕРКИ И НЕПРАВИЛЬНЫЕ ПЛАСТООБРАЗНЫЕ ЗАЛЕЖИ (ГРУППА 2)

Особенно характерны для данной группы изометричные и вытянутые штокверки меднопорфировых и молибденовых руд. К этой группе принадлежат большинство оловоносных и вольфрамоносных штокверков и некоторые золотоносные штокверки в изверженных и осадочно-метаморфических породах. Сюда же нужно относить многие крупные контактовые железорудные месторождения типа горы Магнитной и Дашкесана. Наконец, сложные скарновые зоны с равномерным насыщением шеелитом или касситеритом (в том случае, если рудой являются не какие-либо породы в отдельных гнездах, а вся масса скарновой породы) также должны быть отнесены к этой группе, как и огромных размеров меденосные и полиметаллические скарны.

Общая схема разведки штокверков

Основной особенностью выделяемого типа месторождений, резко отличающей его от всего ряда месторождений и предопределяющей специфическую методику разведки, является большая величина залежей. Рассматриваемые месторождения занимают значительную площадь и характеризуются прожилково-вкрапленным оруденением, за исключением железорудных месторождений. Встречаемые в этих месторождениях жилки или гнезда отдельно от всей массы руды в промышленных масштабах извлекаться не могут. Оруденение обычно рассеяно в весьма крепких породах: гранитах, порфирах, кварцитах, скарнах, окварцованных сланцах и песчаниках.

Большие площади рассеянного оруденения как нельзя больше способствуют применению на поисково-разведочном этапе детальной металлометрии: купрометрии, станнометрии, молибденометрии, аурометрии и т. д., т. е. эти месторождения представляют благоприятный объект для поисково-оценочной методики.

С точки зрения применимости той или иной системы разведочных работ рассматриваемая группа месторождений выделяется очень четко. Их крупные размеры и несложные условия залегания вполне допускают использование буровых работ, а своеобразная «пластообразность» и широкое распространение рудной минерализации по площади определяют возможность применения в подавляющем большинстве случаев вертикального бурения. Несмотря на неравномерность распределения минерализации ($50\% < V_C < 120\%$), огромные масштабы оруденения позволяют с помощью бурения выяснять качество и сорта руды с достаточной степенью точности. В этом случае вступает в силу закон больших чисел, так как на подобных месторождениях число скважин часто достигает нескольких сотен, а число химических анализов — десятков тысяч.

Каждая скважина (кроме контурных) на этих месторождениях на весьма значительных интервалах проходится по руде и служит для полноценного опробования и изучения (минералогического, химического и технологичес-

кого) рудного материала. Руда обычно бывает крепкая и нередко трещиноватая. В таких условиях наиболее целесообразным и широко применяемым средством разведки является ударно-канатное бурение наконечниками большого диаметра, обеспечивающее возможность надежного опробования. Но так как из скважины ударно-канатного бурения извлекается только раздробленный материал, менее пригодный для детального количественного минералогического изучения по сравнению с керном, часть скважин целесообразно бурить колонковым способом, особенно в период предварительной разведки.

Однако разведка таких крупных месторождений, требующих для эксплуатации огромных капиталовложений, не может ограничиться одним только бурением. Результаты буровых работ должны проверяться горными выработками (глубокими шурфами, шахтами), пересекающими в нескольких пунктах полную или частичную мощность оруденения.

При проходке шахт отбирается материал для заводских или полузаводских испытаний. Для лабораторных испытаний используется материал из скважин, причем из скважин ударно-канатного бурения можно получить достаточное количество руды даже для полузаводских испытаний.

Буровые скважины располагаются на площади оруденения равномерно, по квадратной сетке, так как они служат главным образом для целей опробования и создания взаимно-перпендикулярных разрезов. В случае выделения какого-либо сорта руд с особенно изменчивым качеством сетка на этом участке сгущается, но форма ее остается квадратной. Теоретически можно себе представить, что в некоторых вытянутых телах изменчивость качества по короткой оси будет большей, чем по длинной. В таком случае допустима прямоугольная сетка с расположением короткой стороны параллельно короткой оси месторождения.

Равномерная разведочная сеть нужна не только для опробования и построения систем взаимно-перпендикулярных разрезов, но и для правильного подсчета запасов и особенно для проектирования открытых работ, требующего возможно более точного выяснения контуров тела. При недостаточной точности контуров в этих огромных месторождениях при эксплуатации открытым способом могут быть оставлены неизвлеченными миллионы тонн руды или, наоборот, извлечены большие массы пустых пород. Поэтому вблизи контура месторождения часто задается серия дополнительных выработок или производится специальное сгущение сети, причем заведомо допускается увеличение числа пустых внеконтурных скважин.

Конечно, на поверхности контур рудного тела обычно достаточно точно устанавливается геофизическими методами и особенно с помощью крупномасштабной геологической (масштаба 1 : 5000) и купрометрической съемок. Но на глубине поверхность, отграничивающая руды от вмещающих пород, часто имеет причудливый характер и требует выяснения бурением.

В связи с применением открытого способа разработки в этих месторождениях должны быть очень внимательно не только изучены, но и разведаны вмещающие породы, существенно влияющие на проектирование и проходку карьера.

Кроме того, на месторождении могут задаваться скважины специального назначения (даже наклонные) для установления нарушений, для уточнения в некоторых участках формы нижней поверхности рудного тела или для определения площади отвалов.

За последние годы найдены и разведаны крупные молибденовые, оловянные, вольфрамовые, золотые штокверки и сравнительно мелкие штокверки многих других полезных ископаемых. Рассмотрим кратко схему их разведки.

Прежде всего на поисково-разведочной стадии проводятся разнообразные геологические, геофизические и разведочные работы на поверхности: геологическая и геофизическая съемки, металлометрия, широкое вскрытие выходов и др. При этом сетью мелких выработок 20×20 *м* (иногда 10×10 *м*)

покрывается вся площадь минерализации. Не следует экономить на этих важнейших работах: в будущем все затраты безусловно окупятся. Разумеется, выработки и обнажения широко используются для всевозможных наблюдений и измерений. После полного оформления результатов поисково-разведочных работ, включая составление геологической карты в масштабе 1 : 5000 (реже 1 : 2000), проходятся три-пять колонковых скважин для установления общей картины вторичной зональности и глубины предположительно промышленного оруденения.

На этой стадии легко установить форму штокверка на поверхности (изометрическая или вытянутая). Кроме того, при поисково-разведочных работах нередко можно выявить роль тех или иных изменений боковых пород, а иногда также отчетливость или «размазанность» некоторых границ оруденения. Выделение стадии поисково-разведочных работ для штокверков обязательно хотя бы потому, что предварительная их разведка требует больших материальных средств, затраты которых нужно убедительно обосновать.

К началу предварительной разведки обычно уже имеется геологическая карта масштаба 1 : 5000 или 1 : 2000, составленная на основе металлометрических работ, имеется представление о вторичной зональности месторождения. В стадии предварительной разведки нетрудно выяснить морфологию месторождения, в частности доказать изометрическую или трубчатую его форму, а для вытянутых штокверков установить крутое или пологое их падение. Наряду с формой легко выявить глубину распространения и границы рудного тела. Качество руд в процессе предварительной разведки определяется только в виде средней цифры, без детализации по сортам. Все это говорит о целесообразности применения на этом этапе колонкового бурения.

Для определения среднего качества руд можно в качестве исходного положения принять малую выборку Стьюдента, предусматривающую 20—30 скважин. Но такое количество скважин не обеспечит выяснения некоторых структурных вопросов, определения глубины и хотя бы ориентировочной границы месторождения. Поэтому для предварительной разведки месторождений с непрерывным оруденением практически нужно применять 30—40 скважин, а с прерывистым 50—80 скважин.

Исследованиями, проведенными в ВИМСе, установлено, что в предварительной разведке штокверковых месторождений целесообразно опираться на разрезы, причем при изометричных штокверках (Коунрад) число разрезов одного направления (например, поперечных) должно быть 4—6 (и столько же продольных, построенных по тем же скважинам), а при вытянутых (Бощекуль) 8—10; каждый разрез должен строиться не менее чем по трем-четырем рудным скважинам и двум законтурным.

Несмотря на большие затраты, такая организация предварительной разведки оправдает себя, так как позволит обосновать оценку месторождения и составить ТЭД.

Детальная разведка в зависимости от сложности и размеров штокверка выражается в проходке сети выработок плотностью 100×100 или 50×50 *м*. При разведке вытянутых штокверков количество выработок в линии должно быть не менее четырех (из них две законтурные). Расстояния между линиями определяются из расчета от 2 до 8 линий на 1 *пог.км* в зависимости от сложности штокверка. Оконтуривание всех сортов руд переносится на стадию эксплуатационной разведки. Приконтурное сгущение скважин с учетом конкретных условий обязательно для детальной разведки. Для контроля бурения и взятия больших технологических проб задаются глубокие шурфы в количестве, примерно равном корню квадратному из числа скважин.

Поскольку детально разведанные запасы руд (категории А+В) должны обеспечивать деятельность горного предприятия на 3—5 лет, целесообразно бурить скважины до расчетного горизонта, а с него уже постепенно, по мере достижения карьером этой глубины, развивать разведку следующе-

го «этажа». Конечно, контрольные шурфы нужно проходить только на глубину расчетного «этажа». Практически применяется проходка двух этажей (глубиной до 200—300 *м* и до 400—500 *м*); второй этаж детально разведывается со дна карьера первого этажа. При планировании «этажей» необходимо строго учитывать вторичную зональность, состав и технологию минералов вторичных зон. В связи с широким применением открытых работ следует тщательно разведывать все захватываемые карьером породы и изучать их водоносность.

Разведка медного месторождения Коунрад

Коунрадское медное месторождение, представляющее собой штокверковое тело бедных вкрапленных и мелкопрожилковых руд, залегает в интрузивных сильно измененных породах. Участок месторождения сложен кварцитами, развившимися по гранодиорит-порфирам в центральной части месторождения и по эффузивам на периферии. Оруденение проявляется не только в кварците по гранодиорит-порфирам, но и в кварцитизированных эффузивах приконтурной полосы. В пределах рудоносного массива выделяются участки различной концентрации рудного вещества, наиболее богатые в западной и северо-восточной частях.

В плане штокверк имеет овальную, в общем почти изометрическую форму. В вертикальном направлении выделяются пять зон, характеризующихся различным качеством руд:

1) зона выщелачивания глубиной от 0,5 до 80 *м*;
2) зона окисления мощностью от 0,5 до 60 *м*;
3) зона смешанных руд мощностью от 0 до 50 *м*;
4) зона вторичного сульфидного обогащения мощностью от 10 до 270 *м*;
5) зона первичных сульфидных руд, глубина которой еще не установлена.

Границы между этими зонами прихотливы и прерывисты, что создает довольно пеструю картину распределения различных типов и сортов руд в вертикальных разрезах.

Вещественный состав руд Коунрадского месторождения сравнительно прост. Кроме меди, на отдельных участках промышленное значение имеет молибден. Но минералогически породы местрождения характеризуются большим разнообразием, определяющим расчленение месторождения по приведенным выше вторичным зонам: в зоне окисления преобладают карбонаты и силикаты меди, в зоне вторичного обогащения — халькозин, в зоне первичных руд — пирит и халькопирит.

Распределение полезных компонентов в рудах неравномерное и весьма неравномерное, обусловленное беспорядочным расположением рудных прожилков и вкрапленности в рудоносных породах. По различным горизонтам коэффициент вариации содержания меди колеблется от 60 до 125%.

Одновременно с геологической съемкой участка месторождения в 1929—1931 гг. проводилась купрометрическая съемка площади штокверка (М. П. Русаков), позволившая приближенно, по данным выходов, оценить промышленное значение месторождения.

Разведочные работы состояли в основном в бурении вертикальных скважин с тщательным опробованием и попутным изучением минерального состава, физико-механических свойств руд и гидрогеологических особенностей месторождения. Небольшой объем горных работ (неглубокие разведочные выработки) предназначался для контроля данных бурения и для получения валовых проб с целью технологических испытаний руд, а также для решения ряда горнотехнических вопросов.

Первоначальная неправильная разведочная сеть колонковых скважин имела плотность в среднем 100×100 *м*. Затем для разведки зоны окисления сеть была сгущена до 24×24 *м* (рис. 79). Кроме того, при добыче в карьере выполнялось эксплуатационное опробование всех взрывных мелких сква-

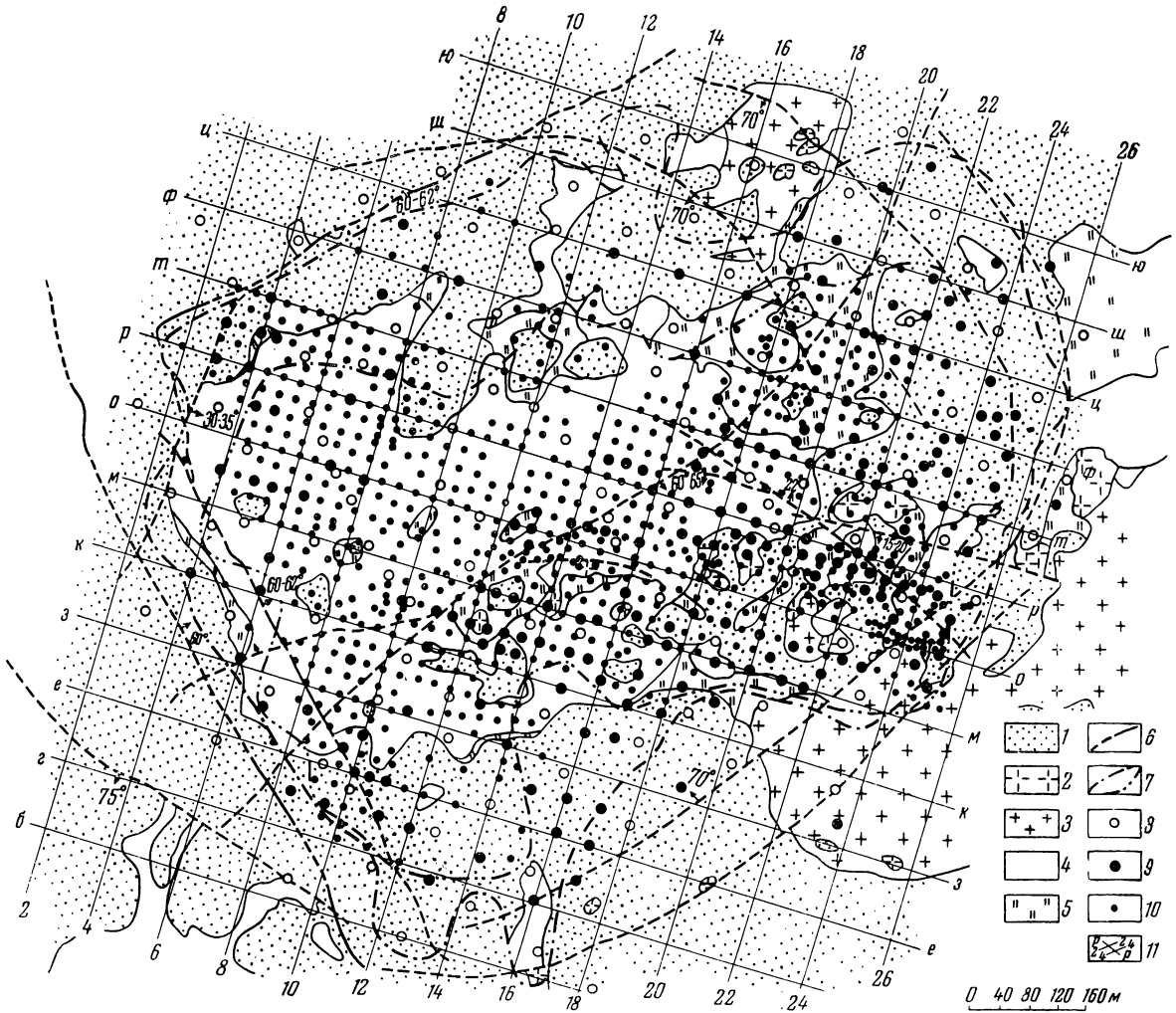


Рис. 79. План разведки отработанной части Коунрадского месторождения

1 — вторичные кварциты по эффузивам; *2* — неизмененные гранодиорит-порфиры и кварцевые диорит-порфиры; *3* — каолинизированные гранодиорит-порфиры и кварцевые диорит-порфиры; *4* — вторичные кварциты по гранодиорит-порфирам; *5* — интенсивно каолинизированные вторичные кварциты; *6* — дизъюнктивные нарушения; *7* — контуры распространения халькозиновых и окисленных руд; *8* — скважины колонкового бурения 1929—1934 гг.; *9* — скважины бурения 1938—1939 гг., пройденные глубже горизонта 620 *м*; *10* — мелкие скважины, остановленные выше горизонта 620 *м*; *11* — линии разрезов

жин ударного бурения, расположенных на расстоянии 3—5 *м* друг от друга. Зона вторичного сульфидного обогащения разведывалась более глубокими скважинами опять-таки ударного бурения, но по разреженной сетке: 48×48 *м*. Зона первичных руд была освещена небольшим количеством глубоких буровых скважин, неравномерно расположенных по площади месторождения.

В результате анализа разведочных данных было установлено, что 48-метровая сетка оконтуривает участки промышленного оруденения в отношении запасов с точностью ± 20%, 24-метровая сетка — с точностью ±10—20%. При этом, если учесть значительные ошибки опробования бедных коунрадских руд (до ±8,5%), то окажется, что общая достоверность разведочных данных, несмотря на густую сеть разведочных скважин, невелика. Следствием этого является необходимость эксплуатационной разведки, которая и осуществлялась путем опробования взрывных скважин, проходимых по весьма густой сети на уступах эксплуатационного карьера. В итоге сравнение некоторых данных разведки с данными эксплуатации показало, что при разведке, предшествующей эксплуатации, нет необходимости особенно сгущать разведочную сеть, так как даже 24-метровая сетка не обеспечивает достаточно достоверного выяснения контуров промышленных участков и содержания полезных компонентов. Необходимые уточнения целесообразно производить в процессе разработки месторождения, по данным эксплуатационных скважин, не затрачивая излишних средств в период, предшествующий эксплуатации.

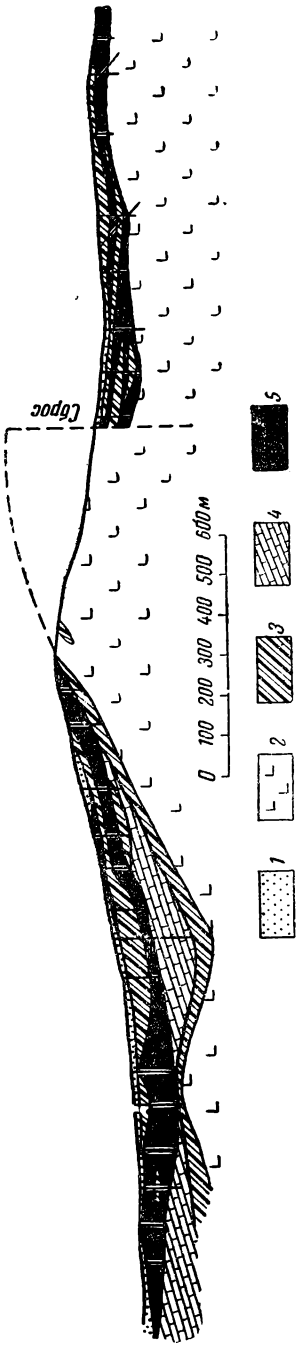


Рис. 80. Разрез месторождения горы Магнитной

1 — наносы; *2* — атачит и порфирит; *3* — скарновые породы; *4* — мрамор; *5* — руда

Разведка железорудного месторождения горы Магнитной

Месторождение горы Магнитной (рис. 80), условно отнесенное к этой же группе, было разбурено в 20-х годах текущего столетия вертикальными колонковыми скважинами по сравнительно неправильной сети плотностью 15 тыс. $м^2$ на каждую скважину. В 1931 г. была пройдена новая разведочная сеть плотностью 10—12 тыс. $м^2$ на скважину. По опыту разведки горы Магнитной можно представить нормальную схему разведочных операций на подобных месторождениях.

Поисково-разведочная стадия работ состоит в детальной магнитометрической и феррометрической съемках (с поверхностными земляными работами), которые дают возможность достаточно точно определить контуры рудного тела, изучить процесс рудоотложения и сорта руд и создать крупномасштабную геологическую карту (1 : 5000, 1 : 2000). Предварительная разведка при помощи серии скважин колонкового бурения позволяет ориентировочно установить среднее качество руд

и наметить глубину распространения промышленных руд, что необходимо для учета валовых запасов и выяснения изменчивости (или постоянства) качества руд на глубину. В частности, по этим скважинам устанавливается глубина первичной зоны, где руды содержат повышенное количество вредных примесей (серы, меди). Эти первые скважины должны быть заложены с учетом последующей правильной квадратной сетки. Одновременно разведываются и вмещающие породы, которые будут захвачены карьером. После этого производится оценка месторождения.

Для детальной разведки можно считать нормальной квадратную сеть скважин колонкового или ударного бурения с интервалом 100 *м*. Контроль бурения горными выработками обязателен. При проходке шахт необходимо выделять сорта руд — фосфористые, сернистые, чистые и пр.— для производства заводских испытаний каждого сорта и их сочетаний. Большое количество разведочных шахт позволяет разредить буровую сеть.

Горно-эксплуатационный и технологический процессы переработки руд на описываемом месторождении были построены таким образом, что детализация качества руд и сортов, установленных ранее, производилась попутно с эксплуатацией, несколько ее опережая, т. е. в стадии эксплуатационной разведки. Но к такому порядку изучения качества руд следует подходить чрезвычайно осмотрительно, так как капиталовложения в строительство объектов, подобных Магнитогорскому комбинату, весьма велики; желательно всегда определять качество руд заблаговременно.

4. ЖИЛООБРАЗНЫЕ И ЛИНЗООБРАЗНЫЕ ТЕЛА И ЖИЛЬНЫЕ ЗОНЫ (ГРУППА 3)

Эта форма месторождений наряду с пластовой имеет наибольшее распространение в природе. В морфологическом отношении все месторождения данной группы сравнительно близки друг к другу, хотя в классификации структур эндогенных месторождений приходится выделять различные типы жил и жильных зон.

Выбор системы разведочных работ в подавляющем большинстве месторождений определяется в первую очередь изменчивостью самой рудной массы, характерной для тех или иных групп металлов. Большое значение имеют также величина жил по всем трем измерениям и их послерудная нарушенность.

Рассматриваемая группа месторождений (за исключением месторождений черных металлов) подразделяется на подгруппы по принципу изменчивости мощностей и содержания, характеризуемой коэффициентом вариации; основную роль играют вариации содержания.

В обычном случае $V \approx 80$ характеризует жилы цветных металлов, $V \approx 130$ — жилы редких и благородных металлов, и, наконец, $V \approx 200$ (по существу плохо поддающийся учету) — очень мелкие и крайне нарушенные жилы тех же металлов. Конечно, между всеми этими жилами имеются непрерывные переходы.

По размерам можно выделить следующие группы жил: крупные — протяжением 500—1000 *м* и более, средние — порядка первых сотен метров и мелкие — 100 *м* и меньше.

Если рассматривать жильные тела с точки зрения формы, качества (изменчивость содержания и сортов), условий залегания и горнотехнических условий эксплуатации, то картина окажется весьма сложной. Прежде всего по форме выделяются не только одиночные жилы и жильные зоны, но и различные виды жильных зон: сколовая, «раздробленная», сетчатая, рассланцованная и др. Кроме того, наряду с редкими правильными жилами, представляющими собой «плиту», наблюдаются всевозможные расщепления, ветвления, прожилки, апофизы, систематические пережимы, т. е. всевозможные переходы от простой формы к весьма сложной.

Что касается внутреннего распределения полезных и вредных компонентов, то и здесь отмечается необычайная пестрота. Жилам железа, титаномагнетитов, хромшпинелидов и некоторым медно-никелевым свойственно почти равномерное распределение минерализации. Но в жилах цветных и редких металлов, а также золота встречается столбовое, линзообразное, кустовое и иные виды сложного распределения.

То же можно сказать и о сортах жильных полезных ископаемых: для одних жил разнообразие сортов — явление редкое, и известно много случаев (особенно для золота), когда имеется только один сорт (не считая зоны окисления); в то же время на других жильных месторождениях выделяются различные сорта и по содержанию полезного компонента и по технологическим свойствам.

Что касается условий залегания жил, то обычно они имеют крутое падение. Но необходимо учитывать два весьма важных для разведки момента: нарушенность послерудными тектоническими движениями и склонение. В простых случаях нарушений каждый отдельный оторванный блок приходится разведывать самостоятельно. Но сложные нарушения (Садонское месторождение) совершенно меняют систему работ и делают почти неприменимой, например, разведку бурением с поверхности.

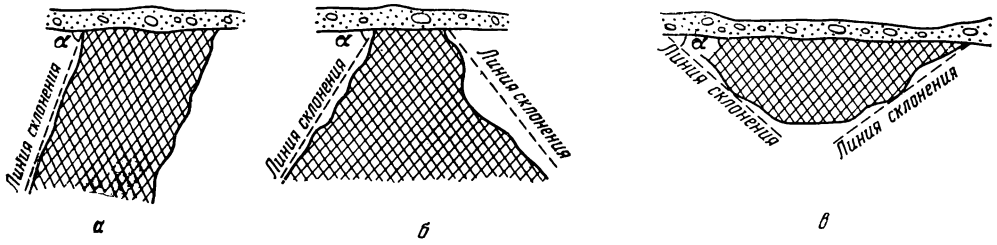


Рис. 81. Виды склонения рудных жил (проекции на вертикальную плоскость)
а — параллельное; *б* — «трапецеидальное»; *в* —«треугольниковое».

Особенно важное значение имеет склонение жилы, т. е. угол α, образованный линией выклинивания жилы с линией ее простирания (рис. 81). Очень часто этот угол не учитывается, в то время как нередко он имеет решающее значение: скважина, заложенная на поверхности даже в центре рудного тела, но без учета склонения жилы, может пройти ниже линии склонения. Особенно резко склонение проявляется в линзообразных телах (например, в уральских колчеданах), где его обычно называют скатыванием.

Линия склонения сравнительно редко бывает прямой, обычно это весьма сложная кривая.

Нормальным случаем надо считать параллельность линий склонения с обеих сторон жилы (см. рис. 81, *а*), но встречается склонение «трапецеидальное» и «треугольниковое» (см. рис. 81, *б*, *в*). Иногда целые жильные зоны имеют определенное склонение, как, например, на Ононском месторождении или на месторождении им. XXII годовщины Октября.

Простирание жилы выясняется при разведке быстро и просто. Определение угла падения часто вызывает значительные трудности, так как он нередко меняется с глубиной (вплоть до обратного падения жилы). В обычном случае поверхностными работами намечается угол падения, а первые же глубокие выработки (глубокие шурфы, скважины) его уточняют.

Склонение определить значительно труднее; нередко нужно провести штрек до границы жилы по простиранию не только на одном горизонте, но на двух-трех, чтобы выяснить средний угол склонения жилы.

При определении склонения путем бурения более целесообразно располагать скважины по линиям «в затылок», а не в шахматном порядке. Вообще бурение «в затылок» дает бóльшие возможности для построения хороших разрезов и поэтому чаще применимо, чем проходка скважин в шахматном порядке.

При разведке жильных месторождений часто скважина не пересекает жилу в намеченном пункте. Причины могут быть разные: пережим, выклинивание, неблагоприятное склонение и изменение угла падения. Предельная глубина бурения в этом случае определяется геологическими условиями (пройден контакт, скважина врезалась в породы лежачего бока, пересекла измененные боковые породы); при отсутствии этих данных скважину рекомендуется бурить до пересечения вертикали, опущенной вниз от нижней известной точки жилы (рис. 82), если угол падения жилы в разведанной ее части не менялся. Устойчивость вмещающих пород, водоносность и другие горнотехнические условия выясняются попутно и, следовательно, не требуют специальных затрат.

Таковы общие предпосылки для разведки жильных месторождений. Но в начальные моменты разведки, после поисково-разведочных работ, нередко бывает очень трудно выбрать наиболее рациональную разведочную схему. Возникает вопрос, нужно ли сразу закладывать шахту (или штольню), или же целесообразно сначала произвести разведку бурением.

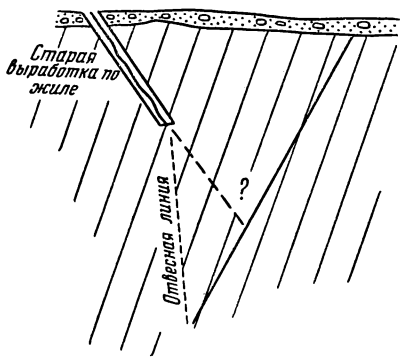


Рис. 82. Схема бурения разведочной скважины «до вертикали»

Для решения этого вопроса в некоторых случаях, если геологических данных, как и аналогий, недостаточно, целесообразно привлечь метод вариационной статистики. Длина жил в обычном случае выражается в первых сотнях метров. Поисково-разведочные канавы пересекают выход жилы вкрест простирания или, как это имеет место при разведке многих маломощных жил благородных и редких металлов, вскрывают их по всему простиранию. Какие бы выработки ни были пройдены, число замеров мощности и химических анализов выражается по меньшей мере в десятках. На основании этих данных с учетом оценки выходов можно вычислить коэффициент вариации. Если коэффициент вариации превышает 80—100%, то необходимо начинать разведку горными работами и уже по результатам этих работ выбирать дальнейшую схему разведки.

При интерпретации проб необходимо учитывать все данные, касающиеся оценки выходов с качественной и морфологической стороны.) Во всяком случае, для тех металлов, для которых особенно важно принятие правильного решения в начальный момент разведки, как, например, олово, свинец, вольфрам, молибден, сурьма, ртуть, серебро, золото, миграция элемента в зоне окисления не сказывается или сказывается слабо). В процессе проведения поверхностных работ надо обращать особое внимание на следы послерудных нарушений жилы. Все эти обстоятельства необходимо тщательно взвешивать при выборе системы работ для стадии предварительной разведки, причем все усложнения всегда способствуют склонению чашки весов в сторону горных работ.

Решение этого вопроса в начальной стадии особенно важно потому, что в результате неправильно проведенной предварительной разведки может быть дискредитировано или совсем забраковано ценное месторождение. В лучшем случае скважины не дадут ответа на вопрос о промышленной ценности месторождения и потребуется повторная разведка. Можно привести много примеров, когда месторождение было забраковано по данным бурения, а горные работы «сделали» месторождение промышленным (месторождения Каразаргинское, Ивановское и др. в Восточном Забайкалье). Известны также многочисленные случаи, когда запасы металлов в месторождениях резко завышались по данным бурения (Заряновское и многие другие).

Некоторые жилы неметаллов, например жилы слюд, разведываются исключительно горными работами.

Месторождения жильного типа, чрезвычайно разнообразные и изменчивые по форме и качеству, требуют применения намного более сложных разведочных систем и большей густоты разведочных выработок по сравнению с пластовыми месторождениями. В то же время ряд медных, медно-никелевых жильных месторождений с точки зрения формы и содержания полезных компонентов отличаются такой слабой изменчивостью, что для их разведки оказывается достаточной очень редкая сеть выработок.

Разведка колчеданных месторождений Урала

В пределах зеленокаменной полосы Урала выявлены и разведаны многочисленные медноколчеданные месторождения. На Среднем Урале они представлены сотнями линзообразных тел сплошных и вкрапленных руд длиной по простиранию и падению от десятков до нескольких сотен метров при мощности от единиц до десятков метров. Подавляющее большинство их разведано с помощью колонкового бурения, по результатам которого строилась серия вертикальных разрезов. Наиболее часто расстояние между разрезами и скважинами в разрезах при детальной разведке принималось равным 50 *м* с местными сгущениями до 25 *м* (Заводское, Шайтанское). Но даже при такой большой плотности скважин разведанность запасов большинства рудных тел может быть квалифицирована по категории C_1 и только наиболее крупных и выдержанных тел — по категории В.

Таким образом, несмотря на значительные средства, затраченные на разведку многих месторождений Среднего Урала, разведанность их сравнительно низкая. На ряде месторождений целесообразнее было бы значительную часть буровых работ заменить горными, по крайней мере в период детальной разведки; это способствовало бы повышению эффективности разведочных работ и дало бы возможность вовлечь в эксплуатацию месторождения даже с небольшими запасами.

Несколько месторождений Среднего Урала (Дегтярское, Ворошиловское и др.) представлены единичными, весьма выдержанными по простиранию и падению жилообразными телами, разведка которых осуществляется значительно более редкой сетью выработок.

Колчеданные месторождения Южного Урала (Сибай, Учалы и др.) характеризуются наличием рудных залежей неправильной, реже линзообразной формы, имеющих значительные размеры по простиранию, падению и мощности. Разведка их осуществляется с помощью колонкового бурения, по результатам которого строится серия вертикальных разрезов. Для разведки запасов по категории В оказывается вполне достаточной сеть скважин густотой $50 \times 50 \div 60$ *м*, а по категории C_1 — $100 \times 100 \div 120$ *м*.

В качестве примеров рассмотрим схемы разведки двух месторождений Среднего Урала, одно из которых представлено серией линзообразных тел, а другое—несколькими жилообразными телами.

Месторождение, представленное серией линзообразных тел, приурочено к полосе кварцево-хлорито-серицитовых сланцев и порфироидов, залегающих среди метаморфизованных эффузивов и их туфов (альбитофиры, агломератовые туфы, в меньшей мере плагиоклазовые порфириты). Рудоносная сланцевая полоса прослежена на протяжении свыше 3 *км* при ширине 50—200 *м*. В пределах этой полосы, помимо рассматриваемого месторождения, выявлено еще четыре рудопроявления.

На месторождении установлено 114 линзообразных тел сплошных и вкрапленных руд, залегающих согласно с вмещающими сланцами (простирание меридиональное, падение на восток под углом 50—60°). Длина рудных тел по простиранию 50—490 *м*, по падению 25—340 *м*, мошность 1—56 *м*. Все рудные тела слепые и появляются только на глубине 60—100 *м* от поверхности. Месторождение разведано до глубины 400—450 *м* путем

построения субширотных вертикальных разрезов по данным наклонных буровых скважин (рис. 83). Расстояние между разрезами 50 *м*, между скважинами в разрезах — 50 *м* с небольшими отклонениями. Всего на месторождении пройдено 403 скважины общим объемом свыше 120 тыс. *м*. По данным разведки подсчитаны запасы меди, цинка и серного колчедана по категориям В (10%), C_1 (40%) и C_2 (50%).

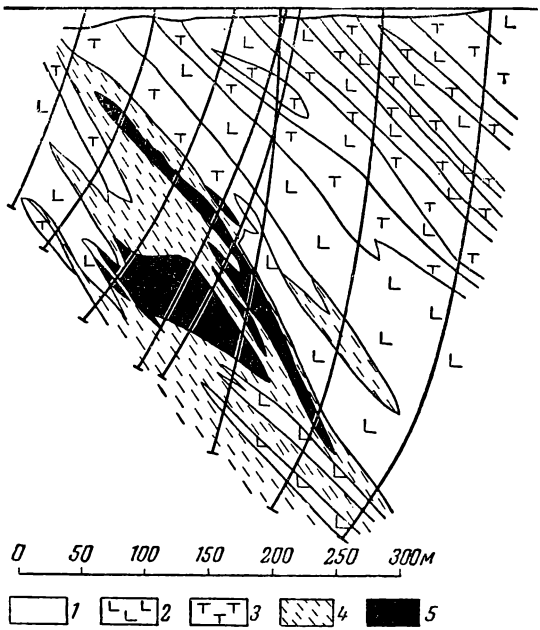


Рис. 83. Геологический разрез через месторождение, представленное серией линзообразных рудных тел (по А. Г. Белову)

1 — современные отложения; *2* — альбитофиры, кварцевые альбитофиры, порфириты; *3* — агломератные туфы; *4* — кварцево-хлорито-серицитовые сланцы; *5* — сплошные и вкрапленные руды

Второе месторождение, представленное несколькими жилообразными рудными телами, приурочено к свите плагиоклазовых и уралитово-плагиоклазовых порфиритоидов, туфов и туфопесчаников.

Главным рудным телом является Западная залежь, содержащая 80% запасов медных руд. Она залегает в зоне серицитовых сланцев или на контакте их с хлоритовыми сланцами в общем согласно с вмещающими породами, падая на восток под углом 50—60°. Длина рудного тела на различных горизонтах (до глубины 800 *м*) колеблется от 600 до 1300 *м*. Мощность меняется от долей метра на флангах до 30 *м* в центральной части.

Параллельно Западной залежи расположены другие, менее значительные линзы и жилы.

Руда представлена массивным колчеданом, часто обладает полосчатой текстурой. В ее составе, кроме меди, в промышленных количествах присутствуют цинк, золото и серебро. Распределение полезных компонентов в руде неравномерное, но медная минерализация наблюдается непрерывно в пределах колчеданных залежей.

Месторождение разведывается системой буровых скважин с последующей проходкой горных выработок (рис. 84). Последние одновременно служат целям подготовки соответствующих частей месторождения к эксплуатации. Буровые скважины закладываются как с поверхности, так и из горных выработок и предназначаются для разведки тех горизонтов месторождения, которых еще не достигли горные выработки. Расстояния между разведочными линиями вначале составляют 120—180 *м*, а затем уменьшаются на участках разведки параллельных рудных залежей до 40—50 *м*. Одновременно с проходкой скважин на верхних горизонтах от шахты проводятся штреки по руде, а из них через 30—50 *м* задаются рассечки для вскрытия полной мощности рудного тела на каждом горизонте.

Разведочное опробование осуществляется способом «кусковой» (пунктирной) борозды в горных выработках, а также по керну буровых скважин. Интервал опробования зависит от мощности рудного тела, но не превышает 2 *м*.

Пробы отбираются: 1) через каждые 3 *м* в горных выработках, заложенных по простиранию рудного тела, и 2) непрерывной секционной бороздой по одной из стенок выработки, пересекающей рудное тело.

Изучение горнотехнических условий эксплуатации производится в основном в период проходки горных выработок, хотя некоторые гидрогеологические вопросы разрешаются и раньше, при бурении разведочных скважин.

Учитывая, что описываемое месторождение принадлежит к числу многих однотипных колчеданных месторождений Урала, при решении гео-

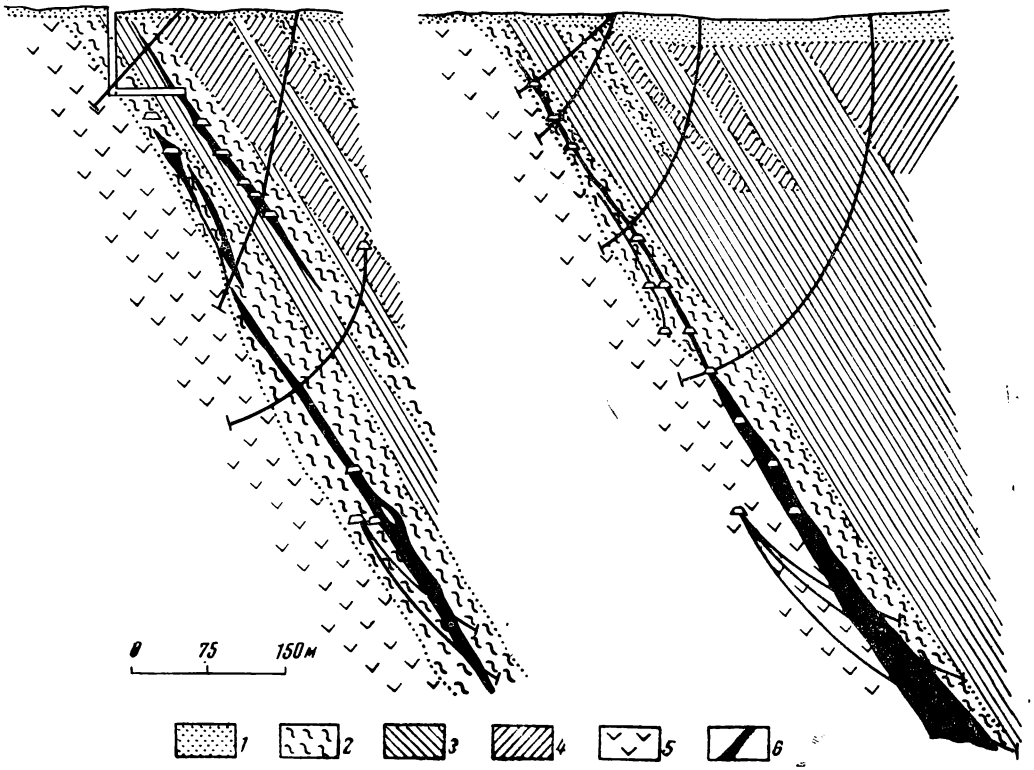


Рис. 84. Схема разведки медноколчеданного месторождения, представленного несколькими жилообразными залежами (по материалам ГРП)

1 — наносы; *2* — кварцево-серицитовые и кварцево-хлорито-серицитовые сланцы; *3* — кварцево-хлоритовые, эпидото-хлоритовые сланцы, частично порфиритоиды; *4* — кремнистые и хлорито-глинистые сланцы; *5* — зеленокаменные породы; *6* — медистый колчедан

логических и горнотехнических вопросов в процессе разведки широко используется метод аналогий.

При разведке уральских и алтайских (Иртышской зоны смятия) месторождений целесообразно предварительную разведку осуществлять колонковым бурением, а детальную — в виде разведочно-эксплуатационных работ.

Разведка Згидского свинцово-цинкового месторождения

Згидское месторождение может быть отнесено к числу крупных жильных зон, так как оно обладает общей протяженностью около 3 *км* и прослеживается на глубину 800 *м* по вертикали. Резко расчлененный рельеф местности, характеризующийся колебаниями абсолютных отметок от 1739 до 2413 *м*, обусловливает и значительный размах между нижним обнажением рудной зоны у реки и верхними ее частями на склоне водораздела (около 600 *м*).

Месторождение залегает в гранитоидах Садоно-Мизурского массива, перекрытого в северо-восточной части рудного поля покровами альбитофиров и порфиритов. Жилы, слагающие месторождение, имеют крутое падение (75—90°) и склоняются в юго-западном направлении. Зона в целом и отдель-

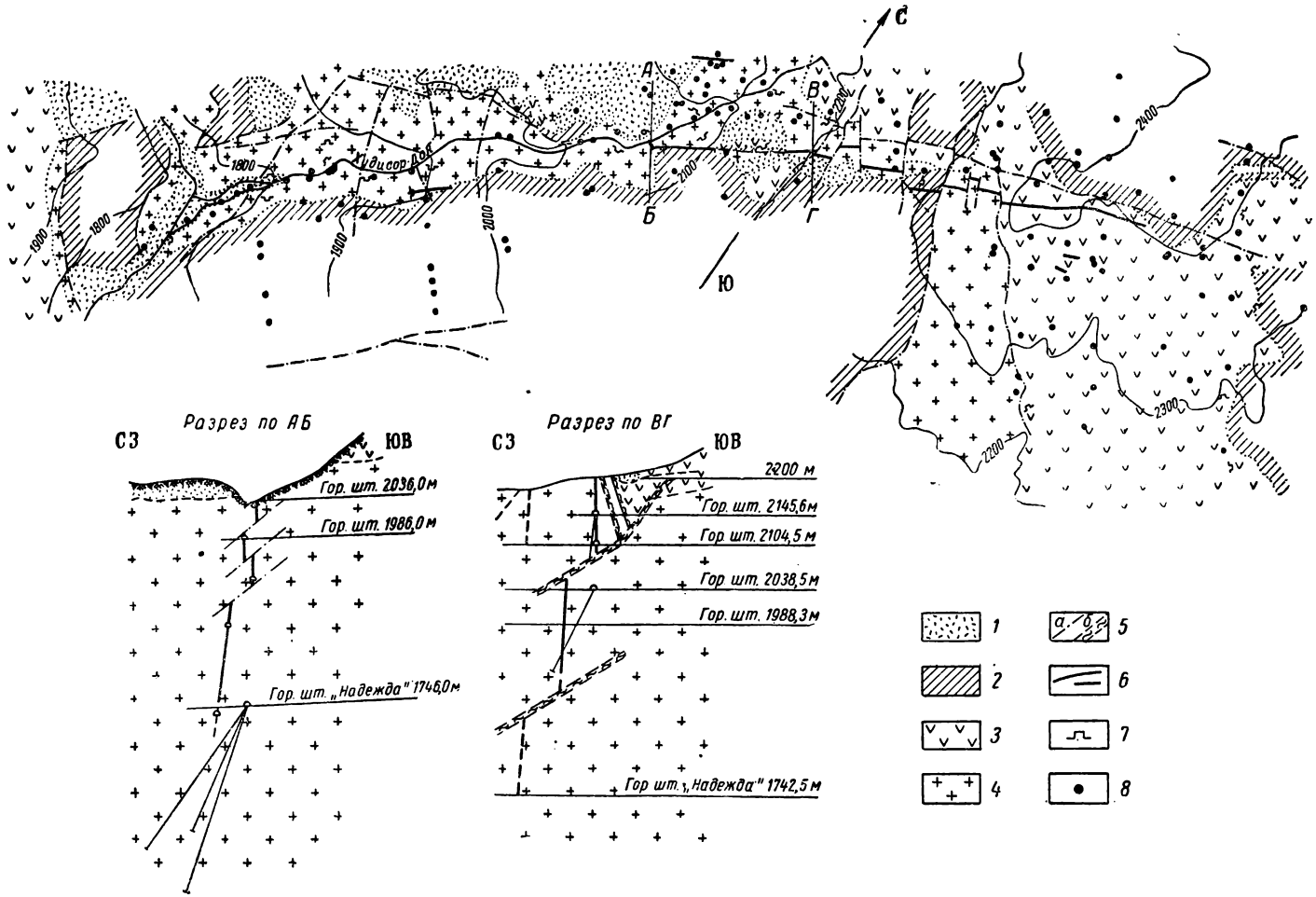


Рис. 85. Схематический план и разрезы участка Згидского свинцово-цинкового месторождения (по материалам ГРП)

1 — аллювиально-делювиальные и моренные отложения; *2* —сланцы; *3* — покровные кератофиры и туффиты; *4* — граниты; *5* — тектонические нарушения (*а* — прослеженные, *б* — предполагаемые); *6* — рудные жилы; *7* — устья штолен; *8* — буровые скважины

ные рудные жилы расчленены сравнительно пологими нарушениями, и отдельные их части смещены относительно друг друга на десятки метров (рис. 85).

Вещественный состав руд Згидского месторождения довольно однообразен, но в то же время сложен. Повсеместно в составе рудных жил наблюдаются: сфалерит нескольких разновидностей, галенит, пирит, халькопирит, тетраэдрит, магнетит. Иногда встречаются пирротин, арсенопирит, молибденит. В качестве жильных минералов присутствуют: кварц (главный), кальцит, манганосидерит, серицит и хлорит. Руды Згидского месторождения характеризуются неравномерным и весьма неравномерным распределением главных промышленных минералов — галенита и сфалерита.

Методика разведки Згидского месторождения определялась следующими основными его чертами: формой и элементами залегания рудных жил, рельефом поверхности, интенсивной изменчивостью внутреннего строения рудных жил и послерудными нарушениями.

Прихотливые формы рудных жил, осложненных послерудными тектоническими нарушениями, и весьма неравномерное распределение полезных компонентов заставили выбрать в качестве основного средства разведки подземные горные выработки. Благоприятный рельеф позволил сделать основной упор на штольни, задаваемые по простиранию рудных жил. Благодаря этому удалось на нескольких горизонтах проследить рудную зону на большом протяжении и тем самым вскрыть значительную часть месторождения, погребенного под эффузивами в северо-восточной части. Расстояния между разведочными горизонтами по вертикали составляли 40—50 *м*.

Значительная нарушенность рудной зоны затрудняла увязку отдельных жил между горизонтами и экстраполяцию их за пределы горных выработок. Поэтому пришлось проходить из штолен рассечки вкрест простирания рудной зоны и задавать структурно-поисковые буровые скважины. Однако последние не всегда освещали картину внутреннего строения рудной зоны, а разведочное их значение вследствие ненадежности интерполяции данных между скважинами оказалось ничтожным. Тем не менее с 1952 г. месторождение без достаточных оснований подверглось разбуриванию с поверхности и из подземных выработок по профилям, расположенным примерно в 50 *м* друг от друга, с расчетом подсечения рудной зоны скважинами в точках, удаленных одна от другой на 100 *м* по вертикали.

Сложное строение рудной зоны обусловило малую эффективность буровой разведки, как это часто бывает с жилами полиметаллов. К тому же многие скважины были ориентированы в сторону, противоположную падению рудной зоны. Таким образом, буровые работы при разведке месторождения имели лишь некоторое вспомогательное значение и могли бы быть проведены в гораздо меньшем объеме.

Следует отметить, что последние годы ознаменовались неоправданно широким применением бурения для тех объектов, где бурение имеет только вспомогательное значение.

Разведка Хрустального оловорудного месторождения

Месторождение Хрустальное представлено серией крутопадающих оловоносных рудных жил (рис. 86). Оно расположено в западном крыле антиклинали, сложенной интенсивно дислоцированными свитами терригенных отложений: песчаников, алевролитов, сланцев. В пределах зоны нарушений шириной около 1,5 *км*, протягивающейся в меридиональном направлении, отмечаются многочисленные трещины сколового характера, использованные кварцево-касситеритовыми и сульфидно-касситеритовыми жилами, дорудными и послерудными дайками порфиритов.

Рудные жилы обычно более или менее выдержаны по простиранию и падению, хотя послерудные нарушения местами затрудняют их прослеживание. Морфологические особенности каждой рудовмещающей трещины

и история формирования рудных жил обусловили их сложное внутреннее строение. Многократные приоткрывания рудовмещающих полостей определили наложение нескольких минеральных комплексов, которые местами оказались разобщенными. Так, кварцево-касситеритовый комплекс в боль-

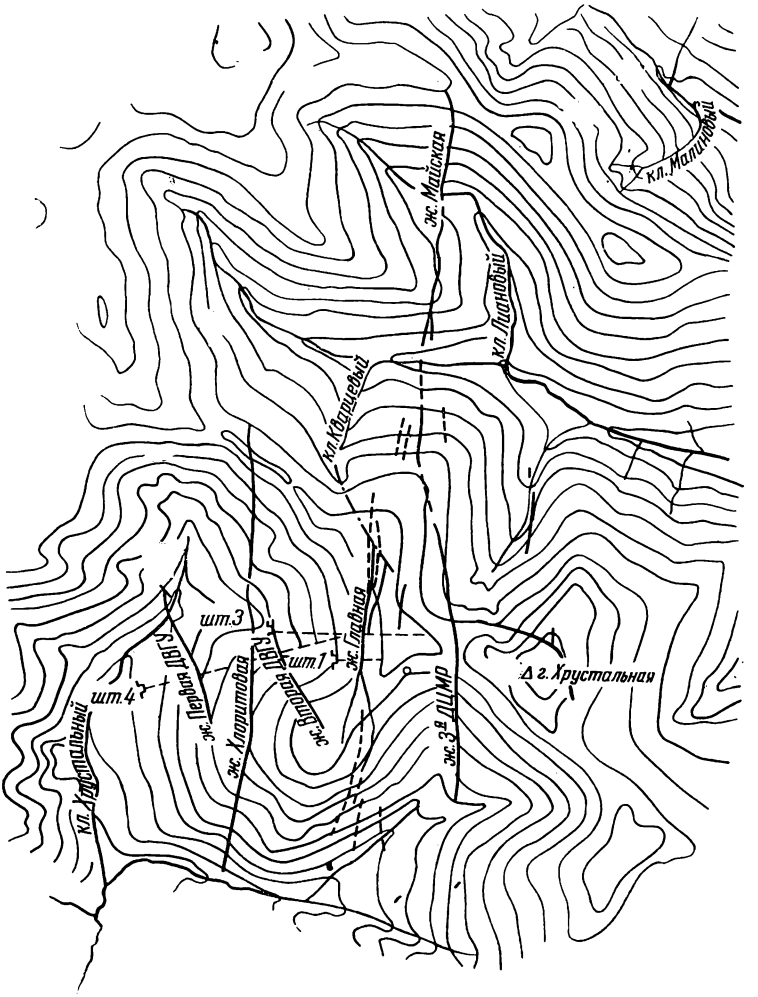


Рис. 86. План Хрустального месторождения (по В. П. Полохову)

шей части жил занимает центральную часть трещины (жилы Волковская. Главная) и обычно приурочен к нижним горизонтам (жила 3-я ДЦМР). Пирротиновый комплекс наиболее распространен в верхних частях жил. Полиметаллическое оруденение сосредоточено главным образом на флангах рудных тел. В результате заполнения серии сближенных параллельных трещин образовались характерные полосчатые текстуры руд.

Некоторые части рудных тел представлены зонами дробления с нечеткими контактами (жила Хлоритовая), с которыми сопряжены различные апофизы. Генетические особенности рудных жил обусловили весьма неравномерное распределение полезных компонентов.

Главным средством разведки месторождения являлись горные выработки, использованные в дальнейшем для эксплуатации месторождения. Рудные жилы были вскрыты вначале магистральными канавами, а затем для их прослеживания в промежутках между магистральными канавами

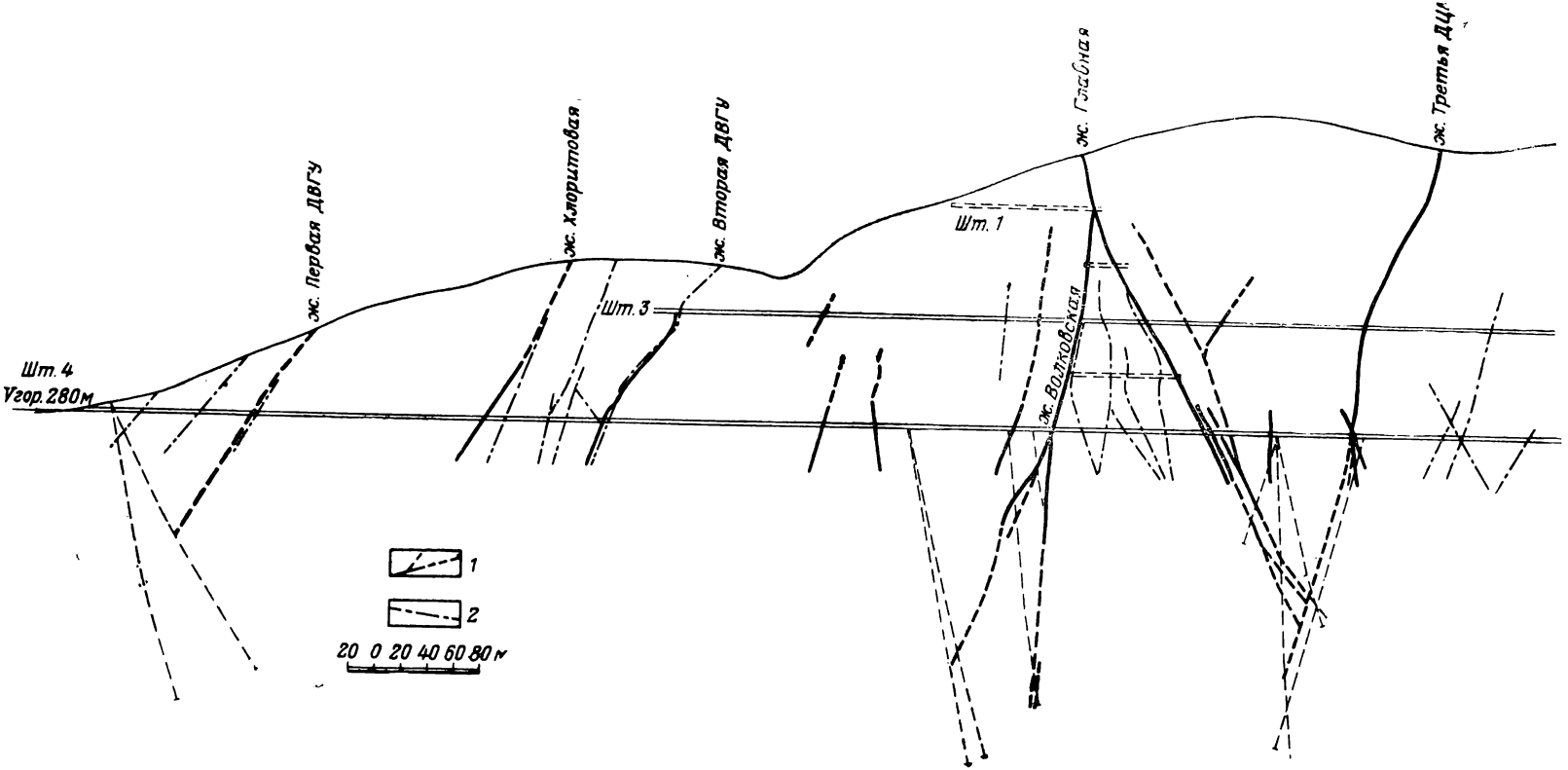


Рис. 87. Разрез по оси штольни № 4 на Хрустальном месторождении (по В. П. Полохову)
1 — рудные жилы; *2* — тектонические нарушения

через 50—60 *м* проходились короткие канавы. В дальнейшем канавы были сближены до 20—30 *м*. Для вскрытия свежих частей рудных тел с целью более надежного опробования из канав по рудным жилам проходились шурфы глубиной от 2 до 12 *м*. (Канавные работы относятся, конечно, к поисково-разведочному этапу.)

Подземная разведка выполнялась с помощью горных выработок. Штольни задавались вкрест простирания рудной зоны на трех горизонтах с вертикальным расстоянием между ними 80 *м* (рис. 87). В дальнейшем, уже в процессе эксплуатационной разведки и при подготовке месторождения к эксплуатации, нарезались промежуточные горизонты (через 40 *м*), связанные между собой системой восстающих, которые задавались на расстоянии 60 *м* один от другого. Нижние горизонты нарезались с помощью слепой шахты, опущенной с 5-го разведочного горизонта.

Опробование горных выработок производилось в основном по забоям и реже по кровле штреков, прослеживающих рудные жилы на каждом горизонте, бороздовым способом. Расстояние между пробами было принято 2 *м*.

Бурение применялось главным образом для прослеживания рудных жил ниже разведочных штреков. Скважины бурились станками К-2М-300, КАМ-500, ЗИФ-300 с поверхности и из подземных выработок. Бурение короткометражных скважин из подземных выработок для вскрытия параллельных рудных жил осуществлялось станками ГП-1.

Буровыми скважинами оруденение зафиксировано до глубины 450 *м* от поверхности. По результатам бурения и геологическим соображениям можно приближенно определить промышленные перспективы месторождения (запасы категории C_2).

Сравнение материалов разведки и эксплуатации обнаружило хорошее совпадение подсчитанных данных с фактическими. Так, фактическое содержание олова в добытой руде по жиле Главной только на 5% превысило цифры, принятые за основу при подсчете запасов. Расхождение между подсчитанными запасами металла и фактически добытым его количеством за 9 лет эксплуатации также составляет всего 5,5%.

Несмотря на относительную простоту формы, короткие и маломощные жилы, а также сильно нарушенные жилы месторождений редких и благородных металлов должны разведываться только горными работами. Бурение может использоваться только для освещения структуры месторождения и изредка для проверки глубин этих жил и жильных зон.

Разведка одного из пегматитовых тел Мамского слюдоносного района

К этой же 3-й группе близки относительно протяженные ($>$ 100 *м*) жилоподобные тела слюдоносных пегматитов.

Рассматриваемое пегматитовое тело расположено среди протерозойских биотитовых гнейсов и кристаллических известняков, несколько обогащенных графитом, диопсидом и амфиболом. Форма пегматитового тела неправильная. Северная часть его располагается в трещине отслоения северо-восточного направления и залегает согласно со слоистостью вмещающих пород. Эта часть тела представляет собой жилу седловидного типа, залегающую в пологой антиклинали. Здесь мощность пегматитового тела наибольшая. Южная часть пегматитового тела располагается в диагональной трещине скалывания и имеет грубопластинчатую форму. Ее можно рассматривать как апофизу седловидного тела. Пегматитовое тело имеет общее склонение, совпадающее с направлением погружения антиклинали.

Промышленная слюдоносность характерна только для некоторой части пегматитового тела, ограниченной в плане замкнутым контуром (рис. 88). Форма слюдоносной части значительно более проста и напоминает жило-

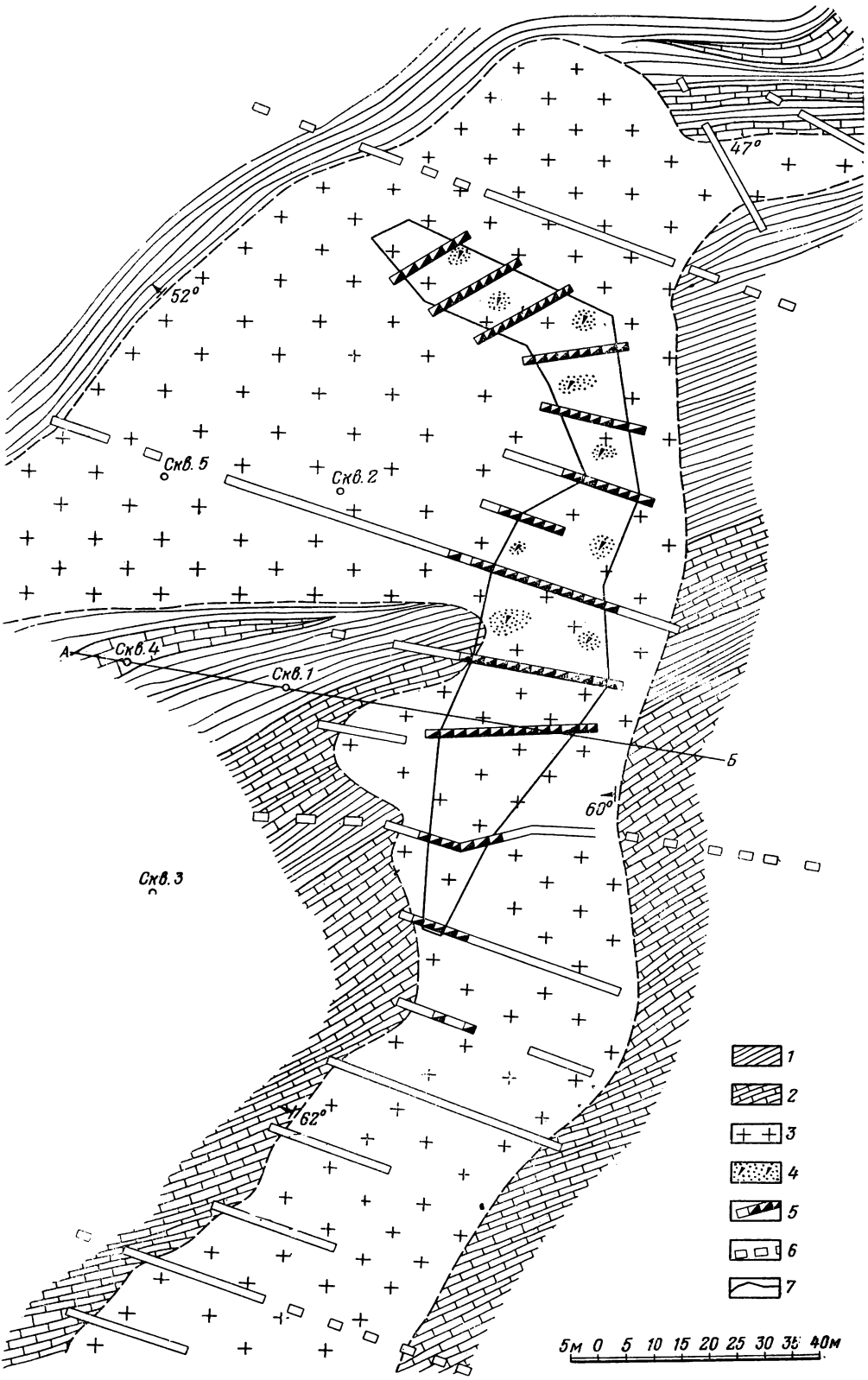


Рис. 88. Схема разведки одного из пегматитовых тел Мамского слюдоносного района (по материалам ГРЭ)

1 — биотитовые гнейсы; *2* — кристаллические известняки; *3* — пегматиты; *4* — участки кварцево-мусковитого замещения; *5* — канавы и места взятия проб; *6* — закопушки; *7* — контур слюдоносной зоны

образное тело; его границы проведены условно на основании опробования (по крайним пробам с бортовым содержанием слюды-сырца, равным 5 *кг/м*³).

Промышленная концентрация мусковита в описываемом участке пегматитового тела возникла в результате замещения среднезернистого пегматита кварцем и мусковитом (кварцево-мусковитовый замещающий комплекс по Н. В. Петровской). Пегматитовое тело было обнаружено в пределах ранее известного слюдоносного поля при проходке поисковых линий закопушек

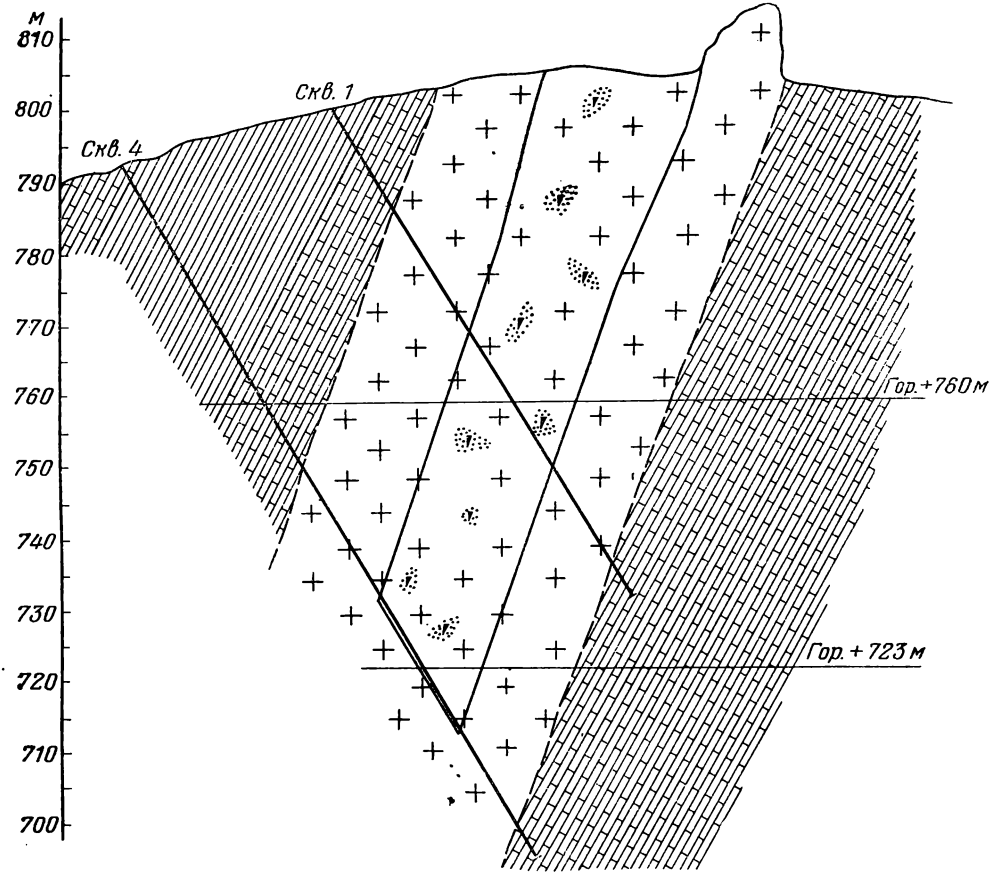


Рис. 88а. Разрез по АБ пегматитового тела, изображенного в плане на рис. 88.
См. условные обозначения к рис. 88

(мелких шурфов), заданных через 100 *м* с расстоянием между закопушками на линии 10 *м*. Затем оно было разведано канавами через 50 *м*, а после установления его промышленной ценности — через 10 *м* (в тех пределах, где более редкой сетью выработок была выявлена слюдоносная зона).

По полотну канав взяты валовые пробы по секциям длиной 2 *м*. Ширина отдельных проб 1,5 *м*, глубина 1,0 *м*. Из пегматита проб путем ручной рудоразборки выбраны кристаллы мусковита размером не менее 2 *см* в поперечнике (забойный сырец), на основании чего определено содержание его в пегматите.

На глубину пегматитовое тело разведано буровыми скважинами по линиям, проложенным через 50 *м* с расстоянием между скважинами на линиях 25—30 *м*. Бурение позволяет определить форму тела и констатировать присутствие мусковита на нижней границе контура подсчета. Содержание мусковита по керну не определяется в связи с невозможностью устано-

вить соотношение различных групп сырца, выделяемых по крупности кристаллов мусковита, а также общее его количество.

Правда, в последнее время проводятся опытные работы по определению содержания слюды в пегматите путем опробования керна, и первые опыты дали более или менее положительные результаты. В случае успешного решения этого вопроса роль бурения при разведке относительно протяженных слюдяных месторождений сильно возрастет.

Следует отметить, что в рассмотренном примере верхние скважины в разрезах (например, скв. 1 на рис. 88) являются излишними, так как до уровня подсечения ими пегматитового тела запасы по категории C_1 могли быть подсчитаны и на основании канавных работ. Расширение контура подсчета запасов дают только более глубокие скважины.

5. ТРУБООБРАЗНЫЕ ТЕЛА

(ГРУППА 4)

Трубчатые месторождения являются довольно распространенной формой рудных проявлений. Особенно большое количество трубчатых месторождений зарегистрировано в Африке, Мексике, США и в Австралии. В СССР трубчатые полиметаллические месторождения известны в горах Сихотэ-Алинь (Тетюхе), в Восточном Забайкалье, Средней Азии (Карамазар) и в Казахстане; вероятно, в будущем будут открыты и другие.

Много кимберлитовых алмазоносных труб обнаружено на Сибирской платформе.

Сечение трубчатых тел колеблется от нескольких квадратных метров (Такели) до сотен тысяч квадратных метров (Клаймакс).

Громадные трубчатые тела рассеянных руд мы отнесли ко 2-й группе. Нормальными сечениями труб, включенных в данную, 4-ю группу, нужно считать сотни и тысячи квадратных метров, хотя встречается много трубчатых месторождений промышленного значения с площадью поперечного сечения в единицы и десятки квадратных метров.

Наиболее сложна разведка трубчатых месторождений небольших размеров с сечением в десятки и сотни квадратных метров, а также ветвящихся залежей.

Одиночные выдержанные рудные трубы

К этой подгруппе относятся трубы, имеющие выдержанный угол скатывания (падения и простирания у труб нет) и слабо меняющуюся с глубиной площадь поперечного сечения.

При поисково-разведочных работах, проводимых на поверхности, невозможно установить, имеем ли мы дело с гнездом, штоком или трубой. Только некоторые косвенные геологические данные (например, структурные) и наличие в ближайших районах изученных трубчатых тел в аналогичной обстановке могут навести на мысль о трубчатой форме обнаруженного месторождения. Кроме того, по данным поверхностных работ обычно трудно судить, будет ли это сложная или простая выдержанная труба. Но самым неясным вопросом является вопрос о скатывании трубы.

Начинать разведку с проходки буровых скважин на глубину невозможно, так как даже большое количество скважин может пройти мимо рудного тела. Те же скважины, которые попадут в руду, не дадут представления о форме тела. Да и закладывать скважины даже на глубину 60—100 *м* невозможно, пока неизвестно, труба это или гнездо. Только при выдержанных и больших трубах (сечением в тысячи квадратных метров) бурение может дать положительные результаты, но это будет случайной удачей для начальных фаз разведки.

Совершенно ясно, что в начальном этапе разведки, после поверхностных работ, необходимо прежде всего заложить небольшую шахту или глу-

бокий шурф. Возможная сложность залегания трубчатого тела обязывает, по возможности, не упускать руду из поля зрения («держаться за руду»). Поэтому первую вертикальную шахту можно заложить прямо в центре трубы. Шахта эта при эксплуатации может быть полезна только в начальной стадии, а потом должна быть оставлена (иначе погибнет много руды в целиках).

Большей частью встречается крутое или даже вертикальное положение рудных труб. В этих случаях шахта будет идти по руде или медленно приближаться к границе трубы (к лежачему боку). Приблизительно через 15—20 *м* целесообразно пройти по руде рассечки. Через следующие 10—20 *м* произвести ту же операцию. Если шахта вскоре выходит в лежачий бок, то при дальнейшей углубке сначала шпурами (если возможно), а затем квершлагами или короткометражными скважинами нужно прощупывать рудное тело, чтобы его не потерять. Таким путем получаются две первые рассечки по рудному телу через 15—20 *м* и две следующие через 30—40 *м*.

Получив в выдержанной одиночной трубе два-три сечения, можно считать положение ее в пространстве достаточно выясненным, чтобы закладывать основную эксплуатационную выработку. Эта шахта будет находиться в стороне и в лежачем боку, т. е. вне зоны обрушения. Нередко целесообразно заложить наклонную шахту, чтобы уменьшить длину квершлагов и упростить прослеживание рудной трубы на нижних горизонтах. Для обнаружения трубы на нижних горизонтах используются станки подземного бурения или реже перфораторы для короткометражного бурения.

При строго выдержанных в пространстве и сравнительно крупных размерах рудных труб можно после разведки двух или четырех подгоризонтов (а иногда просто двух горизонтов) произвести бурение на глубину, но не для выяснения формы тела, а лишь для доказательства наличия руд и иногда для ориентировочного определения среднего содержания металла. Естественно, что эти скважины будут одиночными и будут служить уменьшению риска при вложении средств в проходку эксплуатационной шахты и строительство перерабатывающих цехов (обогатительная фабрика и пр.).

Выше уже приводился пример разведки платиновой гортонолитовой трубы (см. рис. 40). Это месторождение было случайно встречено при разбуривании ударным способом площади с рассеянным медным оруденением. После обнаружения труба была разведана шахтой с системой подземных выработок на полную глубину.

Ветвящиеся трубчатые залежи

В Карамазаре (Средняя Азия) в VIII—X вв. мелкие трубчатые тела отрабатывались руками рабов. Разработка велась сверху вниз, только до уровня грунтовых вод (зона окисления) и производилась обычно без крепления. В Нерчинском округе разработка труб велась также в зоне окисления и опять-таки сверху вниз, причем использовался труд каторжников. Рабочие-каторжники выносили руду вверх по сложным лабиринтам в мешках или корзинах.

При современных методах разработки необходимо подсекать руду на определенном горизонте (или подгоризонте) и отрабатывать снизу вверх. Конечно, подобные сложные тела можно разрабатывать только в том случае, если они представлены богатыми рудами. В Мексике, например, полиметаллические трубы с содержанием в рудах 15—20% серебристого свинца вырабатывались старателями при площади поперечного сечения 2 $м^2$ (конечно, на очень малую глубину).

Разведка таких тел начинается заложением центральной разведочной шахты. При встрече одиночной неправильной вьющейся трубы разведка производится таким же методом, как при выдержанных трубах, только квершлаги и подземные скважины будут идти в глубину на разных участках с различными азимутами. Если же этих труб несколько и они то соеди-

няются, то вновь расщепляются (напоминая дерево, куст), то «держаться за руду» невозможно. Надо закладывать шахту на глубину 30—40 *м* (реже 15—20 *м*) и на каждом новом эксплуатационном горизонте вновь искать эти трубы.

В 1957 г. волновой геофизический метод, примененный Д. С. Даевым в Восточном Забайкалье для полиметаллических месторождений Благодатского рудника, дал очень хорошие результаты. Возможно, что им найден метод для нащупывания ветвящихся залежей, труб и гнезд. Но для применения этого метода пока нужны горные работы и не на одном горизонте. Операция подземных поисков облегчается, если трубчатые ветви залежи сечением хотя бы в десятки квадратных метров имеют выдержанное скатывание и сохраняют площадь поперечного сечения. В противном случае для тонких труб задача оказывается необычайно сложной. Так, например, в Эйпекс-Майн (Юта, США) после углубки шахты на 30 *м* поиски трубы на новом горизонте производились в течение 2 лет.

При разведке подобных труб необходимо исходя из ценности руд определить минимальное поперечное сечение трубы, при котором ее рационально разрабатывать. Если труб одна или две, то из шахты в сторону этих труб задаются квершлаги и из забоев проводятся веера горизонтальных короткометражных скважин. Если же на данном горизонте ожидается серия трубчатых тел, то обычно целесообразно проходить взаимно-перпендикулярные выработки и уже из них с интервалом, равным диаметру трубы минимального намеченного сечения, задавать параллельные короткометражные скважины. В этом случае горные выработки закладываются на расстоянии наивыгоднейшей длины короткометражной скважины.

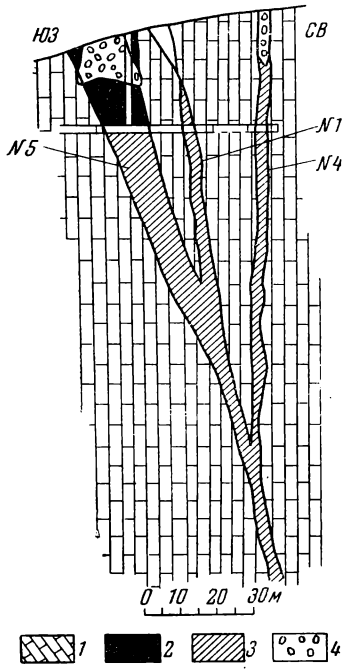


Рис. 89. Разрез месторождения Курусай (по Ф. И. Вольфсону)

1 — мраморы; *2* — окисленные руды; *3* — сульфидные руды; *4* — завалы древних выработок

Цифрами на рисунке указаны номера рудных тел

Таким образом, разведка ветвящихся залежей и неправильных труб осуществляется шахтами с системой подземных выработок и короткометражными подземными скважинами.

Характерным примером месторождений рассматриваемой группы может служить месторождение Курусай в Карамазаре.

Месторождение Курусай, представленное ветвящимися трубообразными залежами богатых полиметаллических руд, залегает среди известняков, нарушенных системой трещин, которые в основном и обусловили структуру этого месторождения.

Рудные тела месторождения располагаются в северо-западной части Главной тектонической зоны, в месте поворота этой зоны, где она пересекается и смещается другим крупным нарушением — Восточным сбросом. Часть рудных тел выражена на дневной поверхности небольшими изометричными выходами окисленной руды. Другие рудные тела являются слепыми. Все они имеют прихотливую форму, неожиданно выклиниваются или сочленяются друг с другом, протягиваясь на глубину свыше 150 *м* (рис. 89).

Разведка этого месторождения, как и других ему подобных, возможна лишь с помощью горных выработок, путем прослеживания залежей шаг за шагом в горизонтальных сечениях и между горизонтами (рис. 90). Эти же горные выработки играют роль и эксплуатационных, так как попутно с разведкой от горизонта к горизонту производится отработка залежей.

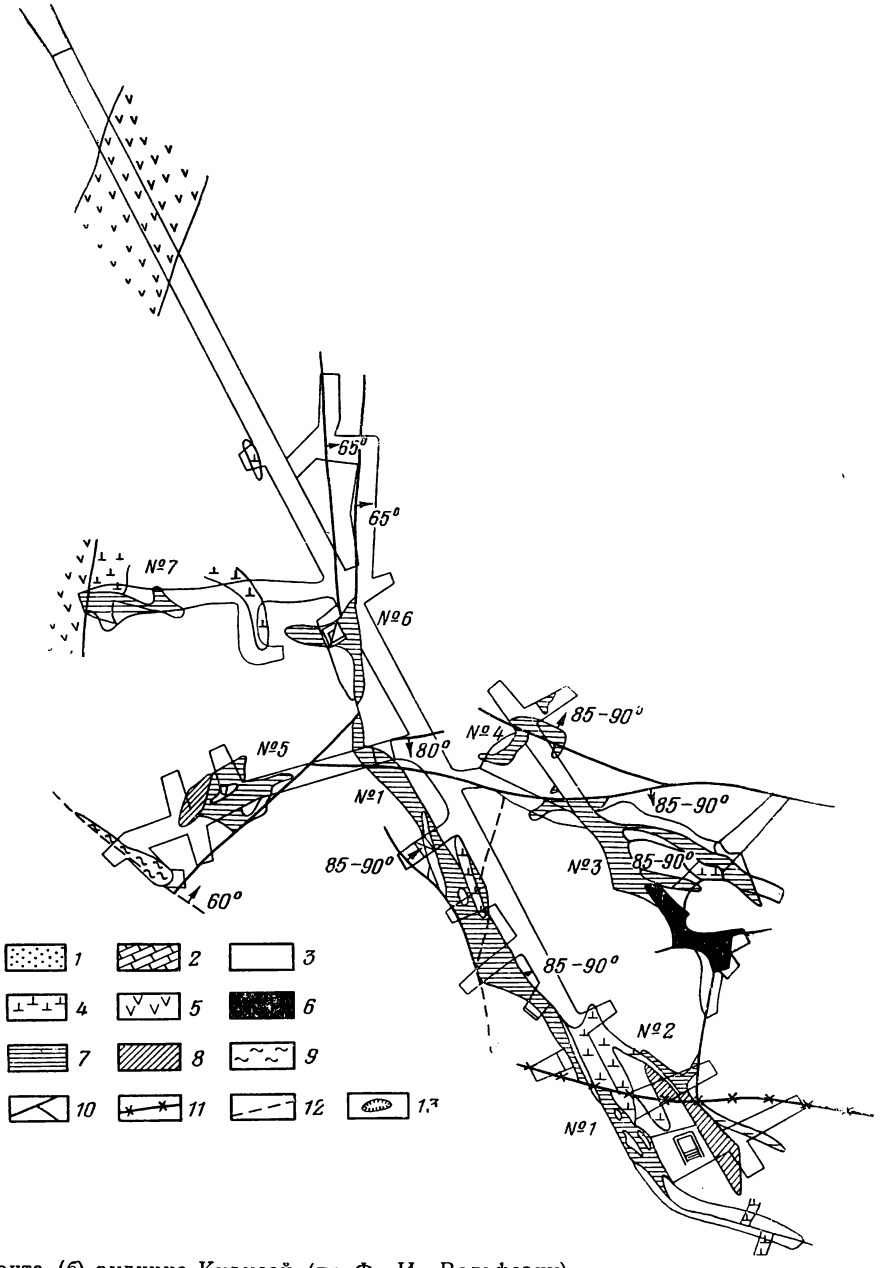
а



Рис. 90. Геологическая схема поверхности (*а*) и план пер

1 — четвертичные отложения; *2* — серые среднезернистые мраморы; *3* — белые и бу порфиры; *6* —окисленные руды; *7* — богатые сульфидные руды; *8* — убогие руды; ские трещины внутрирудные; *12* — тектонические трещины послерудные;

б



вого горизонта (*б*) рудника Курусай (по Ф. И. Вольфсону)

роватые мраморы и мраморизованные известняки; *4* — микродиориты; *5* — кварцевые
9 — зоны брекчирования; *10* — тектонические трещины дорудные; *11* — тектониче-
13 — древние выработки. Цифрами на рисунке указаны номера рудных тел

Буровые скважины, пройденные на этом месторождении, лишь частично осветили перспективы месторождения на глубину по косвенным поисковым признакам: по выявленным дайкам и тектоническим нарушениям, по следам рудной минерализации, встреченным на глубине.

При разведке Курусайского месторождения первостепенное значение имело тщательное изучение структуры и выявление закономерностей локализации оруденения, позволившие успешно прогнозировать его перспективы на глубину и поддерживать жизнь рудника в течение почти двух десятилетий.

6. МЕЛКИЕ ГНЕЗДА, ЛИНЗЫ, ЖИЛКИ, ТРУБКИ

(ГРУППА 5)

К этой группе рудных месторождений относятся мелкие и очень мелкие (десятые доли квадратного метра, квадратные метры, реже десятки квадратных метров) рудные тела неправильной формы, в большинстве случаев представленные ценными полезными ископаемыми. В связи с требованиями новой техники число известных месторождений подобного типа резко увеличилось, что подняло «разведочную значимость» данной, 5-й группы.

Месторождения этой группы целесообразно рассматривать, разделив их на две подгруппы: 1) изометричные рудные тела, приуроченные к каким-либо линейно вытянутым зонам, например, к зонам смятия, дайкам, зонам скарнирования, контактам и т. д., и 2) изометричные тела, без видимой закономерности разбросанные в пространстве («сливы в пуддинге», по терминологии американских геологов).

Единственно правильной методикой разведки месторождений первой подгруппы является разведка горными работами, иногда в сочетании с подземным и короткометражным бурением. Разведочная шахта закладывается приблизительно в центре рудной зоны (и проводится по самой зоне или в ее лежачем боку), и из нее вдоль зоны проходятся штреки. Из штреков через интервалы, равные минимальному диаметру промышленного гнезда, который ориентировочно определяется заблаговременно, задаются горизонтальные скважины перпендикулярно к штреку; таким образом, скважины здесь заменяют квершлаги. В некоторых случаях (гнезда самоцветов) требуется все же проходка квершлагов. Штрек проводится по участку, к которому тяготеет большое число гнезд, например по контакту. Расстояние между отдельными штреками обычно равно половине этажа (15—20 *м*), но может быть и меньше (10 *м*). Так как гнезда могут встречаться и между горизонтами, последние сбиваются восстающими выработками. Кроме того, от штреков проходятся орты, чтобы удобнее было короткометражными скважинами разведывать не затронутые выработками участки.

Чем сложнее и мощнее разведываемая зона, тем сложнее лабиринт горноразведочных выработок и сеть подземных скважин. Схема уточняется в зависимости от формы гнезд, которые могут иметь вид «лепешек», линзочек и т. д., и особенно — в зависимости от их величины. Разумеется, такая разведка может производиться только при непосредственной увязке с эксплуатацией и только для особо ценных месторождений.

Несмотря на исключительную трудность работ и возможность пропустить много рудных гнезд, все же разведка рудных тел, связанных с какой-либо линейно вытянутой зоной, представляет собой стройный процесс. Горные выработки не могут «заблудиться» под землей, так как геологическим контролем для них служит данная зона.

К типичным представителям месторождений первой подгруппы можно отнести очень короткие жилы и мелкие неправильные гнезда слюды, распространенные среди пегматитов Мамского слюдоносного района наряду с описанными выше относительно протяженными жилоподобными телами. Размеры гнезд с промышленными скоплениями слюды колеблются от 2×6 до 8×20 *м*, длина жилообразных тел не превышает 10—20 *м*.

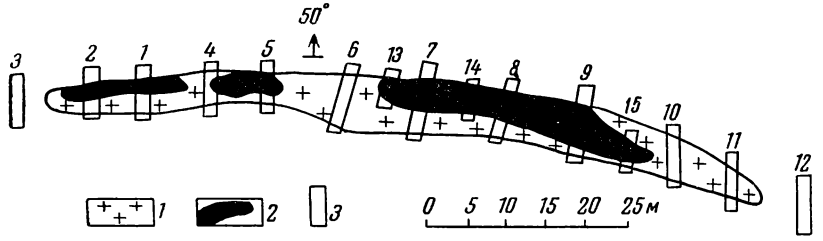


Рис. 91. Разведка пегматитовой жилы канавами

1 — пегматит; *2* — промышленные скопления мусковита; *3* —канавы (цифры указывают порядок их заложения)

Разведка подобных пегматитовых тел с гнездовым ослюденением на поверхности осуществляется канавами (рис. 91), позволяющими оконтурить промышленные гнезда слюды. На глубину разведка возможна только

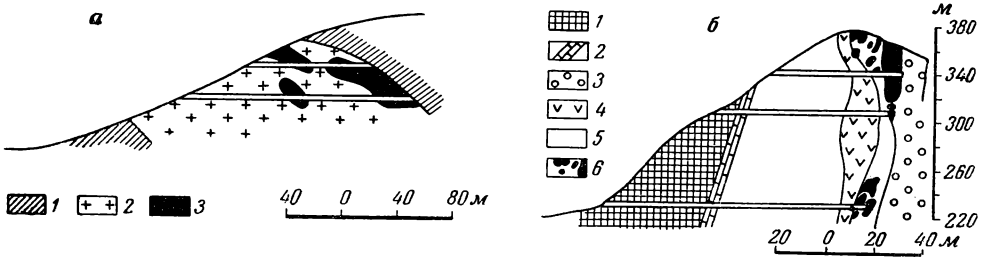


Рис. 92. Схема разведки слюдяных месторождений

а — «жила» № 16 Мамского месторождения (по М. Ф. Маркову): *1* —кристаллические сланцы; *2* — мелкозернистый пегматит; *3* —пегматит с мусковитом

б — рудник № 2 Слюдянского месторождения: *1* — гнейсы; *2* — мраморы; *3* — сиениты; *4* — пироксениты; *5* — гнейсы с пегматитовыми телами; *6* — ослюденелые пегматиты

с помощью горных выработок, которые одновременно являются и эксплуатационными (рис. 92).

Очевидно, к рассматриваемой подгруппе нужно относить месторождения редких и ультраредких металлов, когда они связаны с линейно вытянутыми зонами. Естественно, что здесь даже подземное бурение применяется лишь кое-где и то очень редко, с теоретическими (геологическими) целями.

Месторождения второй подгруппы, т. е. изометричные тела — мелкие гнезда, карманы, линзочки, — распределенные в пространстве без видимой закономерности, сравнительно легко выявляются на выходах, но разведка их на глубину весьма затруднительна.

В тех случаях, когда высокая ценность полезного ископаемого заставляет разведывать и эксплуатировать подобные месторождения, приходится пользоваться очень сближенными горизонтами подземных горных выработок, прокладываемыми через 10 *м* и даже через 5 *м*, а также системами взаимно пересекающихся на близких расстояниях горных выработок и густой сетью короткометражных скважин. При этом помогают различные геологические критерии, даже слабо проявленные: трещинные структуры, околорудные изменения и т. п. Подобная разведка с попутной добычей руд производилась на Балканском месторождении вольфрама (Урал).

На крайнем фланге с точки зрения методики разведки стоят погреба оптических минералов и драгоценных камней, а также платиноносные гнезда хромшпинелидов и коренных алмазов (рис. 93), для которых уже невозможно применять и короткометражные буровые скважины, где лишь опробование больших объемов рудоносных пород может дать положительные результаты. Здесь процесс разведки полностью сливается с процессом добычи обычно больших объемов породы, предположительно несущей гнезда (заноры, погреба) полезного ископаемого.

Огромная группа разнообразных неметаллических месторождений, примеры разведки которых здесь не рассмотрены, также сравнительно легко укладывается в предложенные пять групп (см. табл. 19). Но в качественном отношении (с учетом технологии) многие неметаллы разведываются значительно сложнее металлических месторождений. Причина заключается в том, что для многих неметаллических полезных ископаемых вроде хризотил-асбеста и роговообманкового асбеста, слюд, оптических минералов играет роль не только процентное содержание минералов в породе, но, что еще важнее, размер этих минералов и обусловленные им сорта. Поэтому при разведке некоторых месторождений неметаллов особую роль приобретает опробование, учитывающее технологию переработки полезного ископаемого, которая влияет на самый процесс разведки. Например, ценнейшие сорта асбеста отбираются вручную, поэтому разведку нужно вести с учетом рудоразборки части руд; нормальное опробование слюд требует обязательной проходки горноразведочных выработок, не говоря уже о всевозможных занорышах и погребах ценных минералов. Тем не менее разведка неметаллических месторождений основана на тех же принципах и осуществляется теми же средствами, что и разведка месторождений других рассмотренных выше групп, конечно с учетом особенностей их качества.

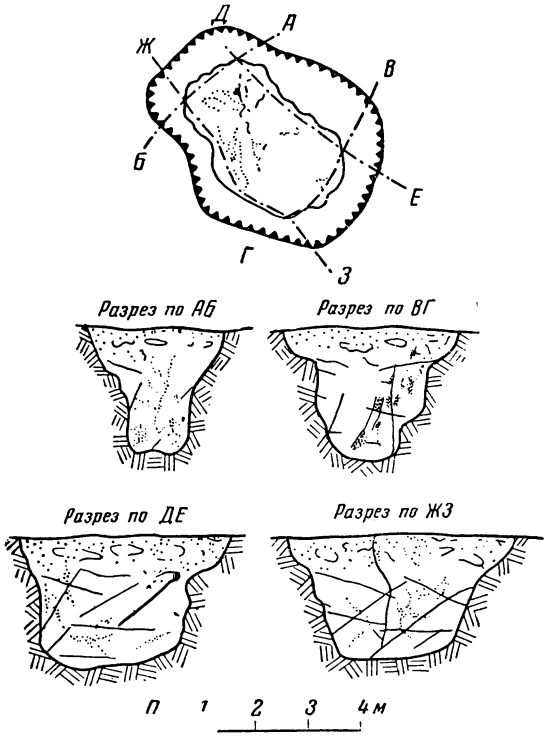


Рис. 93. Платиноносное гнездо хромита в дунитах (по А. Г. Бетехтину). Точками и прожилками показаны скопления платиноидов

Рассмотрение основных принципов и путей развития разведочного процесса, а также различных примеров разведки месторождений показывает, что существует очень большое разнообразие, если так можно выразиться, «геологоразведочных комбинаций». В частности, совершенно ясно, что далеко не всякое месторождение должно пройти полностью все стадии: 1) поисково-разведочных работ, 2) предварительной разведки, 3) детальной разведки, 4) эксплуатационной разведки. Поисково-разведочный этап практически проходит каждое месторождение (так как он связан с крупномасштабной геологической съемкой), но дальнейшая судьба месторождения зависит от его индивидуальных особенностей.

Так, месторождения 5-й группы (погреба и занорыши оптических минералов и самоцветов, некоторые гнезда благородных и редких металлов) сразу же после поисково-разведочных работ начинают эксплуатироваться, т. е. переходят в стадию эксплуатационной разведки, первые этапы которой можно иногда именовать детальной разведкой. На месторождениях 4-й группы (полиметаллические, редкометальные и другие трубы) после поисково-разведочной стадии сразу начинается детальная или даже эксплуатационная разведка; стадия предварительной разведки с получением ориентировочных данных для оценки месторождения здесь опускается (конечно, если на эти

небольшие месторождения распространить общее требование в отношении составления ТЭДа, то часть первых выработок нужно относить к предварительной разведке). Месторождения 3-й морфологической группы (всевозможные жилы и линзы) большей частью из поисково-разведочной стадии переходят непосредственно в стадию детальной разведки — особенно месторождения редких, благородных и частично цветных металлов (главным образом полиметаллов). Для составления ТЭДа можно отнести к предварительной стадии начальный период этой разведки, например заложение 1-го этажа горноразведочных работ.

Все стадии разведки обычно проходят месторождения 1-й и 2-й групп. Но именно эти группы месторождений дают огромную массу (вероятно, превышающую 90% всей мировой добычи) разнообразного минерального сырья. Следовательно, названные четыре этапа разведочного процесса практически фигурируют в подавляющем большинстве случаев разведки месторождений.

Практически чрезвычайно важно установить, какие работы нужно выполнить в процессе детальной разведки, а какие можно отложить на стадию эксплуатационной разведки. При этом нужно всегда учитывать, что в процессе разработки каждое месторождение невольно пройдет стадию очень детальной «бесплатной» разведки. Ясно, что в детальную разведку нужно включать только тот минимум исследований, который необходим для проектирования и освоения месторождения.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ОПРОБОВАНИЕ

Опробование месторождений и искусственных скоплений (например, отвалов) полезных ископаемых в процессе поисков и разведки производится с целью установления их качества применительно к требованиям, предъявляемым промышленностью к тому или иному виду минерального сырья. Опробование является важнейшим методом разведки, и его результаты представляют собой одну из главных составляющих оценки месторождения. Данные разведочного опробования используются прежде всего для подсчета промышленных запасов полезных ископаемых. Кроме того, результаты опробования определяют выбор способа и схемы переработки полезного ископаемого (см. «Технологические испытания») и позволяют решать некоторые вопросы технического проектирования и текущего планирования добычи (см. «Технические испытания»).

Почти всегда процесс опробования твердых полезных ископаемых состоит из трех основных звеньев. Первым звеном является отбор (взятие) начальных проб из естественного обнажения полезного ископаемого или из искусственного скопления минерального сырья с таким расчетом, чтобы качество его было охарактеризовано с необходимой точностью. Второе звено — обработка — заключается в доведении веса каждой начальной пробы или группы проб до величины, необходимой для соответствующих исследований. И, наконец, третьим звеном является испытание (исследование, анализ) пробы.

Характер испытаний зависит от требований, предъявляемых к сырью промышленностью, и от степени изученности его с точки зрения обработки, переработки или непосредственной утилизации. В одних условиях необходимо производить полные испытания сырья вплоть до опытной обработки и переработки (технологические испытания), в других можно ограничиться исследованием некоторых его свойств, например определением содержания одного или нескольких интересных с промышленной точки зрения компонентов.

Все эти испытания либо выходят за пределы функций инженера-геолога, либо рассматриваются в других специальных курсах. Поэтому здесь внимание сосредоточивается в основном на вопросах отбора и обработки проб. Некоторые сведения об испытаниях проб излагаются в конце раздела, в связи с вопросами организации исследований и обработки их результатов.

В последнее время понятие о пробах и опробовании расширяется, так как появляются новые способы (радиометрия, люминесценция), позволяющие визуально на месте залегания полезного ископаемого определять его качество, используя различные физические свойства минералов. Таким образом, опробование, выявляющее состав и свойства ископаемого, понимается нами в широком смысле как метод, устанавливающий качество минерального сырья.

ГЛАВА I

ОТБОР ПРОБ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Все разновидности способов взятия проб проще рассматривать, если подразделить их на три группы: точечные, линейные и объемные. К первой группе относятся способы: штуфной, точечный и вычерпывания. Во вторую группу входят бороздовый и шпуровой и, наконец, к третьей группе принадлежат задирковый и валовой способы. Условия, при которых целесообразно применять каждый из перечисленных способов, излагаются ниже. Здесь отметим лишь некоторые общие соображения о проведении опробования на различных стадиях геологоразведочного процесса.

В стадиях поисково-разведочных работ и предварительной разведки месторождений полезных ископаемых, когда последние еще недостаточно изучены, вопрос о выборе простейшего способа пробоотбора неактуален. При относительно небольшом числе проб, отбираемых в эти периоды, применение более сложного способа отбора не вызовет большого перерасхода времени и средств. Кроме того, в начальный период изучения месторождения часто требуется детальное, секционное опробование, которое надежнее всего может быть осуществлено бороздовым способом.

Все это обычно заставляет в начале разведочных работ останавливаться на бороздовом опробовании. Этот способ применяется при детальной разведке, а также при эксплуатации, если другие способы не обеспечивают получения надежных результатов.

1. СПОСОБЫ ОТБОРА ПРОБ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ОБНАЖЕНИЯХ

Способы отбора проб в горных выработках определяются, с одной стороны, соотношением ориентировки этих выработок с элементами залегания тел полезных ископаемых, а с другой — технологическим процессом проходки выработок и в конечном счете зависят от характера обнажения тела полезного ископаемого. Рассмотрение способов взятия проб твердых полезных ископаемых ведется в порядке от наиболее простых, но обычно менее точных, к наиболее сложным или трудоемким, но обеспечивающим более высокую точность определений.

Штуфной способ

Штуфной, простейший способ отбора проб состоит в отбойке отдельных кусков породы весом 0,5—2 *кг*. Этот прием употребляется очень редко: для установления качества простейших полезных ископаемых или для получения хотя бы приблизительной его характеристики, если по каким-либо причинам нужно иметь сугубо ориентировочное представление об элементарном составе минерального сырья, например, в период поисков или поисково-разведочных работ.

Этот метод опробования мог бы шире быть использован в процессе разведки только для руд с особо равномерным распределением минерализации, что практически почти не встречается или бывает установлено значительно позднее, когда надобность в опробовании подобных руд практически отпадает.

Обычно штуфное опробование проводится для минераграфического изучения руд. Если технологам необходимы данные о размерах зерен, их прорастании и срастании, их распределении в пространстве, то нужно брать штуфы, приблизительно равномерно расположенные в пространстве, конечно с учетом всех сортов руд (для детального минералогического изучения руд

какого-либо рудного тела нужно ориентировочно 200—300 штуфных проб). Необходимое количество штуфов для месторождений всех полезных ископаемых регламентировать невозможно.

Точечный способ

Сущность точечного способа заключается в следующем: в забое или в стенке выработки по рудному телу намечается сетка (рис. 94); из середины клеток сетки или по углам их отбиваются кусочки руды примерно равного объема, которые вместе составляют начальную пробу.

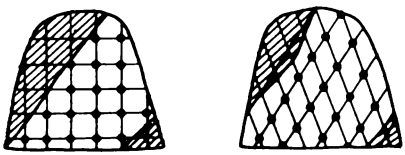


Рис. 94. Схемы отбора проб точечным способом

Число частичных проб, составляющих начальную пробу отдельного забоя, зависит от степени неравномерности распределения полезных компонентов и может быть ориентировочно установлено по табл. 21, характеризующей отбор проб способом вычерпывания из навала. Но веса частичных проб в целике могут быть в 2—3 раза меньше, чем указано в таблице.

Точечный способ опробования может применяться для мощных тел полезного ископаемого с относительно равномерным распределением полезных компонентов, а также для рудных тел средней мощности.

При опробовании лопаритовых руд производительность этого способа оказалась в 7 раз выше производительности бороздового способа при одинаковой точности. Вполне удовлетворительные результаты точечный способ дал на железорудных месторождениях Кривого Рога, где опробование проводилось по стенкам ортов одновременно бороздовым и точечным способами. Положительные результаты получены и при проверке точечного способа на Дегтярском месторождении медистых колчеданов, а также на многих месторождениях прожилково-вкрапленных руд (Бощекуль, Алмалык, Каджаран, Сора, Хинган и др.).

Точечный способ может дать значительный эффект при опробовании подземных и открытых эксплуатационных выработок на месторождениях крупного размера. Внедрение точечного способа пробоотбора в практику может дать весьма существенную экономию средств. Поэтому его нужно смелее и шире применять при геологоразведочных работах.

Способ вычерпывания

Взятие проб способом вычерпывания производится после отпалки руды в навале у забоя. Для этого на навал набрасывается веревочная сетка (или сетка наносится мысленно) и из середин ее ячеек отбиваются частичные пробы определенного веса, составляющие начальную пробу данного навала (рис. 95).

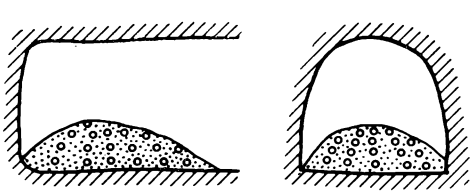


Рис. 95. Схема отбора проб способом вычерпывания

При отборе проб способом вычерпывания необходимо обращать внимание на то, чтобы соотношение между крупным рудным материалом и мелочью, поступающей в пробу, соответствовало их соотношению в опробуемых навалах. Нарушение этого соотношения, в частности постоянное взятие в пробу большего количества рудной мелочи, может привести к систематической ошибке опробования. Знак ее для многих металлических руд чаще всего будет положительным, т. е. данные опробования ука-

жут на более высокое содержание металла, чем это имеет место в действительности. Недобор рудной мелочи приводит обычно к разубоживанию пробы.

Преимущество рассматриваемого способа взятия проб заключается в его высокой производительности, в 3—5 раз и более превышающей производительность опробования с отбойкой материала пробы в тех же условиях. Кроме того, отбор проб способом вычерпывания не задерживает проходку выработок.

Количество частичных проб и вес каждой из них зависят от степени неравномерности оруденения (табл. 21). По этому вопросу пока не выработано определенных правил, и приводимые в табл. 21 данные явно содержат элемент страховки[1]; можно смело уменьшить количество и особенно вес частичных проб. Но в то же время веса частичных проб не должны быть особенно малы, в противном случае трудно будет выдержать правильное соотношение между крупным и мелким материалом.

Рассматриваемый способ отбора проб может широко применяться при опробовании мощных и весьма мощных тел рудных и нерудных полезных ископаемых. Иногда он может использоваться и для контроля других способов пробоотбора. Степень неравномерности оруденения в преобладающем большинстве случаев не ограничивает возможности использования этого способа.

Таблица 21

Количество и веса проб, отбираемых способом вычерпывания в горных выработках

Характер оруденения	Число частичных проб на навал за одну отпалку в горизонтальных горных выработках	Вес одной частичной пробы в *кг*	Суммарный вес пробы из данного навала в *кг*
Весьма равномерный и равномерный	12—16	0,25	3—4
Неравномерный	20—25	0,5	10—12,5
Весьма неравномерный и крайне неравномерный	36—50	1	36—50

Способ вычерпывания испытывался на Никитовском ртутном месторождении. Опробованию подвергались пластовые залежи кварцитовидных песчаников, которые секутся ветвящимися, различно ориентированными тонкими кварцевыми прожилками, содержащими киноварь. Последняя присутствует в песчаниках и в виде мелких вкрапленников. Оруденение может быть охарактеризовано как весьма неравномерное. Точность опробования способом вычерпывания оказалась в этих условиях удовлетворительной, производительность пробоотбора — высокой.

Благоприятные результаты дали и опыты М. Н. Альбова на Мелентьевском золоторудном месторождении. Объектом опробования являлись минерализованные сиенит-аплиты, представляющие собой крепкие трещиноватые сильнокремнистые породы с тонкой неравномерной вкрапленностью золотосодержащих сульфидов.

Данные последних лет также подтверждают положительную оценку перспектив этого способа опробования.

Шпуровой способ

Сущность взятия пробы этим способом состоит в сборе буровой муки или шлама в процессе бурения шпуров (рис. 96). При этом используются шпуры, пробуриваемые для проходки выработок, или же задаются специаль-

[1] К сожалению, экспериментальные данные прошлого в последующее время не проверялись или новые данные не опубликованы.

ные шпуры вкрест простирания рудного тела, позволяющие вести опробование для оконтуривания рудных тел.

Максимальная глубина шпуров, которую можно достичь при бурении обычными перфораторами, составляет 7—8 *м*. Для оконтуривания и опробования мощных рудных тел применяются специальные колонковые перфораторы с бурами (штангами) длиной 2—3 *м*, соединяемые специальными муфтами. Такими перфораторами, в некоторых отношениях успешно конкурирующими с алмазно-буровыми станками для подземного бурения, удавалось бурить скважины глубиной 50—70 *м*.

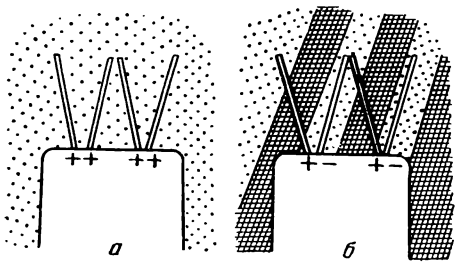


Рис. 96. Порядок отбора материала при шпуровом способе опробования

а — полный сбор материала при бурении по равномерно минерализованному рудному телу; *б* — выборочный сбор материала при бурении по полосчатому рудному телу. В пробу отбирается материал из шпуров, обозначенных знаком +

Все глубокие шпуры, как правило, бурятся с промывкой, причем при глубине шпуров свыше 20—25 *м* автоматическая промывка через перфоратор становится недостаточной. В этих случаях промывка осуществляется специальным насосом и вода подается под давлением в верхнюю штангу через специальную муфту.

Долгое время шпуровое опробование не находило широкого применения главным образом из-за отсутствия удовлетворительных приспособлений для сбора буровой муки и шлама. Теперь существует много систем пылеуловителей, которые описываются в курсах проходки горных выработок. Сбор этой пыли для проб и является сущностью шпурового опробования, которое нужно смелее внедрять в практику.

При бурении шпуров с промывкой улавливание шлама производится в отстойниках. Для этого предварительно пробуривается короткий (10—15 *см*) шпур, в который вставляется патрубок-тройник с отводной трубкой, укрепленной под углом. На эту трубку надевается резиновый шланг. Дальнейшее бурение ведется через центральный патрубок-тройник, при этом шлам поступает через отводную трубку и шланг в приемный сосуд, где происходит его отсадка. Необходимо добиваться возможно полной отсадки шлама. В некоторых случаях из-за неполноты отсадки может иметь место систематическая ошибка опробования. Там, где можно ожидать эту ошибку, отсадку целесообразно производить в двух-трех параллельных сосудах.

Шпуры, проходимые вручную вертикально вверх или с крутым восстанием, бурятся всухую. Буровая мука в этих случаях высыпается из скважины под действием собственного веса. Согласно американским литературным данным, лучшим приспособлением для улавливания буровой муки из сухих шпуров является холщовый мешок, прикрепленный к устью скважины и имеющий на дне отверстие, через которое проходит бур. Указывается, что резиновая прокладка на буре с внутренней стороны мешка сводит до минимума потери буровой пыли через отверстие. Однако наш опыт показал, что применение этого приспособления не является удачным вследствие сложности прикрепления мешка к устью шпура. Употребление сосудов любой формы, помещаемых ниже устья восстающих шпуров, при сухом бурении неизбежно приводит к потере большого количества буровой муки и также не может быть рекомендовано.

Горизонтальные и наклоненные вниз шпуры всегда бурятся с водой. Извлечение буровой муки производится при помощи ложечки (чищалки). В этом случае сбор буровой муки, очевидно, затруднений не представляет. Необходимо только соблюдать предосторожности против разбрызгивания буровой грязи во время бурения, что достигается с помощью куска резины или кожи, надеваемого на бур и закрывающего устье скважины. Кроме того,

необходимо заливать в шпур такое количество воды, чтобы буровая грязь не была слишком жидкой.

Шпуровое опробование может быть непрерывным, т. е. без пустых (неопробованных) интервалов, в выработках, проходимых по простиранию и падению (восстанию) тела полезного ископаемого.

При бурении специальных шпуров в разведочных, подготовительных и очистных выработках производится секционное опробование (рис. 97). Длина секций принимается постоянной, равной 1—2 *м*, редко 3 *м* (при весьма большой мощности рудных тел). В тех случаях, когда граница рудных тел с вмещающими породами неотчетливая и не может быть уловлена, например, по стуку бура или по цвету шлама, длина секций может быть уменьшена даже до 0,5 *м*. Вообще говоря, выделение типов руд по данным шпурового опробования затруднительно.

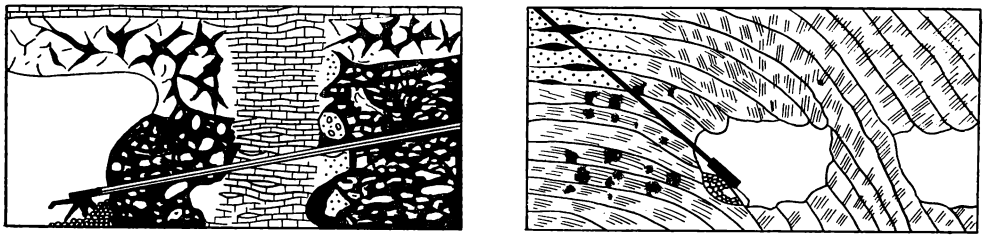


Рис. 97. Отбор проб из длинных разведочных шпуров в штате Оклахома
Шлам из каждого типа пересекаемых шпуром пород отбирается в отдельную секцию

Шпуровой способ опробования по сравнению с другими способами имеет ряд преимуществ:

1) процесс бурения шпуров, заданных в целях продвижения забоев, часто совмещается с процессом пробоотбора;

2) проходка забоя не задерживается процессом взятия пробы;

3) обработка материала проб сводится к минимуму, так как диаметр наибольших частиц шпуровых проб обычно не превышает 2 *мм*;

4) шпуровое опробование экономичнее других способов опробования.

К недостаткам шпурового опробования, совмещаемого с бурением при продвижении забоев, может быть отнесено направление шпуров не вкрест линии максимальной изменчивости качества руды, вследствие чего иногда (хотя и крайне редко) возможны систематические ошибки опробования. Это обстоятельство следует иметь в виду главным образом при опробовании пластовых и жильных месторождений.

Кроме того, систематические ошибки возможны при наличии мягких и легко крошащихся рудных минералов. В этих случаях сотрясение бура может вызвать осыпание со стенок скважины богатого (или убогого) рудного материала. Сильно трещиноватые руды могут обусловить большие потери пыли или шлама. Во всех случаях предварительную проверку шпурового способа каким-либо другим, заведомо надежным для данных условий, следует считать обязательной.

На медном руднике Миами в США тщательное исследование показало, что пробы, взятые из шпуров, пробуренных телескопными перфораторами, оказались точнее бороздовых; бороздовые пробы давали систематическую ошибку положительного знака, равную 13%. По данным Прескотта, шпуровые пробы дали очень хорошие результаты при опробовании неправильных месторождений замещения в известняках.

Шпуровое опробование может успешно конкурировать со способом вычерпывания, если прочие факторы окажутся для него благоприятными. Особенно эффективно шпуровое опробование при проходке ортов по руде. Вместе с тем шпуровому опробованию должна принадлежать весьма существенная роль и как дополняющему другой способ опробования (шпуровой

и бороздовый, шпуровой и точечный и т. п.). Пока опыт применения шпурового опробования в отечественной практике геологоразведочных работ невелик.

Бороздовый способ

Бороздовый способ состоит в проведении на обнаженной поверхности рудного тела борозды, форма и размеры которой зависят от мощности тела и характера распределения в нем полезных компонентов и вредных примесей. Форма и размеры сечения борозды сохраняются неизменными на всем ее протяжении.

Во всех горных выработках, при прочих равных условиях, борозды необходимо располагать по направлению наибольшей изменчивости содержания исследуемых компонентов в рудных телах. Это направление обычно совпадает с линией мощности, поэтому во многих учебных руководствах и журнальных статьях рекомендуется проводить борозду по мощности. Однако невозможность во многих случаях определить линию истинной мощности тела в горной выработке из-за косого сечения рудного тела или расплывчатых контактов делает такие рекомендации неосуществимыми и часто приводит к бессистемной ориентировке борозд.

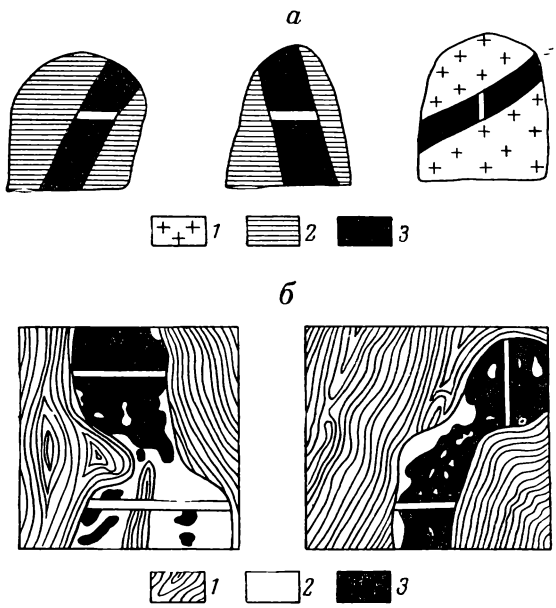


Рис. 98. Расположение борозд в забоях горизонтальных горных выработок

а — Алтайское мышьяковое месторождение: *1* — монцонит; *2* — роговик; *3* — сульфидные руды
б — Раздольнинское сурьмяное месторождение: *1* —филлиты; *2* — кварц; *3* – антимонит и бертьерит

Значительно удобнее в подавляющем большинстве случаев применять горизонтальные и вертикальные борозды (рис. 98). Первые применимы к телам полезных ископаемых, падающим под углом 90—45°, а вторые — к телам с углом падения 45—0°.

Этот вопрос рассмотрен теоретически и практически В. И. Бирюковым, который так формулирует свой вывод: «Удобство отбойки проб и в некоторых случаях более высокая точность опробования при горизонтальном или вертикальном их расположении определяет целесообразность расположения бороздовых проб в горных выработках: горизонтально при крутом падении тел, вертикально при пологом падении тел, перпендикулярно средней линии простирания зигзагообразных тел в горизонтальных сечениях».

Процесс опробования и геологическая документация должны производиться без излишней поспешности, но и без ущерба для интенсивности продвижения забоев. Минимально необходимое для этого время должно быть учтено при планировании циклов проходки.

Нередко ошибки опробования возникают вследствие пересечения бороздой руд, различных как по содержанию полезных компонентов, так и по физическим свойствам (рис. 99). Б. И. Галкин (1950) вычислил эту ошибку; она может быть выражена в процентах от истинного содержания определяемого компонента:

$$e = \frac{hk[\cos(\alpha-\varphi)-\sin(\alpha+\beta)(1-f)]}{fhk\cos(\alpha-\varphi)+\sin(\alpha+\beta)(hk+1)}. \qquad (37)$$

Здесь α — угол падения рудного тела на участке, обнаженном штреком;
φ — угол отклонения стенки штрека от вертикальной линии;
β — угол между горизонтальной плоскостью и негоризонтальной кровлей штрека;
$h = \frac{P_1}{P_2}$, где P_1 и P_2 — объемные веса руд, обнаженных соответственно стенкой и кровлей штрека;
$f = \frac{C_1}{C_2}$, где C_1 и C_2 — содержание определяемого компонента в этих рудах;
$k = \frac{l_1}{l_2}$, где l_1 и l_2 — длины борозд, проведенных соответственно по стенке и кровле штрека.

Б. И. Галкин указывает, что «для устранения рассматриваемой ошибки необходимо сохранять постоянные ширину и глубину борозды, но измерять

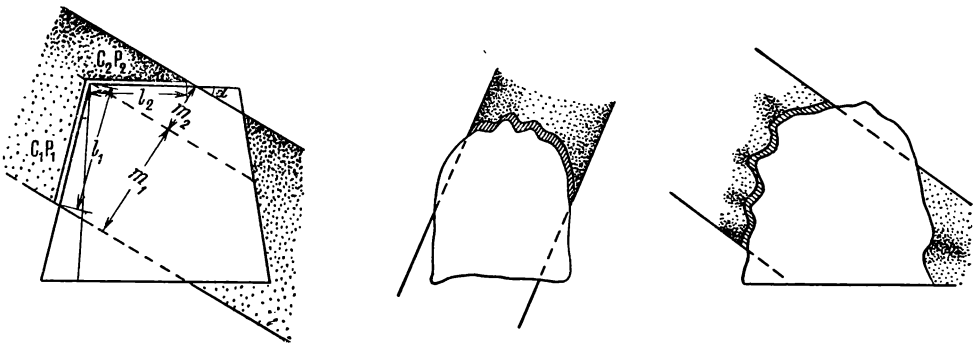


Рис. 99. Примеры взятия бороздовых проб при неравномерном распределении полезного компонента (по Б. И. Галкину)

эту глубину нужно не нормально к той поверхности, в которой проходится борозда, как это делается обычно, а в направлении падения тела» (см. рис. 99). Одним из профилактических мероприятий является выравнивание резко выступающих бугорков на месте намечаемой борозды.

В подземных горизонтальных выработках, проходимых по простиранию рудных тел, борозды необходимо проводить в передовых забоях. В случае невозможности опробования передовых забоев (наример, в связи с форсированной проходкой) допускается проведение борозд по кровле или стенке, что, однако, по ряду причин является менее удобным.

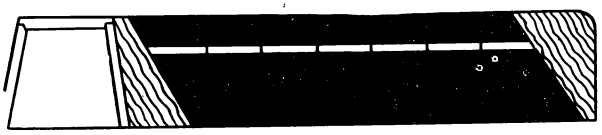


Рис. 100. Расположение секционной борозды на стенке орта, пересекающего мощное рудное тело

В горизонтальных выработках, проходимых вкрест простирания рудных тел, борозды располагаются по стенкам (рис. 100). При этом может опробоваться одна стенка или обе. В последнем случае две противоположные борозды объединяются в одну пробу. Отдельная обработка и анализ рудного материала каждой из противоположных борозд производятся в крайне редких случаях, в частности, когда обе стенки обнажают различные типы руды.

Из кровли выработок, пройденных вкрест простирания рудных тел, обычно пробы не берутся. Почва этих выработок также, как правило, не

опробуется. Необходимость в опробовании ее может возникнуть лишь в весьма неустойчивых рыхлых залежах или же если стенки по каким-либо причинам в свое время не опробовались, а выработка закреплена сплошной крепью. В этом случае почва тщательно защищается и рудное тело вскрывается на глубину 10—20 *см*. Направление борозд принимается с учетом изложенных выше правил вдоль выработки.

В выработках, пройденных по падению (и восстанию) рудных тел, борозды располагаются по стенкам горизонтально при крутом падении рудных тел и вертикально при пологом. В шахтах и шурфах, пересекающих рудные тела, борозды проводятся по стенкам вертикально.

В канавах борозды располагаются исходя из общего правила по линии наибольшей изменчивости содержания исследуемых компонентов; они могут проводиться по стенкам канавы или по дну (рис. 101).

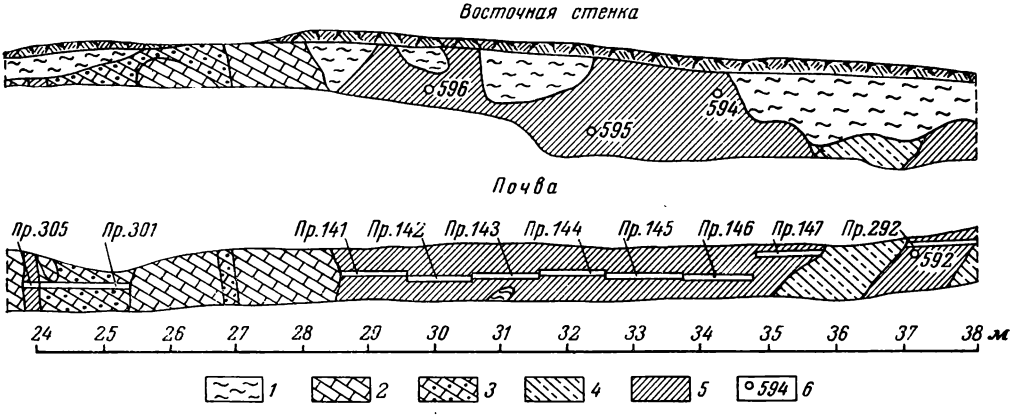


Рис. 101. Зарисовка части канавы на Курганском полиметаллическом месторождении
1 — делювий; *2* — известняки; *3* —оруденелые известняки; *4* — сланцы; *5* — окисленные руды; *6* — места взятия образцов

Опробование вмещающих пород (там, где оно необходимо) должно быть выборочным, если геологическая документация и результаты достаточного числа взятых вначале секционных проб указывают на постоянное, но непромышленное содержание в них исследуемых компонентов, не говоря уже о случае отсутствия во вмещающих породах рудной минерализации. В этих условиях опробование боковых пород быстро прекращается и возобновляется лишь время от времени — при переходе разведочных или подготовительных работ на другие участки по простиранию и падению — для контроля сделанных ранее выводов.

При опробовании передовых забоев (в горизонтальных выработках, пройденных по простиранию рудного тела) пробу составляют обычно из материала одной борозды. Только иногда при крайне неравномерном оруденении отбиваются две или даже три параллельные борозды, материал которых смешивается и образует одну пробу. Если опробование производится не в передовом забое, а по кровле или по стенкам выработок, то отбивается эквивалентное количество борозд, а именно: если передовые забои опробуются через 2 *м*, причем в каждом забое отбиваются две борозды, то в стенке или кровле выработки борозды отбиваются через 1 *м*, т. е. с каждого 2-метрового отрезка берутся две борозды которые, как и в предыдущем случае, смешиваются и образуют одну пробу. Аналогично поступают при опробовании гезенков и восстающих.

Систематическое опробование шурфов, пересекающих тела полезных ископаемых с неравномерным и весьма неравномерным распределением полезных компонентов, рационально производить двумя бороздами по двум противоположным стенкам. Отбойка борозд по четырем стенкам шурфов

производится очень редко — при опробовании месторождений с крайне неравномерным оруденением.

Борозды, отбиваемые в ортах и квершлагах при большой мощности рудного тела, обычно не объединяются; только в случае, когда опробуются обе стенки, объединяются две противоположные пробы.

На месторождениях, содержащих руды с полосчатой, слоистой и некоторыми другими текстурами, иногда требуется охарактеризовать каждую полосу (слой, прослоек) или смежную группу их отдельно. Для этого борозда разбивается на секции, число которых соответствует количеству подлежащих исследованию разностей руд, выделяемых при осмотре опробуемой поверхности.

Секционное опробование (рис. 102) освещает характер изменения содержания промышленно ценных и других компонентов, что в свою очередь позволяет выяснить условия их накопления, а также решить вопрос о возможности селективной эксплуатации.

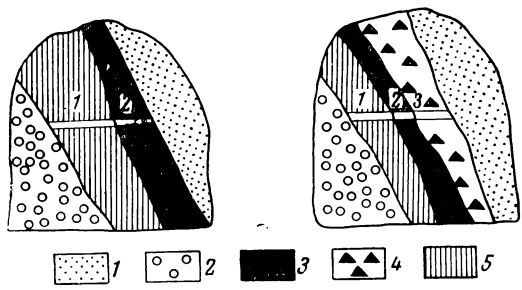


Рис. 102. Секционное опробование на месторождении Ni-Co-руд

1 — песчаники; *2* — полиминеральные скарны; *3* — сплошные сульфидные Ni-Co-руды; *4* — брекчированные руды; *5* — карбонатная метасоматическая порода с вкрапленностью и прожилками сульфидов

Необходимо подчеркнуть, что производство систематического секционного опробования целесообразно только в тех случаях, когда селективная выемка частей рудного тела, освещаемых отдельными секциями, представляется технически осуществимой и рациональной с технологической и экономической точек зрения. Во многих случаях прежде, чем вводить систематическое секционное опробование, полезно убедиться в его рациональности путем проведения выборочного секционного опробования и раздельной добычи руд из этих секций.

При проектировании и осуществлении селективной выемки систематическим секционным опробованием охватываются подготовительные и очистные выработки. Кроме того, систематическое секционное опробование производится при неясных границах зон оруденения, например вкрапленных руд, постепенно переходящих в пустые породы. Длину проб (секций) в этих случаях уменьшают, чтобы точнее уловить переход. Граница промышленного оруденения в подобных месторождениях является условной и устанавливается в выработках лишь опробованием.

Длина секций зависит от степени изменчивости вещественного состава (если она не определяется различиями в минеральном составе) и условий производства селективной эксплуатации. Особенно коротких секций при секционном опробовании, если секции имеют одинаковые размеры, принимать не следует.

В выработках, вскрывающих мощные вкрапленные рудные тела, во всех условиях производится секционное опробование. При этом, если руда имеет однородное строение, то длины борозд принимаются равными от 1 до 2—3 *м*. Нижний предел — 1 *м* (редко 0,5 *м*) — обычно принимают в случае неравномерного оруденения и неясных границ оруденения, которые определяются в таких случаях по данным опробования. 2—3-метровые пробы берутся при более четких границах залежей с вмещающими породами.

Наиболее распространенной формой борозд является прямоугольная, в которой ширина больше глубины. Применяются также борозды треугольной формы, которые, однако, сколько-нибудь значительного распространения не имеют. В весьма крепких монолитных нетрещиноватых рудах, особенно кварцевых, отбойка треугольных борозд осложняется тем, что скалывание руды в них под более или менее постоянным углом практически невоз-

можно из-за скольжения зубила. В трещиноватых рудах, тем более с различной крепостью отдельных участков, опробование треугольными бороздами ведет к ошибкам из-за того, что менее крепкие разности руды могут оказаться в избытке и обусловить систематическое обогащение или обеднение пробы.

При отбойке прямоугольных борозд возможность внесения систематических ошибок за счет указанного обстоятельства уменьшается, так как соблюсти более или менее правильное прямоугольное сечение легче, чем треугольное. Однако придание борозде правильного прямоугольного сечения в крепких и средней крепости трещиноватых рудах также часто затруднено.

Сравнение результатов опробования прямоугольными и треугольными бороздами на некоторых полиметаллических, медных, метаморфических железорудных и других сравнительно простых месторождениях указывает на возможность применения в условиях этих месторождений борозд треугольного сечения. Что касается производительности отбойки борозд, то она, как правило, бывает выше при треугольном сечении.

На многих уральских медноколчеданных месторождениях широким распространением пользуются так называемые «пунктирные» борозды. Это борозды весьма неправильного сечения, отбиваемые по линии наибольшей изменчивости не сплошь, а с некоторыми перерывами. К этому же типу относятся «линейные» пробы, представляющие собой непрерывные борозды значительно меньшего, чем обычно, и невыдержанного поперечного сечения. Опыт показывает, что такое опробование дает в указанных условиях удовлетворительные результаты. Следует, однако, отметить, что нельзя рекомендовать применение пунктирных и линейных борозд без тщательной проверки их нормальными бороздами. Применение пунктирных борозд при полосчатой текстуре руд может вызывать систематические ошибки.

Поперечные размеры борозд определяются минимально необходимыми весами проб, которые зависят от характера распределения исследуемых компонентов в рудном теле и ряда других факторов. Эта зависимость в настоящее время не совсем ясна. Вместе с тем опыт и некоторые теоретические предпосылки указывают на то, что точность опробования определенного участка месторождения, например подготовленного к добыче блока, часто существенно не зависит от веса проб (начиная, конечно, с некоторого их минимального предела), а обусловлена главным образом их количеством. Таким образом, лучше взять из того же блока больше бороздовых проб малого сечения, чем меньшее число борозд большого сечения.

Рекомендуемые поперечные сечения прямоугольных борозд в зависимости от степени неравномерности оруденения и мощности рудных тел приведены в табл. 22, основанной на неоднократно сопоставленных эмпирических данных.

Таблица 22

Поперечные сечения прямоугольных борозд (в *м*)

Характер оруденения	Мощность рудных тел		
	больше 2,5—2 *м*	от 2,5—2 до 0,8—0,5 *м*	меньше 0,5 *м*
Весьма равномерный и равномерный	5×2	6×2	10×2
Неравномерный	8×2,5	9×2,5	10×2,5
Весьма неравномерный и крайне неравномерный	8×3	10×3	12×3

Такие сечения рекомендуется принимать для руд средней крепости, крепких и весьма крепких. Они могут несколько увеличиваться, если текстура и физические свойства руд будут осложнять отбойку борозд более или менее правильного сечения. При секционном опробовании, особенно при выборочном, когда отдельные секции могут быть очень короткими, сечения борозд должны быть также увеличены.

Не может вызвать возражений и некоторое увеличение сечения борозд в мягких рудах, так как оно не отразится сколько-нибудь существенно ни на производительности отбойки, ни на производительности обработки проб. Значительное же уменьшение сечения борозд по сравнению с указанными в табл. 22 должно быть обосновано. (В качестве обоснования требуются сравнительные данные опробования бороздами различных сечений.)

При опробовании россыпных месторождений золота, платины, касситерита, вольфрама и некоторых других редких металлов размеры борозд должны быть больше, в некоторых случаях даже в несколько раз больше предложенных выше.

Ручная отбойка обычно производится при помощи зубила или кирки и молотка. Вес молотка должен быть 1,75—2,5 *кг*. Наиболее удобная длина зубил и кирок 20—40 *см*. Отбойка более или менее широких борозд в рудах средней крепости и крепких производится в следующем порядке: сначала отбивается узкий (7—8 *мм*) верхний вруб, затем такой же нижний вруб, и после этого ведется отбойка между врубами. В мягких рудах борозда может высекаться при помощи кайлы. Довольно эффективным может оказаться применение «топора-кайлы», предложенной В. Г. Соловьевым.

Подготовка забоя, стенки или кровли выработки к опробованию заключается в предварительной их зачистке и наметке места отбойки борозд.

При отбойке борозды необходимо следить за тем, чтобы ширина и глубина ее были, по возможности, всюду одинаковыми (но измерять эту глубину, как указывалось выше, нужно по падению тела) и чтобы твердый материал отбивался наравне с мягким. Отбитый материал необходимо принимать на лист тонкого железа или на брезент, следя за тем, чтобы в пробу не попадали посторонние частицы с кровли и стенок выработки и чтобы отбитая руда не разбрасывалась.

Механическая отбойка бороздовых проб, в частности перфораторная, до последнего времени в практике применения не находила. Однако попытки механизации отбойки проб указывают на возможность значительного повышения производительности пробостбора. Работы в этом направлении, безусловно, целесообразны.

Бороздовый способ отбора проб приемлем почти для всех коренных, а также для многих россыпных месторождений. Он иногда оказывается неэффективным при опробовании канав, вскрывающих весьма неравномерные жильные рудные тела, и совершенно неприменим при некоторых брекчиевидных текстурах руд (в этом случае он влечет за собой систематические ошибки), а также на некоторых золоторудных и других месторождениях с очень малым размером рудных тел, на платиновых месторождениях с крайне неравномерным распределением платиноидов, на месторождениях драгоценных камней.

К недостаткам бороздового способа относится малая производительность отбойки проб в крепких и весьма крепких рудах, иногда снижающая интенсивность проходки горных выработок. Это обстоятельство в некоторых случаях заставляет рекомендовать замену бороздового способа одним из простейших способов отбора проб (шпуровым, точечным, способом вычерпывания). Необходимо, однако, иметь в виду, что такая замена имеет значение главным образом при детальной разведке со значительным объемом горных работ и при эксплуатационных работах. В условиях же предварительной и даже детальной разведки с относительно малым объемом горных работ она обычно не имеет смысла.

Задирковый способ

Этот способ заключается в отбойке (задирке) ровного слоя полезного ископаемого по всей обнаженной части тела в забое, кровле или почве горной выработки. Опробование почвы иногда целесообразно производить лишь в канавах. Длина задирки при опробовании кровли горных выработок

и почвы канав принимается от 1 до 2 *м*. При опробовании забоев она определяется их высотой. Глубина задирки (отбиваемого слоя) принимается равной 5—10 *см*. Вес задирковой пробы зависит от мощности рудных тел.

Отбойка проб должна производиться с особой тщательностью; задирка неровным слоем, например, когда более мягкий рудный материал, приуроченный к висячему или лежачему боку залежи, поступает в пробу в относительно большем количестве, может привести к существенным ошибкам (к разубоживанию или обогащению проб). В связи с этим надо уделять большое внимание подготовке участков, подлежащих опробованию: прежде всего они должны быть по возможности выровнены.

При большой обнаженности площади рудных тел отбойка задирковых проб представляет собой трудоемкий и медленный процесс, который может отрицательно влиять на темпы проходки горных выработок. Обработка задирковых проб большого веса также занимает много времени и требует значительных материальных затрат. Поэтому применение рассматриваемого способа должно быть, по возможности, ограничено. Задирковым способом следует пользоваться лишь в тех условиях, когда другие способы опробования не могут дать надежных результатов, а именно:

1) в процессе разведки канавами жильных месторождений малой мощности с весьма неравномерным и крайне неравномерным распределением исследуемых компонентов;

2) при опробовании тонких жил в подземных горных выработках и при контрольном опробовании жильных рудных тел средней и главным образом малой мощности;

3) при опробовании выходов золоторудных месторождений, характеризующихся наличием самородков золота.

Валовой способ

Валовое опробование характеризуется медленностью производства, высокой стоимостью, а также сложностью определения содержания полезного компонента в случае, когда горные выработки вместе с рудой обнажают вмещающие породы. Поэтому, если задачей опробования является только определение содержания тех или иных компонентов, валовой способ применяется очень редко — только в тех случаях, когда ни один из описанных выше способов взятия проб не может дать надежных результатов.

Применение валового способа определяется в одних случаях малыми размерами рудных тел в сочетании с весьма неравномерным и крайне неравномерным характером оруденения, в других — специфическими текстурами руд: брекчиевыми, конгломератовыми и др., и, наконец, в третьих — особенностями испытаний проб данного полезного ископаемого (например, слюд).

В пробу может отбираться вся рудная масса с каждой второй или третьей уходки или только некоторая ее часть. Решение этого вопроса зависит от степени неравномерности распределения исследуемых компонентов, характера необходимых испытаний и других условий. Так, например, валовое опробование некоторых месторождений вольфрама, молибдена и олова дает удовлетворительные результаты при начальных весах проб 1—1,5 *т*. И только если из рудной массы предполагается отбирать концентрат, начальные веса проб увеличиваются до 2—3 *т*. Когда вес рудной массы, отбитой за один цикл проходки, сильно превышает указанный, производится сокращение пробы. Оно осуществляется тут же у забоя путем отбора в пробу *n*-й (2-й, 3-й, 5-й, 10-й) лопаты.

Вопрос о том, которую по счету лопату нужно брать в пробу, решается с учетом количества рудной массы, получаемой за цикл проходки. В обычных условиях нет необходимости брать особенно большое число частичных проб (лопат). Опыт опробования богатых неравномерных ртутных руд Никитовского месторождения показывает, что вполне удовлетворительные ре-

зультаты дает отбор 8-й лопаты. Вместе с тем следует иметь в виду, что сокращение пробы тачками, бадьями и вагонетками, когда в пробу поступает каждая 5-я или даже 10-я из них, может привести (при относительно небольшом их числе) к серьезным ошибкам. Надо помнить, что точность опробования существенно зависит от числа частичных проб.

Сплошное валовое опробование, без интервалов, производится на многих слюдяных месторождениях, на месторождениях драгоценных и оптических камней и на некоторых месторождениях редких металлов и платины, если рудные тела имеют небольшие размеры и характеризуются крайне неравномерным оруденением (резко обособленные «погреба», кустовые, гнездовые и другие скопления).

В рассматриваемом случае проба часто не подвергается обычной обработке, т. е. сокращению до лабораторного веса, а целиком поступает на эксплуатационную установку (обогатительную фабрику, бегунную чашу и т. п.), и содержание полезных компонентов определяется для всего материала пробы. Длина участка рудного тела, который должен быть охарактеризован одной пробой, не только при обычной обработке проб и анализе их в лаборатории, но и при пропуске их через эксплуатационную установку, должна быть при таком характере оруденения, по возможности, минимальной: не более 4—5 *м*.

В тех случаях, когда обработка ведется обычным способом, целесообразнее обрабатывать рудный материал не с 4—5 *м* проходки, а лишь с одной заходки. В дальнейшем, если в этом будет необходимость, две-три лабораторные пробы могут быть объединены в одну.

Следует иметь в виду, что пропуск через эксплуатационную установку рудной массы, добытой в разведочных или подготовительных выработках, часто бывает не только полезен, но и необходим. При этом можно пойти на резкое увеличение длины проб — до 15 *м* и даже до 20—25 *м* в зависимости от мощности рудного тела, масштаба установки и характера технологического процесса. Получение надежных результатов опробования обусловливается в этом случае количеством пропущенной рудной массы: чем ее больше, тем точнее результаты. Содержание промышленно ценных компонентов определяется с учетом потерь при технологической обработке и контролируется опробованием обрабатываемой рудной массы.

Когда горными выработками обнажаются не только рудные тела, но и вмещающие породы, валовые пробы позволяют определить содержание промышленно ценных компонентов лишь в рудной массе, т. е. в руде, в той или иной мере «загрязненной» вмещающими породами.

Для определения содержания компонентов в руде, если границы рудного тела резкие, а вмещающие породы однородные и совершенно неоруденелые, или если непромышленное содержание в них компонента постоянно, достаточно производить: 1) точные зарисовки выработок в масштабе 1 : 20 и 2) взвешивание валовых проб рудной массы. Содержание компонента в руде вычисляется по формуле

$$C_{\text{р}} = \frac{C_{\text{м}} q_{\text{м}} - C_{\text{п}} q_{\text{п}}}{q_{\text{р}}}, \qquad (38)$$

где $C_{\text{р}}$, $C_{\text{м}}$, $C_{\text{п}}$ — содержание определяемого компонента соответственно в руде, рудной массе и вмещающих породах;

$q_{\text{р}}$, $q_{\text{м}}$, $q_{\text{п}}$ — вес руды, рудной массы и вмещающих пород.

Если возможна отборка пустых пород из рудной массы вручную, то отобранная порода также должна быть взвешена и учтена при определении $C_{\text{р}}$.

В условиях весьма равномерного и равномерного оруденения количество валовых проб, отбираемых на месторождении, должно быть ~6—8, в случае неравномерного оруденения ~15—20, а в случаях весьма неравномерного и крайне неравномерного ~30—40. При этом должна учитываться

и изменчивость соотношения обнажающихся в забоях площадей руды и вмещающих пород.

Способ задирки и валовой являются наиболее точными способами отбора проб. Однако Б. И. Галкин (1953) показал, что и при этих способах относительная ошибка опробования может достигать 20%, если опробуются выработки, проходящие по простиранию рудного тела со слоистой, полосчатой текстурой. Чтобы избежать этой ошибки, необходимо валовую или задирковую пробу отбирать таким образом, чтобы длина всех слоев, попадающих в пробу, была одинаковой в направлении падения тела. Для этого достаточно, чтобы площадка, с которой отбивается материал в пробу, имела форму параллелограмма, две стороны которого параллельны направлению падения тела (рис. 103).

Наибольшее значение валовой способ опробования имеет для технологических испытаний, требующих больших масс полезного ископаемого. Он незаменим также при испытаниях физико-механических свойств (объемного веса, пористости, кусковатости, коэффициента разрыхления и т. п.) полезного ископаемого и вмещающих пород.

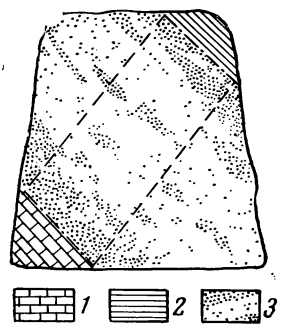


Рис. 103. Схема отбора проб при полосчатом распределении ценного компонента в рудном теле (по Б. И. Галкину)

1 — известняки; *2*—сланцы; *3* — руда (густота точек отражает концентрацию ценного компонента). Пунктиром показан рекомендуемый контур валовой или задирковой пробы

Для технологических испытаний валовые пробы отбираются с учетом распределения различных сортов руд в пространстве, их запасов и условий разработки месторождения.

Изучение пространственного распределения оруденения производится непрерывно в процессе как разведочных, так и эксплуатационных работ. При этом в первую очередь учитываются технологические особенности руд. Если в процессе разведки намечается несколько типов руд, требующих применения различных схем обогащения или переработки и раздельного подсчета запасов, то, очевидно, и пробы для технологических испытаний нужно брать отдельно по каждому типу руд. Если же некоторые или все типы руд будут смешаны на обогатительной фабрике, то относительные количества их в валовой пробе должны быть пропорциональны запасам этих типов.

Условия разработки, в частности система очистных работ, бывают вполне ясны лишь при наличии технического проекта; при отсутствии технического проекта они учитываются по аналогии с другими рационально разрабатываемыми месторождениями, близкими по геологическим и горнотехническим условиям к данному месторождению.

Перед началом валового опробования для технологических испытаний нужно стремиться выяснить: 1) вещественный состав руд с количественной характеристикой вкрапленности полезных и «пустых» минералов по минеральным формам, с четкой обрисовкой текстур и структур руд; 2) технологические требования промышленности к разведываемому сырью и концентратам; 3) существующие методы обогащения и переработки, а также влияние свойств руд и примесей на различные показатели обогащения и переработки; 4) степень освоенности методов обогащения и переработки этих руд промышленностью.

При необходимости раздельного испытания различных типов руды каждая технологическая проба должна представлять определенный тип руды, например: в зоне окисления полиметаллических месторождений — богатые свинцовые руды, цинково-свинцовые, исключительно или почти исключительно цинковые; среди первичных руд — сплошные сульфидные (состоящие почти сплошь из сульфидов), агрегатные сульфидные (с тем или иным количеством нерудных минералов), вкрапленные.

Кроме основных типов, часто имеются переходные разности руд. Они, как правило, должны быть охарактеризованы дополнительными технологическими пробами меньшего веса по сравнению с основными.

Каждый тип руд и переходные разности должны быть представлены, кроме проб, достаточным количеством образцов, по которым детально изучается вещественный состав характеризуемых ими технологических проб. По этим образцам выясняется полный минеральный состав руды и свойства каждого отдельного минерала: форма и размеры, твердость, хрупкость, спайность, удельный вес, характер и степень изменения под действием вторичных процессов, характер прорастания минералами и прочность срастания отдельных минералов, физические свойства, характер поверхности минералов с точки зрения их смачиваемости и т. д.

Изучается минеральный состав и вмещающих пород, попадающих в руду при отбойке.

Наряду с минералогическим методом для изучения образцов широко используются химические и спектральные анализы, причем роль последних повышается с ростом требований на рассеянные и редкие элементы. На эти элементы анализируются все разновидности руд и, если есть необходимость, то и отдельные минералы.

Все эти сведения, значительная часть которых может быть получена в процессе повседневного геологического изучения месторождения, необходимы для правильного выбора способа технологических испытаний, интерпретации их результатов и промышленной оценки месторождений.

Состав рудной массы в некоторой мере зависит от принятой системы разработок. В связи с этим и условия отбора технологической пробы должны быть максимально приближены к условиям добычи. Например, при отбойке проб в жильных рудных телах малой мощности широкими подготовительными выработками следует пользоваться с осторожностью. Лучше пройти узкие, соответствующие ширине очистного пространства восстающие выработки. Возможность организации рудоразборки в процессе эксплуатации также нужно учитывать при отборе и обработке технологических проб. При этом следует отличать рудоразборку в забоях от рудоразборки рудной массы на поверхности. Часто бывает необходимо сопоставить соответствующие показатели (содержание промышленно ценных компонентов в крупной и мелкой руде, а также в отсортированной пустой породе) по тем и другим условиям рудоразборки.

Особенно большое значение имеет учет системы разработок при решении вопроса о возможности селективной выемки и выдачи различных типов руд. Опыт показывает, что при относительно небольших объемах, занимаемых незакономерно расположенными в пространстве различными типами руд, селективная выемка и выдача их оказываются настолько сложными, что от них приходится отказываться. В этих случаях селективная добыча может быть осуществлена только путем рудоразборки.

Таким образом, типовыми технологическими пробами должны быть представлены ведущие разности руд, локализация которых в пространстве позволяет производить подсчет их запасов и обеспечивает их раздельную выемку и выдачу.

Для того чтобы состав технологической пробы (и, в частности, содержание в ней промышленно ценных компонентов) соответствовал по возможности среднему составу выдаваемой при эксплуатации за определенный промежуток времени (неделю, декаду, месяц) рудной массы, отбойка технологической пробы должна производиться в различных участках, представляющих один и тот же тип руд. Однако нет необходимости брать слишком большое число пунктов отбойки для одной и той же (типовой) пробы. Необходимо внимательно изучить все эти пункты и выбрать из них несколько, отвечающих среднему составу руд данного типа.

В сложной геологической обстановке это изучение должно базироваться на данных дополнительного химического опробования и достаточном коли-

честве определений минерального состава. При значительных расстояниях между пунктами отбора проб в подземных выработках дополнительное химическое опробование обычно оказывается необходимым независимо от сложности геологической обстановки.

В стадии предварительной разведки отбираются пробы для лабораторных испытаний. В такую пробу отбирается руда с некоторого интервала выработки (1—2 *пог. м*) со всеми безрудными включениями в контуре залежи, которые не могут быть отделены в процессе эксплуатации (небольшие блоки и прослои пустых или слабооруденелых пород). При отсутствии горных выработок, позволяющих взять из глубинных частей месторождения валовые пробы, последние составляются из материала, добываемого в буровых скважинах (керн и шлам).

В стадии детальной разведки, когда уже обязательно проходятся горные выработки, валовые пробы отбираются в этих выработках. Наиболее благоприятными условиями надо считать такие, когда имеется возможность отобрать пробы, характеризующие изменение качества руды и в горизонтальном направлении (из штолен и штреков), и в вертикальном (из шахт). При этом возможно объединение однотипного рудного материала из нескольких выработок для характеристики среднего качества полезного ископаемого на некотором участке площади месторождения. Минимальное количество валовых проб для каждого типа руд — три-четыре.

Валовые пробы, отбираемые в период детальной разведки, предназначаются главным образом для испытаний в полузаводском или заводском масштабе. Эти пробы должны представлять средний состав рудной массы с вероятным разубоживанием за счет включения приконтурных пустых пород, не поддающихся отделению при добыче. Если же в условиях будущей эксплуатации возможна рудоразборка, то материал пробы должен быть подвергнут такой же сортировке.

Методика отбора заводских и полузаводских проб должна устанавливаться совместно геологом, горняком и технологом, так как стоимость испытаний этих огромных проб очень велика и повторение их в случае неправильного отбора пробы влечет за собой значительные потери средств.

Веса проб, предназначенных для технологических испытаний, зависят от масштаба испытаний. Для лабораторных испытаний металлических и многих неметаллических руд обычно ограничиваются относительно небольшим количеством материала: от 100—250 до 1000 *кг*. При испытаниях в полузаводском масштабе веса проб увеличиваются до 10—15 *т*, а при испытаниях в заводском масштабе они определяются производительностью технологических агрегатов и временем, необходимым для проведения испытаний. Такие пробы весят от первых десятков до сотен тонн.

Отбор проб для выяснения некоторых физико-механических свойств руд и вмещающих горных пород, как правило, производится горняками. Однако в ряде случаев пробы и образцы для технических испытаний могут отбираться и геологом-разведчиком, который должен при этом руководствоваться специальными методиками испытания этих проб.

Основным требованием к образцам рыхлых горных пород и руд, предназначенным для технических испытаний, является сохранение их естественного состояния, прежде всего структуры и влажности.

Следует также иметь в виду, что некоторые виды технических испытаний горных пород и руд (определение объемного веса, кусковатости, коэффициента разрыхления и т. п.) могут выполняться и выполняются попутно при отборе проб для технологических испытаний и в связи с производством этих испытаний.

Нередко валовое опробование производится с целью классификации горнорудного сырья по естественной крупности. Эту задачу приходится решать, например, при опробовании месторождений фосфоритов (всех промышленных типов, как платформенных, так и геосинклинальных), гравия, некоторых железных и марганцовых руд осадочного генезиса,

а также некоторых полиметаллических руд в зоне окисления. Такое опробование в преобладающем большинстве случаев является выборочным.

При валовом опробовании месторождений фосфоритов (желваковых, зернистых и зернисто-ракушечниковых, пластовых) в пробу поступает вся масса извлеченного фосфорита со всей мощности пласта. При наличии нескольких фосфоритовых слоев каждый из них извлекается и опробуется отдельно. Основная задача сводится к сбору материала для технологической характеристики сырья, для получения необходимых технических показателей (разрыхление, объемный вес и др.) и для контроля других способов опробования. Пробы отбираются в разведочных шурфах, реже в штольнях сечением $\geqslant 1{,}5$—2 $м^2$.

В шурфе тщательно замеряется мощность фосфоритового слоя и сечение шурфа по этому слою для последующего определения коэффициента разрыхления. Извлеченная проба высыпается на брезент или щит и подвергается дальнейшей обработке — полевому рассеву с целью определения процента выхода, продуктивности и химического состава каждого класса. Это позволяет выявить, в каком классе концентрируется наибольшее количество желваков и, следовательно, что надо относить к концентратам и что к хвостам.

После перемешивания руды из нее отбирается проба весом 40—100 *кг* для определения влажности и проба весом 250—500 *кг* для дальнейшей обработки. (Вес пробы увеличивается с увеличением крупности желваков.) Последняя подвергается классификации на грохоте с диаметром отверстий: 10; 4; 1 и 0,5 *мм*, в результате чего проба оказывается разделенной на классы: >10; 10—4; 4—1; 1—0,5 и $<0{,}5$ *мм*. Грохочение обычно применяется мокрое, что помогает отмыть фосфориты от глинистой породы. От каждого класса отбирается проба для определения влажности, и, наконец, по всем данным определяется продуктивность исходной руды и каждого ее класса.

Для разных месторождений промышленными считаются различные классы. Количество валовых проб (шурфов) при разведках фосфоритовых месторождений обычно бывает небольшое.

Аналогично производится валовое опробование и на месторождениях гравия, разведываемых в основном шурфами и иногда дудками. Здесь наряду с классификацией гравия по крупности, определением объемного веса в целике и объемного коэффициента разрыхления отбираются пробы для испытания на сопротивление сжатию, износ от трения и ударов в барабане Деваля и т. д.

На железорудных месторождениях осадочного генезиса выборочное валовое опробование имеет целью также выяснение весового соотношения различных классов руды по естественной крупности, определение содержания ведущих компонентов в каждом из них, объемного веса и коэффициента разрыхления. При сокращении рудного материала, если оно оказывается необходимым после классификации, учитываются общие правила обработки проб, излагаемые ниже.

Количество проб определяется характером изменения упомянутых показателей. Как правило, оно бывает невелико. В частности, при разведке горизонтальных или пологих залежей бурением количество шурфов, задаваемых для взятия валовых проб, обычно не превышает 10—20% от количества скважин. При этом шурфы часто используются и для контроля результатов опробования скважин.

Разработка рудных тел малой мощности и тонких жил большей частью ведется с рудоразборкой. Для ориентировочного суждения о показателях такой эксплуатации перед началом ее часто производится валовое опробование с рудоразборкой. При этом сечение выработок, подлежащих опробованию, принимается по возможности такое же, как при эксплуатации.

Опробование выполняется в следующем порядке:

1) грохочение рудной массы, полученной за цикл проходки;

2) сортировка оставшегося на грохоте рудного материала.

Размеры отверстий грохота зависят от характера руды и чаще всего находятся в пределах 40—150 *мм*. Куски пустой породы, оставшиеся на грохоте, отбрасываются. Сростки пустой породы и руды, не прошедшие через грохот, разбиваются. Выделенная при этом пустая порода также отбрасывается, а руда поступает на грохот. В результате получаются две пробы: проба пустой породы, не прошедшей через грохот, и проба руды, прошедшей через грохот; каждая из них обрабатывается самостоятельно. По результатам анализа этих двух проб судят о содержании исследуемых компонентов в сортированной вмещающей породе и в руде.

При наличии среди убогой или средней руды богатых рудных скоплений в виде включений или прожилков может производиться отбор богатых штуфов («концентрата»). В этом случае получаются три самостоятельные пробы, характеризующие отобранную пустую породу, штуфную руду и руду, прошедшую через грохот.

2. ОТБОР ПРОБ ИЗ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Медленно-вращательное и ударно-вращательное бурение

В зависимости от крепости полезного ископаемого пробы из скважин могут отбираться буровой ложкой, змеевиком или желонкой.

Буровая ложка применяется в неустойчивых зонах полезного ископаемого, например при разведках кварцевых стекольных песков и суглинков с незначительными по размерам включениями бурых железняков, сидеритов и других минералов или пород.

Обязательным условием при опробовании таких зон является немедленное крепление стенок скважины. Колонна обсадных труб должна быть продвинута ниже забоя скважины на величину, не меньшую последующей забурки. Если это по техническим условиям невозможно, то необходимо после каждого подъема инструмента доводить фрезер до забоя, затем осторожно чистить скважину и только после этого производить забурку. И, наконец, при невозможности доведения каждый раз фрезера до забоя крепление необходимо вести с таким расчетом, чтобы незакрепленная часть скважины при следующем опускании инструмента на забой не превышала длины участка, с которой принято в данных условиях брать одну пробу. Эта последняя в общем случае берется с каждых 0,5—2,0 *м*.

Проба набирается с отдельных забурок, величина которых для чистых песков чаще всего не превышает 0,25—0,3 *м*, а для песков с включениями более или менее крупных частиц (галек) 0,10—0,15 *м*. Поднимаемые буровой ложкой пробы раскладываются на доске или фанерном листе, после чего весь материал с отдельных подъемов соединяется в общую пробу, соответствующую принятой длине опробуемого интервала. Упакованные в бумагу или мешочки пробы помещаются в ящик.

Взятие проб глин и глиноподобных материалов, например, некоторых адсорбентов, производится змеевиком. Снимаемая с него проба отскабливается от буровой грязи и также раскладывается на доске, но соединение материала нескольких подъемов в одну общую пробу в случае значительных колебаний качества полезного ископаемого не производится.

При извлечении полезного ископаемого желонкой проба представляет собой жидкую буровую грязь. Последняя выливается в баки, вода из которых после отстаивания сливается, а осадок помещается в железные коробки и высушивается на солнце или в печах.

Ударно-канатное и роторное бурение

При ударно-канатном и роторном бурении пробой служит буровая грязь, поднимаемая с забоя скважины обычной или пневматической желонкой. Вес сухой пробы с 1 *пог. м* колеблется в зависимости от диаметра скважины в пределах 45—220 *кг*. Во избежание ошибок опробования необходи-

мо обращать внимание на фактические веса проб, сравнивая их с расчетными, так как трещиноватость рудных тел может обусловить потери мелко- и тонкораздробленного рудного материала (это соображение относится и к ручному бурению).

Важно также предотвращать обогащение или разубоживание проб за счет соскабливания канатом со стенок скважины рудного материала, прибегая в необходимых случаях к креплению скважины, даже, если это связано с «потерей диаметра» или с расширением скважины.

В целях наиболее полной очистки забоя на границах участков, с которых рудный материал поступает в отдельно анализируемую пробу, по окончании первых подъемов желонки в скважину заливается вода. Заливка производится в несколько приемов, сопровождаемых каждый раз опусканием желонки, и только после того, как вода, поднимаемая желонкой, становится относительно чистой, приступают к дальнейшему долочению.

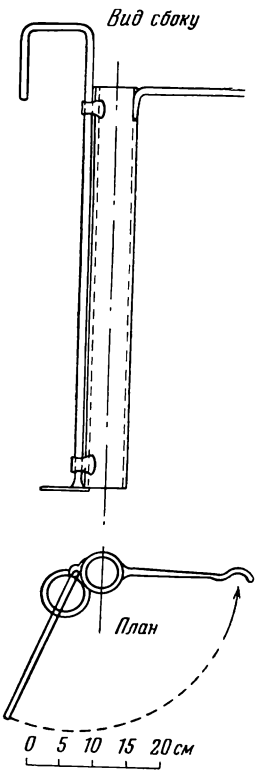


Рис. 104. Ручной пробоотборник системы Тихомирова и Коломейченко

Большой вес начальных проб и относительно сильное измельчение рудного материала долотом обусловливают необходимость и возможность сокращения проб непосредственно у скважины. Для этого американские инженеры рекомендуют пропускать буровую грязь через специальные делители. Однако в отечественной практике делители широкого применения не нашли. На Коунрадском комбинате их заменяли шламоприемными ящиками, из которых пробы брались ручным пробоотборником системы Н. Д. Тихомирова и С. М. Коломейченко. Ниже приводится краткое описание такого способа отбора проб (по Б. И. Галкину).

Поперечное сечение ящика 80×60 *см*, высота 50 *см*. При изготовлении особое внимание должно обращаться на прочность дна, принимающего на себя резкие удары тяжелой желонки. На Коунрадском комбинате такие ящики изготовляются из досок толщиной 5 *см* или из котельного листового железа. Ящики могут быть двух типов. В тех случаях, когда опробуются мелкие скважины, буримые передвижными станками без вышки, и ящик становится непосредственно на грунт, достаточно придать поперечным брусьям, укрепляющим дно ящика снизу, округлую форму, сделав ящик качающимся. После отбора пробы пробщик резким движением опрокидывает ящик, остаток шлама из него выливается на землю, ящик ополаскивается чистой водой и снова ставится в исходное положение. Если бурение производится с буровой вышкой, ящик должен быть поставлен на колеса, чтобы его можно было откатывать по деревянному настилу за пределы вышки и там выливать остаток шлама.

Ручной пробоотборник (рис. 104) представляет собой железную трубку диаметром 4—10 *см*. Длина его должна быть на 10 *см* больше глубины шламоприемного ящика. К верхнему концу пробоотборника приварена горизонтальная металлическая рукоятка длиной около 20 *см*. С противоположной стороны трубки сверху и снизу к ней привариваются два ушка, через которые проходит железный стержень диаметром около 1 *см* с двумя небольшими выступами, упирающимися в ушки и не дающими стержню смещаться в продольном направлении. Верхний конец стержня отогнут в виде горизонтальной рукоятки с загнутым вниз концом, а к нижнему концу приделана прочная круглая пластинка таким образом, чтобы она плотно прикрывала трубку

снизу в момент, когда обе рукоятки будут сведены вместе и отогнутый конец второй рукоятки окажется в выемке первой.

Отбор проб таким пробоотборником прост. По окончании вычерпывания шлама из скважины и перенесения его в шламоприемный ящик, содержимое последнего быстро перемешивается палкой, после чего в ящик погружается в вертикальном положении пробоотборник с рукоятками, разведенными в противоположные стороны. Когда пробоотборник станет нижним концом на дно ящика, его поворотом ручки закрывают снизу и быстро вынимают. Затем, открыв дно, шлам выпускают из пробоотборника в приготовленный для этого сосуд. Практика показала, что в большинстве случаев для того, чтобы отобрать пробу, отвечающую среднему химическому составу шлама в ящике, достаточно пяти-восьми погружений пробоотборника в точках, равномерно расположенных по сечению ящика. На Шерловой горе установлено, что расхождение в результатах опробования, выполненного с применением пробоотборника и другими приемами, составляет всего 5%.

Опробование должно производиться по всей мощности рудного тела, вскрытого буровой скважиной. Длина участка, приходящегося на одну пробу, принимается постоянной, не превышающей 1—1,5 *м*. Увеличение этой длины до 2—3 *м* (редко до 5 *м*) возможно лишь при сравнительно однородном строении рудных тел и только после накопления достаточного материала по детальному опробованию с интервалами 1—1,5 *м*.

При опробовании эксплуатационных скважин, пробуренных в карьерах для производства взрывных работ, длина пробы может быть равна высоте уступа карьера (5—10 *м*), если не производится селективная отбойка и отгрузка взорванной руды.

Просмотр рудного материала отдельных подъемов иногда указывает на необходимость секционного опробования (но длина секций не должна быть меньше 0,3—0,5 *м*). Если такой просмотр дает сомнительные результаты, их следует прокорректировать путем изучения рудного материала под бинокуляром. При этом может обнаружиться целесообразность предварительной протолочки и промывки проб в лотке или в другом приспособлении с тщательным сохранением хвостов. Промывке подвергается рудный материал отдельных подъемов.

Просмотр под бинокуляром полученных «концентратов», например сульфидных золотосодержащих руд или шлихов других золотых руд, позволяет установить не только их минеральный состав, но и ориентировочное содержание промышленного компонента, и тем самым облегчает составление секционных проб.

Такое предварительное изучение рудного материала имеет, однако, лишь вспомогательное значение и производится главным образом для рационального распределения секционных проб. Более детальное минералогическое изучение производится в дальнейшем по «отбросам» проб, получаемым в результате сокращения последних непосредственно на скважине.

Иногда бывает необходимо опробовать вмещающие породы кровли и почвы. В первую очередь на анализ направляют пробы с участков, непосредственно прилегающих к телу полезного ископаемого (на отрезках $\sim$ 0,3—0,5 *м*) с каждой его стороны. В зависимости от результатов анализа нескольких проб, полученных из первых скважин, решается вопрос о целесообразности опробования вмещающих пород по другим скважинам.

Материал, составляющий пробу, высушивается на железных листах и упаковывается в плотный мешок. Проба снабжается этикеткой и направляется в лабораторию для дальнейшей обработки и анализа.

Колонковое бурение

При колонковом бурении пробами служат: керн при достаточном его выходе, керн и шлам при недостаточном выходе керна и один шлам при отсутствии керна. На некоторых золоторудных месторождениях опробуются керн, шлам и муть.

Неполный выход керна или отсутствие его обусловливается различной твердостью минералов, слагающих рудное тело, раздробленностью и трещиноватостью руд, разрушением керна под действием гидравлических ударов промывочной воды, а также в связи с заклинкой керна в колонковой трубе и последующим истиранием его кусочков при вращении снаряда.

В целях повышения выхода керна, который обычно представляет собой более надежный материал для опробования, чем шлам, рекомендуется вести проходку рудных зон коронками возможно большего диаметра; чаще производить подъемы; применять, где это целесообразно, двойные колонковые трубы; бурить, где возможно, твердыми сплавами или алмазами вместо дроби.

Для того чтобы шлам, отобранный с пробуренного участка, удовлетворял всем требованиям, предъявляемым к материалу пробы, необходимо, чтобы он не терялся в трещинах, не «загрязнялся» рудой или вмещающими породами вышележащих горизонтов, и чтобы промывка скважин обеспечивала вынос всех частиц разбуриваемой руды независимо от их удельного веса. Для соблюдения этих условий следует тщательно следить за режимом подаваемой в скважину воды и выходящей из нее буровой мути и закреплять скважину, не останавливаясь перед затратой лишнего времени и средств даже на ее расширение, цементацию и обсадку трубами.

Порядок опробования при колонковом бурении может быть несколько различным в зависимости от конкретных условий:

1. При пересечении рудных тел средней мощности (до 2—2,5 *м*), в частности жильных, когда число скважин обычно бывает невелико и роль бурения сводится главным образом к выяснению, продолжаются ли эти тела на глубину или выклиниваются, а также к весьма ориентировочному определению содержания полезного компонента, необходимо вести секционное опробование. Длина секций при однородном строении рудных тел определяется необходимостью раздельной характеристики их центральной части, висячего и лежачего боков; в случае неоднородного строения она зависит также от количества макроскопически выделяемых разновидностей руд.

При опробовании висячего и лежачего боков залежи в первую очередь анализируются породы с участков, непосредственно примыкающих к рудной залежи, по 0,25—0,3 *м* с каждой стороны. Необходимость дальнейшего опробования вмещающих пород определяется результатами анализов нескольких первых проб, отобранных в указанном порядке.

2. При разбуривании крупных месторождений систематическое опробование керна производится также непрерывно по всей мощности тела полезного ископаемого. Длина участка, характеризуемого одной пробой, принимается в этих условиях равной 1—1,5 *м* и может быть увеличена до 2—3 *м*, а иногда даже до 5 *м*, для залежей сравнительно однородного состава.

Если детальное опробование и предварительное макроскопическое изучение керна указывают на возможность и необходимость выделения нескольких типов (сортов) руд, производится секционное опробование. При этом длина секций зависит от мощности участков, занимаемых различными типами руд. Минимальная длина их определяется условиями ведения селективной выемки и обычно при систематическом опробовании принимается равной 0,3—0,5 *м*. В редких случаях, связанных с детальным изучением строения и состава рудных тел, длина секций может быть меньше.

Соображения об опробовании вмещающих горных пород при разбуривании мощных рудных залежей остаются теми же, что и при опробовании залежей средней мощности.

Принимая такую относительно большую длину проб, как 2—3 *м* (иногда 5 *м*), следует иметь в виду, что отдельные рейсы, особенно при низком выходе керна, должны быть значительно более короткими: 1 *м*, а иногда

0,5 *м*. При этом после подъема снаряда следует прежде всего заметить, в каком месте колонковой трубы или коронки находится нижний конец извлеченного керна и тем самым установить длину керна, оставшегося в забое.

В пробу берется половина керна, расколотого по длинной оси; другая половина оставляется для минералогического изучения. Деление керна производится на керноколе или путем зажима в тисках, охваченных двумя полуцилиндрическими обоймами с продольным ребром на одной из них.

Если же предполагается накопление добываемого из скважин материала для технологических испытаний, то керн раскалывается по длинной оси на три части. При этом обычно половина керна выделяется для анализа на подлежащие определению компоненты (химическая проба), четверть — для технологических испытаний и четверть — для минералогического изучения (на хранение). Иногда для технологических проб может быть отобрана половина керна, а для химических проб — четверть.

3. При разбуривании залежей растворимых солей в пробу рекомендуется брать центральную часть керна. Для этого керн просверливается по длинной оси на станке сверлом (d=8 *мм*). Полученный в результате сверления порошок и служит пробой.

Необходимость взятия в пробу центральной части керна определяется тем, что часть материала на поверхности керна может быть растворена при бурении и проба, взятая из этой части керна, не будет отражать действительного состава соли.

4. Опробование шлама при разбуривании рудных месторождений обычно производится при выходе керна меньше 60—80%, но может оказаться необходимым и при 90-процентном выходе керна, если есть основание подозревать систематическое обогащение или разубоживание последнего.

Решению вопроса о целесообразности анализа шлама должен предшествовать тщательный просмотр керна. Полосчатая и брекчиевая текстуры руды, различная твердость рудных и жильных минералов — все это указывает на целесообразность производства анализов шлама. Наоборот, массивная текстура, свойственная всему рудному интервалу, тем более с тонкой вкрапленностью, особенно близких по твердости минералов, содержащих исследуемые компоненты, свидетельствует о возможности использования для пробы только керна даже при выходе его меньше 60%.

Шлам отбирается в пробу с тех же участков рудной залежи, что и керн. Таким образом, количество проб шлама должно соответствовать количеству проб керна.

Перед заклинкой керна скважина тщательно промывается, чтобы с забоя был вынесен весь шлам. При дробовом бурении часть шлама попадает в шламовую трубу, а часть выносится на поверхность и улавливается соответствующими приспособлениями[1]. Момент прекращения промывки определяется путем наблюдения за восходящей струей у устья скважины. Появление чистой воды указывает на то, что шлам с забоя вынесен и что следующая проба шлама не будет «загрязнена» материалом с предшествующего интервала.

Шлам (муть), собранный у устья скважины и извлеченный из шламовой трубы, помещается в невысокие железные коробки — противни — для сушки, после чего смешивается и поступает на обработку Таким образом, проба шлама является объединенной: она составляется из материала, собранного у устья скважины и из шламовой трубы. Истертая дробь, находящаяся в шламе, извлекается магнитом, если в материале нет магнитных минералов.

При алмазном бурении и бурении суррогатами в пробу поступает только шлам, собранный у устья скважины.

---

[1] При дробовом бурении шламом называют только ту часть буровой мути, которая оседает в шламовой трубе. Но в общем случае колонкового бурения слова муть и шлам — синонимы.

В целях полного улавливания шлама у устья скважины устанавливаются специальные приспособления. Получение шлама в них может осуществляться способом отсадки, способом фильтрации или комбинацией обоих способов.

Отсадка производится в чанах и желобах. В первом случае в пределах буровой вышки устанавливаются два вкопанных в землю чана, соединенных между собой патрубком. Поступающая из скважины буровая муть по желобу или шлангу направляется в первый чан, где она отстаивается; осветленная вода через патрубок стекает во второй чан. Таким образом, буровой шлам концентрируется в первом чане, откуда он выбирается через известные, принятые для данных условий промежутки, соответствующие пробуренным участкам. Собранный шлам помещается в железную коробку, просушивается и направляется на обработку.

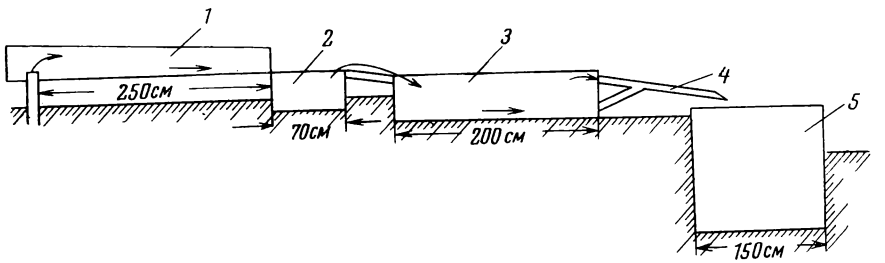


Рис. 105. Установка для сбора шлама
1 — желоб; *2* — ящик без перегородок; *3* — шламовый ящик; *4* — сточный желоб; *5*—бак

После того как получена первая проба, чан путем тщательной промывки приготавливается к приему пробы со следующего участка.

Более простым является приспособление, состоящее из желоба, шламового ящика и бака (рис. 105). Предварительная отсадка шлама производится сперва за перегородками желоба, а затем уже в шламовом ящике, причем струя направляется с таким расчетом, чтобы путь ее был максимальным. Для этого вырезы в перегородках желоба располагаются в шахматном порядке.

Способ фильтрации состоит в том, что на боковые концы тройника, навинчиваемого на обсадные трубы, надевается по джутовому мешку. Буровая муть, выходящая через эти концы, поступает в мешки, где и задерживается шлам. Практически способ фильтрации обычно не удается использовать.

5. В случаях рыхлых и неустойчивых пород, когда выход керна бывает небольшой или вовсе отсутствует (даже при бурении с двойными колонковыми трубами), а опробование шлама становится абсолютно ненадежным из-за потери буровой мути, рекомендуется бурить без промывки зубчатками («затирка всухую») с уменьшенным числом оборотов и короткими интервалами или применять грунтоносы; «затирка всухую» на Чиатурском и некоторых других месторождениях оказалась вполне эффективным способом.

3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР СПОСОБА ОТБОРА ПРОБ

Факторы, влияющие на выбор способа отбора проб на каком-либо месторождении, могут быть разделены на две основные группы: геологические и общие.

К геологическим факторам относятся: 1) промышленный тип месторождения; 2) элементарный и минеральный состав руд; 3) мощность (и форма) тел полезного ископаемого; 4) размеры (и форма) тел полезного ископаемого; 5) внутреннее строение тел полезного ископаемого; 6) размеры зерен полезного ископаемого; 7) степень неравномерности распространения полезных минералов; 8) крепость руд.

Общими факторами надо считать: 1) представительность проб; 2) задачи опробования; 3) объем работ; 4) условия производства работ; 5) срочность производства работ и участие пробоотбора в проходческом цикле.

Геологические факторы

Промышленный тип месторождения. Ведущую роль в выборе способа опробования играет промышленный тип месторождения, характеризуемый прежде всего формой и качеством (см. раздел первый, глава 1). Очень часто промышленный тип месторождения на поисково-разведочном этапе устанавливается главным образом на основании всех региональных и локальных геологических признаков. Обычно в этот период многие геологические элементы, как, например, структура месторождения, минеральный состав и текстура руд, еще не изучены. Но намеченный, и тем более установленный, промышленный тип месторождения уже подсказывает правильный выбор способов опробования.

В качестве иллюстрации можно рассмотреть месторождения почти любого полезного ископаемого. Так, промышленные типы месторождений тантало-ниобатов кратко можно именовать так: пегматитовый, карбонатитовый, лопаритовый, россыпной. Едва ли нужно доказывать, что месторождения, принадлежащие к этим типам, требуют различного подхода к опробованию. Хорошим примером, показывающим определяющее влияние промышленного типа на выбор способа опробования, являются вкрапленные руды меди, олова, молибдена, вольфрама, золота и других металлических месторождений, но можно найти аналогичные примеры и среди неметаллов — например месторождения рассеянного графита. Известно, что для вкрапленных руд с успехом применяются точечные (в забое и навале) и шпуровые пробы. В зависимости от промышленного типа асбестовых месторождений в одних случаях требуется валовое опробование, а в других — достаточно бороздового.

Элементарный и минеральный состав руд. Этот фактор также часто является решающим при выборе способа опробования. Например, опробование радиоактивных руд осуществляется с помощью радиометрических количественных определений. Количественные методы магнитометрии как способы опробования применимы к магнетитовым, магнетито-ильменитовым, титано-магнетитовым и отчасти к гематитовым рудам. Для слюдяных и фосфоритовых месторождений всегда применяется валовой способ опробования.

Мощность рудных тел. Пластовые, жильные и линзовидные рудные тела подразделяются по мощности на: 1) весьма мощные и мощные; 2) средней мощности; 3) маломощные и тонкие.

В мощных и весьма мощных рудных телах висячий и лежачий бока не могут быть одновременно вскрыты горизонтальными разведочными и подготовительными выработками, пройденными по простиранию, т. е. эти выработки всем своим сечением проходятся в руде. В руде находятся и все сечения выработок, направленных по падению.

Такие рудные тела могут быть весьма эффективно опробованы способами: шпуровым, точечным, вычерпывания, если текстура руды для этого благоприятна. При указанном условии среднее содержание ценных компонентов в руде и, если это окажется необходимым, средний минеральный состав могут быть определены названными способами достаточно точно, так как обогащение или разубоживание буровой муки (или шлама при бурении с промывкой), как правило, здесь не происходит. Не произойдет в этих условиях обогащение или разубоживание и отбитой руды при отборе проб способом вычерпывания или точечным.

В рудных телах средней мощности границы висячего и лежачего боков рудных тел обнажаются выработками, проходимыми по простиранию и падению рудных тел. В этих условиях систематическое опробование шпу-

ровым способом должно быть совершенно исключено или ограничено, так как здесь возможно разубоживание проб, которое к тому же может не соответствовать по величине разубоживанию при очистных работах. Шпуровое опробование не обеспечит в таких условиях получения точных данных ни в отношении содержания полезных компонентов в руде, ни в отношении содержания их в добытой (в очистных выработках) рудной массе. То же следует сказать и о способе вычерпывания.

Точечные пробы, если текстура рудных тел и характер распределения исследуемых компонентов окажутся благоприятными, дадут в такой обстановке вполне удовлетворительные результаты. Удовлетворительные результаты даст, безусловно, и бороздовое опробование.

Маломощные (меньше 0,8 *м*) и тонкие (~ 0,1 *м*) рудные тела, как правило, не могут быть рационально опробованы ни шпуровым способом, ни способом вычерпывания. Обычно неприменим и точечный способ, а бороздовый большей частью ограничивается мощностью 0,2 *м*. В таких условиях предпочтение чаще всего надо отдавать задирковому способу. Целесообразность замены бороздовых проб задирковыми при опробовании очень тонких жил (мощностью около 0,1 *м*) связана, кроме того, с крайней неравномерностью оруденения месторождений такого типа.

Размеры рудных тел влияют на выбор способа взятия проб главным образом в сочетании с рассматриваемым ниже фактором — степенью неравномерности распределения минералов, содержащих исследуемые компоненты. Но и в случае равномерного оруденения способ отбора зависит от величины месторождения: чем крупнее месторождение, тем больше обычно берется проб и, следовательно, тем менее точный способ отбора проб может применяться.

Малый размер рудных тел некоторых месторождений золота и редких металлов с весьма неравномерным и крайне неравномерным распределением полезного компонента нередко обусловливает необходимость применения только валового опробования. При этом добытая из разведочно-подготовительных выработок руда чаще всего сразу же поступает на эксплуатационную установку, и характеристика ее устанавливается по данным промышленной технологической обработки. К числу таких промышленных объектов могут быть отнесены мелкие шеелитоносные гнезда скарновых зон, небольшие платиноносные гнезда и трубки хромитов в оливиновых дунитах, почти все месторождения оптических минералов, самоцветов и др.

Внутреннее строение тел полезных ископаемых, определяемое текстурой и размещением различных типов полезного ископаемого в контурах залежи, существенно влияет на выбор способа взятия проб. Примером могут служить медные, молибденовые, оловянные и другие штокверковые руды, в которых полезные минералы или тяготеют к тонким прожилкам, или представляют собой вкрапленники. К этим рудам применяются описанные выше способы опробования вкрапленных руд.

Текстура руд в одних случаях совсем не влияет на выбор способов отбора проб, в других — является решающим фактором.

Массивная текстура преобладающего большинства магматических, некоторых гидротермальных, метаморфических и части осадочных месторождений позволяет вести опробование с достаточной точностью любым из охарактеризованных выше приемов, в том числе и простейшими (способом вычерпывания и точечным). То же может быть сказано и в отношении мелковкрапленной текстуры некоторых месторождений магматического и гидротермального генезиса.

Пятнистые, кокардовые, брекчиевые, конгломератовые текстуры иногда могут препятствовать применению простейших способов отбора проб — в тех случаях, когда рудные минеральные агрегаты («пятна») относительно редко рассеяны. Пятнистая текстура может оказаться крайне неблагоприятной даже для бороздового опробования, в частности, если рудное вещество характеризуется весьма незначительной крепостью (хрупкий или сыпучий

рудный материал); в этом случае оно будет выкрашиваться при отборе проб значительно интенсивнее нерудного или слабооруденелого вещества.

Полосчатая текстура, связанная с последовательным отложением рудного вещества по стенкам трещин или с избирательным метасоматозом, а также слоистая текстура руд осадочного генезиса, сланцеватая и плойчатая текстура метаморфогенных руд иногда могут исключить при прочих благоприятных условиях применение шпурового и точечного опробования. Шпуровые и точечные пробы, отобранные в выработках, пройденных по простиранию, могут дать в таких условиях систематические ошибки. В этих случаях следует применять бороздовое опробование.

При тонкополосчатой текстуре возможность внесения систематических ошибок при отборе проб перечисленными выше простейшими способами в преобладающем большинстве случаев можно считать исключенной.

Таким образом, некоторые неблагоприятные текстуры и физические свойства руд могут дать при отборе проб систематическую погрешность, что должно быть учтено при выборе способа пробоотбора. Этот общий вывод, однако, следует использовать с учетом конкретной обстановки. В частности, когда на месторождении фиксируется несколько текстур, как это чаще всего и бывает, надо расшифровать внутреннее строение рудного тела и определить удельный вес каждой из текстур. Если неблагоприятная текстура отмечается редко по сравнению с другими, то не имеет смысла осложнять из-за нее производство всех работ применением трудоемких способов пробоотбора.

Р а з м е р ы з е р е н полезных минералов в рудах позволяют уточнить выбор способа взятия проб.

В рудах встречаются видимые (невооруженным глазом или под лупой) минералы и текстуры, а также невидимые, т. е. особенно мелкие. К рудам с видимыми зернами в некоторых случаях применим визуальный метод определения качества. Некоторые руды с невидимыми (очень мелкими) полезными минералами обладают очень равномерным оруденением и допускают без экспериментальной проверки применение простейших методов опробования. Известны случаи, когда субмикроскопическое золото в колчедане распределено настолько равномерно (коэффициент вариации 3—4%), что для определения его содержания достаточно нескольких штуфных проб.

С т е п е н ь н е р а в н о м е р н о с т и распределения минералов, содержащих исследуемые компоненты, не является первостепенным фактором, определяющим выбор способа пробоотбора. Опыты показали, что шпуровой способ может с успехом заменить бороздовый даже при опробовании неравномерных и весьма неравномерных руд. При опробовании неравномерных золотых руд Мелентьевского месторождения установлено, что способ вычерпывания не уступает по точности бороздовому. К тем же выводам пришли на Никитовском ртутном месторождении, сравнивая бороздовый способ со способом вычерпывания при опробовании пластовых рудных тел, характеризующихся весьма неравномерным распределением киновари.

В обычных условиях систематического опробования степень неравномерности распределения минералов, зависящая во многих случаях от текстурных особенностей рудных тел, существенно влияет на выбор расстояния между пробами и на их размеры (веса) и, таким образом, все-таки ограничивает возможности выбора способа пробоотбора.

Например, опробование некоторых коренных уральских платиновых месторождений с платиноидами, приуроченными к шлировым выделениям и трубкам хромитов в оливиновых дунитах, возможно только валовым способом в связи с крайне неравномерным распределением платины, незначительным ее содержанием и малыми размерами шлиров.

На многих золоторудных месторождениях, характеризующихся значительным количеством крупного самородного золота, крайняя неравномерность распределения металла также, по мнению некоторых специалистов, требует применения валового способа опробования.

Применение валового (и только валового) опробования во всех стадиях разведки и эксплуатации слюдяных месторождений определяется, кроме крайне неравномерного распределения полезного компонента, также характером испытаний проб, для которых необходимы большие массы руды.

Крепость руд. Высокая крепость руды часто может заставить использовать для опробования шпуровой способ или отдать предпочтение способу вычерпывания, а не точечному, так как отбойка проб такой руды в забоях обычно значительно сложнее бурения шпуров или взятия проб в навале. Мягкая руда, в которой взятие пробы бороздовым способом требует весьма незначительного труда и времени, как правило, исключает применение обоих упомянутых способов.

Общие факторы

Представительность (репрезентативность) проб является важнейшим понятием в теории опробования. Под степенью представительности пробы понимается степень соответствия содержания компонентов в пробе содержанию их в том целом, от которого она отобрана.

Возможность отбора вполне представительной пробы рудной массы обусловливается доступностью этой массы для пробоотбора «во всех точках». Доступность всех точек рудной массы позволяет отобрать общую пробу с любой заданной точностью. Все зависит от количества частичных проб (порций), из которых составлена общая проба.

Вес представительной общей (начальной) пробы рудной массы Q можно определять по формуле

$$Q = qn \ кг, \tag{39}$$

где

$$n = \left(\frac{Vt}{p_0}\right)^2. \tag{40}$$

Здесь q — средний вес частичных проб (порций, отсечек), из которых составляется общая проба, в *кг*;

n — количество частичных проб;

V — коэффициент вариации содержания металла в частичных пробах;

t — коэффициент вероятности;

p_0 — допустимая (заданная) погрешность пробоотбора в процентах к содержанию металла в опробуемой руде.

Условившись понимать термин «представительность» в указанном смысле, мы сразу же сталкиваемся с его неопределенностью применительно к забойным и буровым пробам, отбираемым не от добытых рудных масс, а от целиков руды, от руды *in situ*. Становится неясным, что в этих случаях надо принимать за целое, которое в той или иной мере представляет отдельная (не объединенная и не групповая), например бороздовая, проба.

Вообще представительность забойной пробы зависит прежде всего от изменчивости руд, и отдельная проба может быть представительной для всего месторождения только при вполне равномерных рудах. Обычно же о среднем содержании компонентов не только во всем рудном теле, но даже в блоке, приходится судить по нескольким, чаще всего по многим пробам. В итоге можно сказать: чем представительнее каждая отдельная проба, тем более простые способы пробоотбора можно применять.

Задачи опробования нередко оказывают решающее влияние на выбор способа взятия проб. Если, например, руды сложены различными минеральными комплексами, при опробовании приходится не только определять содержание в руде соответствующего металла, но и выяснять (главным образом с помощью «рациональных», или фазовых, анализов), какая часть этого металла находится в окисленной, а какая — в сульфидной фор-

ме или в сульфидной и силикатной; возникает необходимость валового опробования.

При опробовании с целью установления физических и других свойств полезных ископаемых, которыми в основном определяется их качество, например при опробовании некоторых строительных материалов, взятие проб носит специфический характер (сохранение структуры породы, вырезывание кубиков и т. п.).

Опробование может быть систематическим, т. е. производиться непрерывно по мере продвижения выработок по полезному ископаемому, и выборочным, когда опробуются только некоторые участки в целях решения специальных задач. В частности, выборочным во многих случаях является секционное опробование, при котором борозда разделяется на отрезки, или секции, соответствующие разнородным участкам полезного ископаемого (например, при грубополосчатой текстуре рудных тел). Выборочным обычно бывает и опробование вмещающих пород, выполняемое в начальной стадии разведки.

При технологическом опробовании, имеющем целью определение качественных и количественных показателей обогащения, пирометаллургического, гидрометаллургического или иного технологического процесса, а также при непосредственной опытной утилизации некоторых полезных ископаемых отбор проб большей частью производится валовым или задирковым способом.

Объем работ. Выбор простейших, быстрых способов взятия проб теряет свою актуальность в тех случаях, когда объем работ незначителен. Напротив, при больших объемах работ по опробованию приходится прибегать к наиболее дешевым и простым, хотя и менее точным, способам пробоотбора (точечному, шпуровому, штуфному).

Условия производства работ также влияют на выбор способа взятия проб. Например, при опробовании разведочных канав, вскрывающих жильные рудные тела вкрест простирания или по простиранию, могут быть применены различные способы. Во многих случаях, особенно если объем работ относительно невелик, отбор проб в канавах производится задирковым, а не бороздовым способом, в связи с неудобством отбойки борозд в почве, а иногда и по стенкам, из-за стесненного пространства.

Срочность производства работ, определяемая народнохозяйственными соображениями, обусловливает стремление к выбору наименее трудоемкого и наиболее быстрого способа опробования.

4. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОБАМИ

Условимся называть пробой: сумму частичных проб (порций), отобранных у забоя способом вычерпывания с каждого данного навала руды после отпалки; сумму частичных проб (кусочков), отбитых в забое точечным способом; рудный материал (буровую муку), собранный со всех шпуров или с принятой части шпуров каждой данной уходки; одну борозду, отбитую в забое при весьма равномерном и неравномерном оруденении; две борозды, отбитые в забое при весьма неравномерном оруденении; три борозды, отбитые в забое при крайне неравномерном оруденении; эквивалентное количество борозд, отбитых по стенке или кровле выработки; задирку в забое, по стенке, кровле или почве выработки при определенной ее длине; рудный материал, взятый с одного интервала выработки или отобранный в нескольких пунктах, при валовом опробовании; материал, соответствующий выделенному типу руды, при секционном опробовании.

В разведочных, подготовительных и очистных выработках, проходимых по простиранию и по падению (восстанию) рудных тел, пробы следует брать через некоторые промежутки (интервалы). Расстояние между пробами в выработках, проходимых вкрест простирания, будем считать всегда рав-

ным нулю, так как здесь пробы отбираются непрерывной цепью по линии мощности тела.

В общем случае расстояния (интервалы) между пробами зависят от степени неравномерности оруденения. Чем неравномернее оруденение, тем интервалы должны быть меньше и, наоборот, чем равномернее оруденение, тем расстояния между пробами могут быть больше.

Анализ большого фактического материала, собранного Н. В. Барышевым, В. И. Красниковым, П. Л. Каллистовым и многими другими геологами-разведчиками, позволяет констатировать, что месторождения твердых полезных ископаемых могут быть подразделены по визуальным минералого-петрографическим данным и по величине коэффициентов вариации содержания ведущих компонентов на четыре основных типа: равномерные, неравномерные, весьма неравномерные и крайне неравномерные. Величины коэффициентов вариации в пределах каждой группы месторождений и даже в пределах одного и того же месторождения испытывают значительные колебания. Особенно велики эти колебания в трех последних группах, где в пределах одного и того же месторождения имеются участки со степенью неравномерности оруденения, различающейся в 1,5 и даже в 2,5 раза.

Значительные величины коэффициента вариации свойственны месторождениям с кустовым и гнездовым распределением оруденения. Очевидно также, что в случае крупной вкрапленности минералов, содержащих исследуемые компоненты, величина V при прочих равных условиях будет больше, чем в случае мелкой вкрапленности. Прямая зависимость коэффициента вариации V от размеров золотинок (при прочих равных условиях) фиксируется на многих весьма неравномерных и крайне неравномерных золоторудных месторождениях.

Наличие рудных столбов и повторные стадии оруденения обусловливают различную степень неравномерности оруденения по простиранию и падению рудных тел; на многих гидротермальных месторождениях по простиранию отмечается бо́льшая изменчивость, чем по падению.

Таким образом, величина коэффициента вариации V вполне увязывается с комплексом геолого-минералогических особенностей каждого данного месторождения.

К числу прочих факторов, влияющих на величину коэффициента вариации V, но уже не зависящих от свойств, присущих исследуемому объекту, могут быть отнесены: 1) размеры участков месторождений, для которых вычисляются эти коэффициенты; 2) тип проб и их размеры; 3) условия их анализа.

Влияние размеров характеризуемого участка рудного тела на величину коэффициента вариации ясно из изложенного выше: чем больше участок, тем больше коэффициент вариации.

Зависимость величины коэффициента вариации от типа и размеров проб, по которым она определена, устанавливается вполне четко: значения V, вычисленные по пробам большого веса (валовым, задирковым), обычно бывают меньше значений, вычисленных, при прочих равных условиях, по пробам малого веса (бороздовым или другим).

Влияние условий анализа сказывается следующим образом: если коэффициент вариации вычисляется по объединенным пробам, то величина его будет меньше, чем в том случае, если каждая проба анализируется отдельно. Следовательно, величина коэффициента вариации будет получаться, при прочих равных условиях, тем меньше, чем больше проб объединено.

Некоторые исследователи полагают, что число определений n, обеспечивающее вероятность результатов, равную 68%, является достаточным, и, как следствие этого, предлагают брать V в формуле (40) с коэффициентом $t=1$ (табл. 23). Другие предлагают брать $2V$, т. е. считают, что эта вероятность должна быть не менее 95%, и, наконец, третьи считают возможным остановиться на вероятности, равной 87%, что соответствует $t=1{,}5$.

В формулах (39) и (40) не учитывается зависимость коэффициента вариации от расстояния между пробами. Еще в 1936 г. Д. А. Зенков предложил выражать эту зависимость следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} n &= \frac{L}{l} = \left(\frac{V}{p_0}\right)^2 \\ \text{или} \qquad l &= \frac{Lp_0^2}{V^2} \end{aligned}\right\}, \tag{41}$$

где l — расстояние между пробами в блоке с периметром L.

Если отнести пробу к площади влияния пробы S_0 при величине всей опробуемой площади S, то

$$S_0 = \frac{Sp_0^2}{V^2}. \tag{42}$$

(В формулах (41) и (42) значения остальных букв те же, что и в формуле (40), и все рассуждения о величине t относятся и к этим формулам.)

Следует иметь в виду, что вычисленные по формуле (41) число проб n или величина интервала l должны быть использованы по отношению к тому же виду проб, по которому вычислен V, входящий в эти формулы. Например, если V определен по задирковым пробам, то и результаты вычисления n или l должны быть применены к задирковому опробованию.

Таблица 23

Коэффициенты t и соответствующие им вероятности (закон Стьюдента)

$n-1$	Вероятность в долях единицы									
	0,500	0,800	0,900	0,950	0,980	0,990	0,995	0,997	0,998	0,999
	Коэффициенты вероятности t									
1	1,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	127,3	212,2	318,3	636,9
2	0,8	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	14,1	18,2	22,3	31,6
3	0,8	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	7,5	8,9	10,2	12,9
4	0,7	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	5,6	6,4	7,2	8,6
5	0,7	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	4,8	5,4	5,9	6,9
6	0,7	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	4,3	4,8	5,2	6,0
7	0,7	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	4,0	4,4	4,8	5,4
8	0,7	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	3,8	4,2	4,5	5,0
9	0,7	1,4	1,8	2,3	2,8	3,2	3,7	4,0	4,3	4,8
10	0,7	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	3,6	3,9	4,1	4,6
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	0,7	1,3	1,7	2,0	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,6

Число проб, по которому определяется величина V, распространяемая затем по аналогии на смежные участки месторождения, зависит главным образом от степени неравномерности месторождения. При обработке результатов довольно большого числа опытов с моделями жильных рудных тел методом разрежения сети проб установлено, что минимальным числом проб, обеспечивающим более или менее надежное определение V для подготовленного к добыче блока нормальных размеров, является: для месторождений с равномерным оруденением 12—16, для месторождений с неравномерным оруденением $\sim$ 20—25 и для месторождений с весьма неравномерным и крайне неравномерным оруденением 35—50.

Опыт показывает, что задачам, стоящим перед систематическим опробованием разведочных и подготовительных выработок, вполне удовлетворяют интервалы между пробами, приведенные в табл. 24.

При пользовании табл. 24 необходимо иметь в виду следующее:

1. Коэффициент вариации содержания и других исследуемых свойств является вспомогательным признаком, характеризующим степень неравномерности оруденения. Отнесение комплексного месторождения к той или иной группе необходимо производить с учетом наиболее сильно варьирующего содержания полезного компонента.

Таблица 24

Зависимость расстояния между пробами от характера распределения компонентов

Характер распределения компонентов, подлежащих определению	Коэффициент вариации V в %	Представители месторождений	Ориентировочные расстояния между пробами по простиранию плоских залежей в *м*
Равномерный	5—40	Простые месторождения углей, горючих сланцев, строительных материалов, флюсов, цементного сырья, серы, каменных и калийных солей, фосфоритов, некоторых железных и марганцовых руд, нередко имеющих V=5—10%. Некоторые более сложные месторождения солей, серы, глин, каолинов, марганцовых руд типа чиатурских и никопольских, железных руд типа липецких и тульских, халиловских и алапаевских, криворожских и КМА, а также многие другие месторождения с V=10—40%	50—6
Неравномерный	40—100	Месторождения гидротермального и контактового генезиса: преобладающее большинство медных и полиметаллических месторождений, часть месторождений вольфрама, молибдена, а также немногие золоторудные месторождения	6—4
Весьма неравномерный	100—150	Некоторые полиметаллические месторождения, большинство месторождений олова, вольфрама, молибдена, а также многие месторождения золота	4—2,5
Крайне неравномерный	Свыше 150	Многие месторождения редких металлов, золота, платины	2,5—2

Примечание. Величины V, помещенные в этой таблице, вычислены по данным бороздового опробования.

2. Приведенные расстояния между пробами являются ориентировочными и могут в зависимости от местных условий меняться в ту или иную сторону (обычно в сторону увеличения). Имеются достаточные основания полагать, что анализ густоты сети опробования методом разрежения (там, где это возможно) позволит во многих случаях выбрать более редкую сеть, чем предусмотрено в табл. 24.

Принятые интервалы между пробами сохраняются при систематическом опробовании постоянными и меняются лишь в связи с изменением геологической обстановки или качества полезного ископаемого.

3. При разведке и подготовке к эксплуатации мощных рудных тел систематическое опробование следует производить только в выработках, пройденных вкрест простирания. Пробы, взятые в выработках, проложенных по простиранию и падению, внутри залежи, превышающей габариты выработки, не могут быть использованы при подсчете запасов, так как они не дают полной характеристики качества руды в разрезе. Однако выборочное опробование штреков и восстающих для прослеживания полезного ископаемого не исключается, только оно уже не подчиняется требованиям, указанным в табл. 24.

В случае изометрических тел (например, некоторых штокверков, массивов), когда все разведочные выработки дают более или менее равноценный материал для создания разведочных разрезов, опробование должно произво-

диться, как опробование выработок, пересекающих залежи, т. е. с отбором непрерывной цепи проб во всех горизонтальных и вертикальных выработках.

4. При эксплуатации хорошо изученных месторождений, характеризующихся равномерным составом, систематическое опробование подготовительных выработок не обязательно. К числу таких месторождений относятся, например, месторождения углей, горючих сланцев, строительных материалов, цементного сырья, фосфоритов, солей и др. В процессе подготовки месторождений к эксплуатации нужно лишь контролировать характер оруденения выборочным опробованием.

5. При шпуровом опробовании, совмещаемом с продвижением забоев, расстояние между пробами лучше всего принимать равным нулю в выработках всех направлений. Расстояния между шпурами, пробуриваемыми из штреков в целях оконтуривания рудных тел, должны подчиняться общим требованиям, приведенным в табл. 24.

6. При эксплуатации месторождений с неравномерным и весьма неравномерным оруденением приведенные в табл. 24 расстояния между пробами в подготовительных выработках часто не позволяют охарактеризовать каждый из блоков с достаточной точностью. Установлено, например, что при таких расстояниях ошибка определения запасов металла в нормальном блоке некоторых жильных молибденовых, оловянных и особенно золоторудных месторождений иногда превышает 70%. Но и при уменьшении расстояний между пробами эта ошибка уменьшается весьма незначительно.

Ошибка бывает с отрицательным и положительным знаком, т. е. является случайной, поэтому для группы смежных подготовленных к добыче блоков величина ее уменьшается; ошибки разных знаков компенсируются. При достаточном числе блоков (например, при четырех- восьми) она заметно снижается: нередко до 5—4%, а иногда и ниже. Это обстоятельство позволяет по-иному поставить вопрос о расстоянии между пробами для некоторых эксплуатируемых месторождений, а именно—ориентироваться при выборе расстояний не на один блок, а на группу одновременно разрабатываемых блоков. В этом случае расстояния между пробами могут быть значительно больше указанных в табл. 24.

Д. А. Зенков, рассматривая в этом свете вопрос о расстояниях между пробами для Главной жилы Дарасунского месторождения, пришел к выводу, что подготовительные выработки могут опробоваться с интервалами в 5 *м* при отбойке трех борозд в забое. Такие интервалы обеспечивают точность опробования, практически достаточную для планирования месячной добычи.

Аналогичный вывод может быть сделан не только в отношении одного рудного тела, но и в отношении нескольких смежных одновременно разрабатываемых рудных тел, характеризующихся однотипностью руд, которые направляются в общий бункер обогатительной фабрики или завода.

5. ДОКУМЕНТАЦИЯ ОПРОБОВАНИЯ

Отбитая проба ссыпается в плотный мешок, крепко завязывается, снабжается этикеткой и биркой и сдается на обработку. На этикетке отмечается номер пробы, место ее взятия, дата и фамилия лица, ведающего отбойкой проб; этикетка завертывается в пергамент и вкладывается в мешок. На бирке — деревянной табличке, привязываемой к мешку снаружи,— крупными цифрами указывается номер пробы.

Все пробы, отобранные на месторождении, должны иметь общую порядковую нумерацию. Обязательно ведется журнал опробования, в котором отмечаются: название месторождения, участка, выработки; номера проб; характер проб (дается краткое описание минерального состава каждой пробы и указывается предполагаемая концентрация металла: много, мало).

Место отбойки пробы зарисовывается, мощность рудного тела и длины отдельных секций проб тщательно замеряются. Зарисовки выполняются в полевой книжке и в тот же день переносятся в журнал. Масштаб зарисо-

вок 1 : 20—1 : 25. Весь материал в журнале группируется по выработкам. Условные обозначения вмещающих пород и разновидностей руд приводятся на первой или второй странице журнала. На каждой зарисовке надписывается наименование выработки и расстояние от маркшейдерской точки или условного пункта.

В зависимости от характера рудных тел и типа выработок зарисовываются опробованные забои, стенки или кровля выработки. В горизонтальных выработках, проходимых по простиранию крутопадающих рудных тел, обычно зарисовывается забой; в горизонтальных выработках, проходимых вкрест простирания, а также в вертикальных и наклонных выработках — стенки.

Сводными документами опробования, дающими представление об изменении содержания исследуемых компонентов по отдельным участкам месторождения, вскрытым системой разведочных выработок, являются планы опробования и разведочные разрезы. Эти планы составляются на маркшейдерской основе масштаба 1 : 200—1: 500 (реже 1 : 100) и пополняются по мере проходки горных выработок и накопления фактических данных. На планах в точках взятия проб в последовательном порядке указывается: номер пробы, полная мощность рудного тела в опробованном участке и содержание компонентов. Если на плане отражена геология, он превращается в совмещенный план, соединяющий план опробования с геологическим планом данного горизонта. Участки, по которым пробы объединены, отмечаются каким-либо особым знаком.

На планах с густой сетью выработок и проб показывается лишь содержание основного, ведущего компонента. Данные о попутных компонентах фиксируются в таблице, помещаемой на том же листе. Можно выносить в таблицу и все данные опробования.

При документации опробования скважин колонкового бурения в буровом журнале дается детальное описание керна и шлама на основании предварительного просмотра их под лупой или бинокуляром; фиксируется процент линейного выхода керна, его вес и вес шлама. Для каждой скважины составляется разрез (колонка), на котором отображается конструкция скважины и наносятся геологические данные. По рудному участку скважины составляется диаграмма изменения содержания полезного компонента по секциям. Эта диаграмма помещается в общем случае на той же колонке, а при мелком масштабе — на отдельном листе в более крупном масштабе.

При ударном механическом бурении описание проб производится по данным макроскопического просмотра извлеченного из скважины рудного материала. В сложных условиях необходимо пользоваться бинокуляром и прибегать к просмотру аншлифов, приготовленных путем сваривания буровой мелочи, под микроскопом. Под бинокуляром целесообразно просматривать «концентрат» сульфидных руд, полученный путем промывки «отбросов» проб. Это позволяет иногда сразу отличить рудные участки от безрудных и с большей уверенностью судить об их составе.

Пробы, взятые из буровых скважин, также сдаются в лабораторию.

Аналогично выполняется документация и при опробовании скважин ручного ударно-вращательного бурения.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО БЕЗ ОТБОРА ПРОБЫ

В определенных условиях можно оценить качество полезного ископаемого на месте его залегания, в искусственном или естественном обнажении. Первые наблюдения полезного ископаемого в забое горной выработки уже служат основой для оценки его качества, разумеется, приближенной, но иногда близко совпадающей с результатами точных испытаний.

Идея исключения или хотя бы значительного сокращения работ, связанных с отбором массовых проб, с их обработкой и химико-аналитическими исследованиями, заманчива. Поэтому существует тенденция там, где это

возможно, упростить процесс опробования, заменить дорогие и громоздкие операции более простыми и дешевыми. Здесь на помощь приходят некоторые минералогические приемы исследования вещества и геофизические методы.

Ниже рассматриваются только два уже апробированных практикой способа «беспробного опробования»: визуальный и радиометрический. В будущем безусловно и другие геофизические методы дадут возможность определять качество полезных ископаемых на месте из залегания.

Визуальный способ

Визуальный способ «беспробного опробования» подробно разработан на медноколчеданных месторождениях Урала В. И. Ивановым, С. М. Малий и др. (1941 г.) Этот способ применяется в двух модификациях:

1. При наличии нескольких типов руд, различаемых на глаз, среднее содержание исследуемого компонента вычисляется пропорционально площадям распространения этих типов (по зарисовкам).

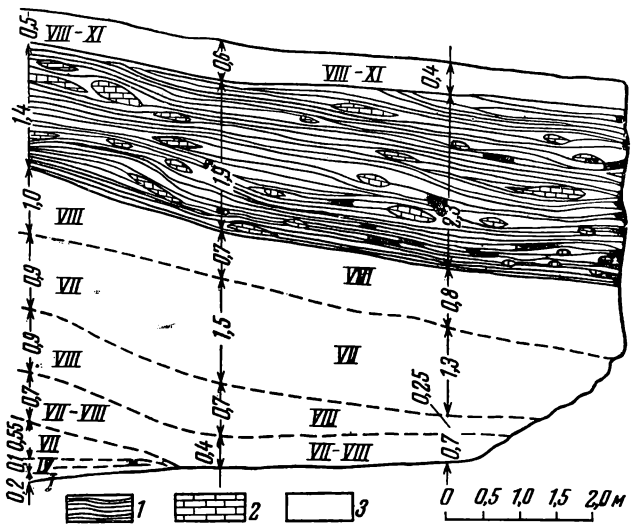


Рис. 106. Пример геологической документации на медном руднике по естественным типам руд (визуальное опробование)
1 — сланцы; *2* — известняки; *3* — руды.
Римскими цифрами обозначены различные типы руд

2. При очень крупной вкрапленности полезных минералов и возможности площадного обмера каждого зерна (или агрегата зерен) в изучаемом забое среднее содержание полезного компонента определяется как отношение суммы площадей полезных минералов ко всей изучаемой площади (площади забоя или иного обнажения).

В первом случае, когда одни и те же визуально различаемые типы руд выдерживаются по простиранию и падению, необходимо предварительно все типы руд детально изучить одним из надежных рассмотренных выше способов опробования. В дальнейшем достаточно правильной геологической документации с выделением соответствующих типов руд (рис. 106), чтобы пропорционально площадям, занимаемым этими типами руд на зарисовках, с учетом их удельных весов вычислить среднее содержание металлов в данном пункте. Такие вычисления в благоприятных условиях бывают достаточно точными. В частности, описанный прием дал хорошие результаты при опробовании бериллиевых месторождений с рудоразборным бериллом. Именно такой способ опробования этих плагиоклазо-микроклиновых бериллоносных пегматитовых месторождений широко распространен за рубежом.

При очень крупной вкрапленности площадной обмер кристаллов можно увязать со взятием штуфов и составить штуфную пробу; это заменит применение обычно принятого на бериллиевых месторождениях комбинированного способа опробования (валовой + способ вычерпывания).

Расхождение между запасами, подсчитанными с помощью графического (площадного) способа, и фактически извлеченным количеством полезного ископаемого, выражается в 10%. Следовательно, этот самый дешевый способ опробования можно считать удовлетворительным и по результатам.

При визуальном определении качества полезного ископаемого используются некоторые вспомогательные средства, облегчающие выделение полезных минералов в обнажении. Одним из таких средств при разведке рудных месторождений является люминоскоп. В этом случае используются люминесцентные свойства полезных минералов (шеелита, циркона, торбернита и др.), благодаря которым можно определить количественные соотношения люминесцирующего полезного минерала и рудной массы и таким образом довольно точно установить содержание полезного компонента в исследуемом рудном обнажении.

При разведке Урзарсайского штокверкового месторождения установлено, что с помощью ЛЮМ-2 можно довольно точно определить содержание WO_3 в рудном керне из разведочных скважин. При этом выявлены следующие соотношения между количеством зерен шеелита и содержанием WO_3:

Густота вкрапленности	*Содержание* WO_3 в %
Редкая (2—10 зерен на 1 *пог. м* керна)	0,01—0,04
Средняя (20—50 зерен на 1 *пог. м* керна)	0,05—0,1
Богатая (сотни зерен на 1 *пог. м* керна)	Более 0,1

Конечно, визуальный способ оценки качества полезного ископаемого таит в себе возможность ошибок, связанных с тем, что невозможно предусмотреть и тем более устранить влияние субъективного фактора, зависящего от квалификации, трудолюбия, состояния здоровья и, наконец, от настроения лица, ведущего наблюдения в горных выработках или на иных обнажениях. Поэтому применение визуального способа рекомендуется в менее ответственных или в очень простых случаях. Правда, В. И. Ивановым и на колчеданных месторождениях Урала достигнута практически достаточная точность визуального опробования.

Радиометрический способ

Из разнообразных геофизических способов «опробования» наиболее изучен и внедрен в практику радиометрический, заключающийся в определении содержания радиоактивных элементов в рудах на месте залегания по интенсивности гамма-излучения.

Радиометрическое опробование может применяться к однокомпонентным урановым, ториевым и калиевым рудам; наиболее широко оно используется на урановых месторождениях. Основы этого метода были разработаны в 1946—1948 гг. А. Г. Граммаковым, В. И. Барановым, В. Л. Шашкиным, М. Б. Ширяевой и М. Д. Британевым.

Простота и небольшая стоимость радиометрического опробования, а также возможность получения результатов непосредственно на месте измерений открывают путь для широкого применения радиометрического опробования в качестве экспрессного метода, позволяющего вести оперативный контроль за качеством руды.

Сопоставление данных радиометрического опробования и наиболее распространенного бороздового опробования показало, что даже на рудах с неравномерным распределением активных минералов радиометрическое

опробование в случае ненарушенного равновесия между ураном и радием дает результаты, не уступающие по точности обычному опробованию. Радиометрическое опробование при условии контроля бороздовыми пробами 10—20% измерений (а в простых случаях даже без контроля) успешно используется для подсчета запасов.

Радиометрическое опробование обнажения. При радиометрическом опробовании руд на месте залегания определяется среднее содержание радиоактивных элементов на заданных участках исследуемого объекта. Основная задача заключается в том, чтобы из общего излучения, измеренного прибором, выделить излучение интересующего участка горной породы. Для этой цели используются раличного рода экраны (рис. 107), а также радиометры направленного приема.

В практике радиометрического опробования обычно применяются пластинчатые экраны в форме прямоугольных призм, цилиндрические экраны с вкладышем и так называемые оборотные экраны.

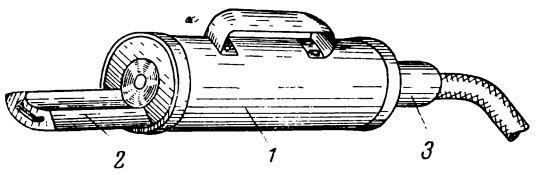


Рис. 107. Щелевой цилиндрический экран с вкладышем (по Л. Ч. Пухальскому)
1 — свинцовый экран; *2* — вкладыш; *3* —гильза радиометра

При использовании экранов происходит частичное или полное поглощение гамма-излучения окружающих пород. На точке наблюдения обычно проводят два измерения: первое — без экрана (I_1) и второе — с экраном (I_2).

При определении среднего содержания полезного компонента по ряду радиометрических проб представительность последних не уступает представительности бороздовых проб.

Рассмотрим основные факторы, которые могут влиять на точность радиометрического опробования.

1. Неравномерность оруденения приводит к расхождению между результатами по отдельным пробам, но не дает систематического расхождения между результатами радиометрического и бороздового опробования. При чередовании на небольшом расстоянии по простиранию рудного тела богатых и бедных участков результаты радиометрического опробования на богатых участках могут быть занижены по сравнению с данными бороздового опробования за счет влияния прилегающих более бедных участков; в то же время по наиболее бедным участкам радиометрическое опробование может давать завышение из-за влияния прилегающих более богатых пород.

При усреднении результатов опробования по блокам эти расхождения часто взаимно компенсируются и на среднее содержание влияния не оказывают.

2. Нарушение радиоактивного равновесия в породе вызывает систематические ошибки радиометрического опробования, поскольку результаты выражаются в процентах содержания урана, в то время как гамма-измерениями фактически определяется содержание Ra ($B+C$). Чтобы избежать этих ошибок, необходимо вводить соответствующие поправки.

3. Эманирование руд в естественном залегании, аналогично нарушению радиоактивного равновесия, приводит к систематическим ошибкам за счет потери породой при эманировании части гамма-излучающих продуктов распада радона. Но процесс эманирования руд с количественной стороны еще недостаточно изучен, и поэтому нет данных для надежной оценки его влияния на результаты радиометрического опробования.

4. Ограниченная мощность рудного тела вызывает систематическое занижение результатов радиометрического опробования, поскольку коэффициент экрана определяется в условиях «бесконечного» пласта. Но этой ошибки легко избежать, несколько усложнив методику радиометрического опробования.

5. Повышенная концентрация радона в воздухе выработки, а также влияние обратнорассеянных гамма-лучей могут завысить результаты радиометрического опробования. Интенсивность обратнорассеянных гамма-лучей зависит от интенсивности потока гамма-излучения, падающего на опробуемую стенку, и в некоторых случаях может достигать значительной величины, эквивалентной десяткам процентов. Такой же эффект вызывает и повышенная концентрация радона в воздухе выработки.

Кроме того, необходимо отметить следующее. При использовании счетчиков, чувствительных к мягкому гамма-излучению, соотношение между интенсивностью гамма-излучения и содержанием в породе радиоактивных элементов зависит от среднего атомного веса породы. Поэтому при радиометрическом опробовании в породах с малым атомным весом в случае, если коэффициент экрана или коэффициент для шпурового опробования определен в породе с более высоким средним атомным весом, допускается систематическое завышение результатов измерений. Для исключения влияния среднего атомного веса породы лучше всего пользоваться счетчиками, не регистрирующими мягкие гамма-лучи.

Для радиометрического «опробования» применяются полевые радиометры с различными типами счетчиков и свинцовые экраны различной формы. Наиболее подходящими надо считать полевые радиометры серийных выпусков: УР-4м, УР-4, ПГР, ПР-6.

Перспективным представляется использование для радиометрического «опробования» радиометров направленного действия, позволяющих измерять гамма-излучение от определенной стенки выработки без фильтрующих экранов. В указанных радиометрах могут применяться счетчики следующих типов: ВС — вольфрамовый, МС — медный и ГС — графитовый.

Экраны, предназначенные для выделения одностороннего гамма-излучения при радиометрическом опробовании, делятся на два типа:

1) экраны, поглощающие излучение от исследуемого участка породы (плоские и щелевые);

2) экраны, поглощающие излучение окружающих пород (оборотные и с вкладышем).

Плоские экраны применяются при малой интенсивности гамма-излучения окружающих пород. При значительной активности окружающих пород более удобны щелевые экраны.

Показания радиометров при радиометрическом опробовании выражаются в микрорентгенах в час.

Интенсивность гамма-излучения от эталона для данного расстояния определяется по формуле

$$I = 8{,}5 \cdot 10^9 \frac{m}{r^2}, \qquad (43)$$

где m — гамма-эквивалент эталона в граммах радия;

r — расстояние от эталона до счетчика в *см*;

$8{,}5 \cdot 10^9$ — гамма-постоянная радия.

Расположение пунктов измерения при радиометрическом «опробовании» с экранами соответствует расположению бороздовых проб.

По намеченной для опробования линии в ряде точек производятся измерения с открытой и закрытой щелью экрана. Удобнее сразу производить измерения по всем точкам с открытой щелью, а затем по всем точкам с закрытой щелью. Расстояние между точками обычно принимается равным длине катода счетчика (например, для счетчика МС-4 — 10 *см*), но может быть больше или меньше в зависимости от типа оруденения: чем неравномернее оруденение, тем меньше должно быть расстояние между точками измерений.

Гильза радиометра располагается по линии опробования или перпендикулярно к ней. Второй способ расположения гильзы применяется тогда,

когда желательно увеличить число точек измерения на погонный метр. Это до некоторой степени аналогично увеличению сечения бороздовой пробы.

В зависимости от типа применяемого экрана радиометрическое опробование производится оператором с рабочим или одним оператором. Работа без помощника возможна при использовании легких экранов, укрепленных на гильзе радиометра.

Обработка результатов измерения в зависимости от срочности производится на месте или в конце дня в камеральных условиях. Прежде всего показания радиометра переводятся по графику эталонирования в микрорентгены в час. Затем по каждой линии измерений вычисляется средняя интенсивность гамма-излучения, зарегистрированная с открытой и закрытой щелью экрана (или соответственно без экрана и с экраном), и определяется разность этих средних в микрорентгенах в час. Затем по формуле

$$Q = B(I_1 - I_2), \tag{44}$$

где B — коэффициент экрана, вычисляется содержание урана по данной радиометрической «пробе», соответствующее содержанию по бороздовой пробе, отобранной по линии измерения.

При использовании экранов второго типа (экранирующих мешающее излучение) по измерениям с экраном и без экрана вычисляется средняя интенсивность гамма-излучения от опробуемого участка породы по формуле

$$I_x = \frac{I_2 - (1-\alpha) I_1}{\alpha}, \tag{45}$$

где I_x — средняя интенсивность гамма-излучения от опробуемого участка;

α — коэффициент поглощения гамма-излучения в экране.

Содержание урана в данной «пробе» вычисляется по выражению

$$Q = BI_x. \tag{46}$$

Шпуровое радиометрическое опробование. Наряду с радиометрическим опробованием с экранами применяется шпуровое радиометрическое опробование, которое при благоприятных геологических условиях может являться наиболее рациональным методом, особенно, если можно использовать шпуры, пройденные для взрывных работ.

Шпуровое радиометрическое опробование производится или по отпалочным шпурам, или по специальным шпурам, пробуренным для прослеживания оруденения за пределами выработки в ее стенках или кровле.

Радиометрическое опробование шпуров представляет задачу, аналогичную гамма-каротажу. Измерения гамма-излучения в шпуре при односчетчиковой гильзе производятся с расстоянием между точками 10 *см*; при многосчетчиковой гильзе расстояние между точками принимается равным суммарной длине счетчиков.

Для исключения влияния границы рудного тела с поверхностью стенки выработки измерения в шпуре следует производить, начиная с расстояния 20—25 *см* от устья шпура.

Для устранения влияния обратнорассеянных гамма-лучей, которые могут зависеть от состава породы, опробование шпуров целесообразно делать с утолщенной гильзой (4—5 *мм* железа) или со счетчиками, мало чувствительными к мягким гамма-лучам.

Контроль радиометрического опробования осуществляется каким-либо другим способом опробования, чаще всего — обычными способами пробоотбора с последующим химическим анализом проб. Контрольные пробы должны располагаться по возможности равномерно по вскрытой части месторождения. При этом важно охватить контролем основные типы руд по составу и содержанию полезного ископаемого.

Результаты шпурового радиометрического опробования можно контролировать также анализом проб буровой муки.

Требуют еще упоминания полевое количественное определение бора и так называемый гамма-гамма-каротаж.

По первому способу проба борной руды (или какого-либо борного минерала) весом 100 *г* помещается на пути движения нейтронов (аппарат очень прост и безопасен), которые поглощаются изотопом B^{10}. Чувствительность метода—0,02% B_2O_3.

Предложенный Г. М. Воскобойниковым гамма-гамма-каротаж, или селеновый каротаж, по данным В. Н. Балашова, уже сейчас дает интересные результаты при использовании селена — 75. Содержание элементов, следующих после Se в таблице Менделеева, получается в количественном выражении; при этом для вольфрама, ртути и свинца точность оценки достигает 0,2%, а для олова и молибдена — 0,5%. Лучшие результаты получаются, естественно, в скважинах без обсадных труб.

Для получения надежных данных для количественных определений необходимо произвести широкие экспериментальные работы, но уже сейчас ясны большие перспективы гамма-гамма-каротажа. В недалеком будущем можно ожидать производства опробования прямо в скважинах и забоях с получением количественных данных о содержании в рудах тех или иных элементов.

ГЛАВА II

ОБРАБОТКА ПРОБ

Сущность процесса обработки проб, отбираемых при разведке месторождений полезных ископаемых, состоит в подготовке материала, добытого из разведочных, подготовительных горных выработок или из буровых скважин, к лабораторным или иным испытаниям.

Необходимость такой подготовки (обработки) проб определяется прежде всего тем, что в пробу всегда отбирается много материала (и чем больше, тем лучше), а лабораторные испытания можно проводить, как правило, только с малым количеством материала. Кроме того, различные условия и задачи опробования иногда вызывают необходимость смешивания, объединения материала различных проб. Ничтожно малое содержание полезных минералов в некоторых видах полезных ископаемых (россыпи, редкометальные штокверки) требует предварительного обогащения проб, для чего производится промывка, отдувка или протолочка с промывкой материала, отобранного в пробу.

Все это заставляет прежде, чем передать пробу на испытание, выполнить ряд операций, которые в совокупности и представляют собой полевую обработку пробы. Характерной особенностью такой обработки является осуществление ее на месте отбора разведочной пробы (или вблизи от места отбора) и выполнение геологическим персоналом разведочной партии, в отличие от обработки проб, которая производится в процессе их испытания в химической или иной лаборатории.

Ниже рассматриваются приемы обработки массовых и выборочных проб, предназначаемых для химических, минералогических анализов и технологических испытаний.

1. ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОБ

Рациональное объединение проб, по сравнению с системой обработки и анализа каждой отдельной пробы, имеет следующие преимущества: уменьшается объем лабораторных работ, а следовательно, и сроки выполнения анализов; существенно сокращаются расходы по опробованию и несколько упрощаются в дальнейшем подсчеты запасов. Конечно, такое объединение полезно только в тех случаях, когда проб берется много, т. е. главным образом в период эксплуатации и отчасти при детальной разведке.

Объединение проб успешно применялось и применяется на многих золотых, полиметаллических, медноколчеданных рудниках, на месторождениях редких металлов, а также на месторождениях графитов и других неметаллов, т. е. практически на месторождениях всех металлических и многих неметаллических полезных ископаемых. Количество проб, подлежащих объединению при систематическом опробовании разведочных и подготовительных выработок, зависит от расположения проб и расстояния между ними. Обычно объединяются две-четыре смежные пробы. В случае систематического секционного опробования могут, если это окажется необходимым, объединяться соответствующие секции смежных проб.

Основные правила, которые необходимо соблюдать при объединении проб, состоят в следующем:

1) объединяться могут только смежные пробы;

2) объединять можно только однотипный по качеству материал.

Объединение проб может производиться двумя способами: 1) в начале обработки, обычно у места взятия, без предварительного измельчения и сокращения, и 2) в конце обработки, после доведения каждой пробы до конечных лабораторных размеров.

Первый способ целесообразно применять во всех случаях, когда веса объединяемых проб невелики, т. е. при бороздовом, точечном и шпуровом опробовании.

Объединение задирковых проб, имеющих обычно большой вес, удобно производить вторым способом. Первый способ в этом случае окажется слишком громоздким и потребует много места для обработки объединенной пробы. Второй способ имеет еще и то преимущество, что в случае необходимости некоторые из объединяемых проб могут быть проанализированы отдельно.

Объединение проб после обработки производится пропорционально весам начальных проб. Отбор рудного материала при этом осуществляется способом полного вычерпывания с достаточного количества квадратов. Пример составления объединенной лабораторной пробы приведен в табл. 25.

Таблица 25

Схема объединения проб пропорционально их начальным весам

№ проб	Начальные веса проб в *кг*	Веса лабораторных проб при измельчении до —200 меш в *кг*	Веса проб, отбираемые в объединенную лабораторную пробу способом полного вычерпывания, в *кг*
723	15	0,46	0,15
724	20	0,62	0,20
725	9	0,56	0,09
726	17	0,52	0,17

Вес объединенной лабораторной пробы 0,61 *кг*.

Объединение проб оказывается весьма целесообразным при производстве химических анализов полезного ископаемого. Правильное объединение проб позволяет не только очень сильно сократить количество анализов, но и сделать это без снижения точности результатов. Полный состав элементов и компонентов (сульфидов, окислов и т. д.) полезного ископаемого необходимо знать на ранних стадиях геологоразведочных работ — в поисково-разведочной или в крайнем случае в стадии предварительной разведки. На основании этих данных возможное промышленное значение различных компонентов в рудах выясняется путем сопоставления предполагаемых запасов каждого элемента и компонента с технико-экономическими данными. Иногда объединенные пробы целесообразно предварительно подвергнуть полуколичественному спектральному анализу.

Различают главные и второстепенные компоненты полезного ископаемого. К первым относятся компоненты, имеющие самостоятельное промыш-

ленное значение, по содержанию которых намечаются контуры промышленных руд и их сортов, а ко вторым — все прочие компоненты, влияющие на выбор схемы технологической обработки и переработки руд. Компоненты первого типа определяются, как правило, по всем рядовым пробам и описанным выше объединенным забойным пробам. Для определения компонентов второго типа (компонентов-спутников) составляются так называемые групповые пробы, объединяющие большое количество разнообразных проб по большому участку. По таким же пробам определяется среднее содержание всех компонентов в данном типе полезного ископаемого.

Составление групповых проб, по Б. И. Галкину (1949), может производиться по двум принципам: локальному и корреляционному.

Для локальных групповых проб материал отбирается пропорционально исходному весу объединяемых проб (если пробы брались так, что с каждого метра мощности тела отбивалось приблизительно одинаковое по объему количество рудного материала) или пропорционально мощности тела в пунктах опробования. Анализ локальных групповых проб дает только среднее содержание определяемых компонентов и ничего больше.

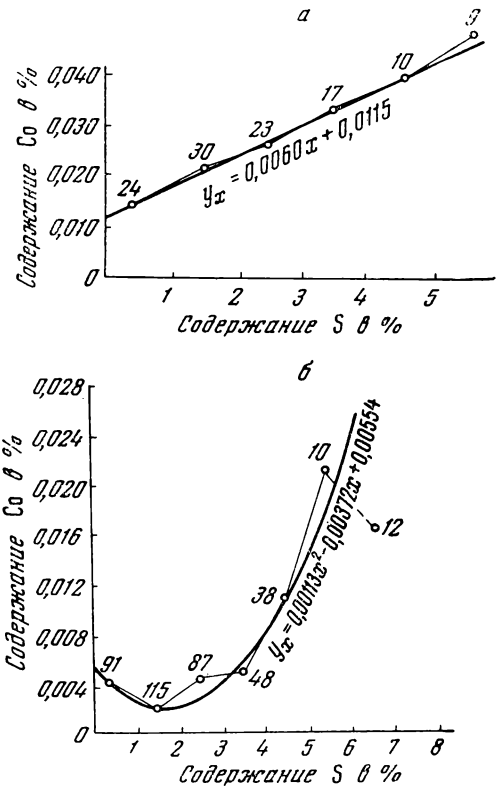


Рис. 108. Характер связи между содержанием Co и S в пиритизированных магнетитовых рудах (по Б. И. Галкину)

а — прямая прямолинейная связь; *б* — криволинейная связь. Цифры около точек указывают на количество анализов, по которым вычислено среднее содержание Co и S в данной точке

По корреляционному принципу все пробы руд приблизительно однотипного минерального состава подразделяются на пять-восемь классов по содержанию главного элемента. Классовые промежутки, т. е. разности между наибольшим и наименьшим содержанием главного компонента, могут быть равны или не равны, но желательно, чтобы в каждый класс входило не менее 20 рядовых проб в равных навесках. При анализе таких групповых проб выясняется взаимосвязь между содержанием главного элемента и содержанием элементов-спутников. Характер этой связи наглядно выявляется на графиках (рис. 108).

Оба вида групповых проб не исключают, но дополняют друг друга. Выявление корреляционной связи между элементами способствует резкому уменьшению анализов на соответствующие компоненты и упрощению подсчета запасов. Групповые пробы всегда требуют анализа повышенной точности по сравнению с рядовыми пробами.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ПРОБ

Конечные веса проб-навесок, необходимые для химического или количественного минералогического анализа, крайне малы по сравнению с начальными весами проб. Для химических анализов преобладающего большинства

металлических и неметаллических полезных ископаемых считается достаточной навеска от 0,5 до 5—10 *г*. Для золотых руд размер навески в зависимости от содержания металла в пробах принимается чаще всего от 50 до 100 *г*.

Поскольку многие ответственные анализы ведутся по двум, а для некоторых товарных руд по трем-четырем параллельным навескам и, кроме того, в лаборатории должен храниться остаток исследуемого материала для возможных повторных (контрольных) анализов и других целей, вес пробы, сдаваемой лаборатории, устанавливается со значительным запасом.

Процесс обработки проб тем сложнее, чем более неоднороден материал начальной пробы. Действительно, если мы имеем совершенно однородную массу, например слиток чистого золота весом 20 *кг*, и в любом пункте его поверхности спилим 0,5—1 *г* металла, то это малое количество его точно отразит средний состав слитка. Совсем иная картина получится при делении неоднородной пробы руды. В такой пробе будут кусочки с более высоким и с более низким содержанием металла по сравнению со средним содержанием его во всей пробе. При делении пробы, например, на две части в одну из них может попасть больше половины богатых и меньше половины бедных частиц руды; содержание металла в этой части пробы окажется выше, чем во второй, и выше среднего содержания металла в первоначальной пробе. Разность между действительным содержанием металла в исходной пробе и содержанием его в той части пробы, которая осталась после сокращения, называется п о г р е ш н о с т ь ю с о к р а щ е н и я.

Погрешность сокращения тем больше, чем неоднороднее руда и чем меньше число частиц (кусков) руды в сокращенной пробе. В более неоднородной руде содержание металла в наиболее богатых ее кусках будет больше отклоняться от среднего содержания металла во всей пробе, по сравнению с более однородной рудой, и если при сокращении пробы в одну ее часть попадет, скажем, десять лишних таких кусков, то они обогатят ее сильнее, чем десять богатых кусков более однородной руды, так как в последнем случае наиболее богатые куски руды по составу будут ближе к среднему составу пробы. С другой стороны, чем больше общее количество частиц в полученной сокращением части пробы, тем меньше изменяется содержание в ней металла от избытка или недостатка определенного числа наиболее богатых частиц руды, т. е. тем меньше будет погрешность сокращения. Поэтому перед сокращением пробу приходится соответствующим образом измельчать.

Казалось бы, что наиболее простым и в то же время надежным способом получения лабораторной пробы является измельчение начальной пробы до тончайших частиц (0,1—0,07 *мм* в поперечнике), тщательное перемешивание полученной массы и сокращение до необходимого конечного веса. Однако этот способ приемлем лишь при небольшом весе начальных проб. При значительном их весе тонкое измельчение руды требует слишком большой затраты времени и средств. Поэтому такие пробы измельчаются и сокращаются в несколько приемов. Прежде всего начальную пробу дробят до определенного диаметра, позволяющего разделить пробу на некоторое количество частей n, кратное двум; раздробленную массу тщательно перемешивают и делят последовательно на две части (из которых одна каждый раз отбрасывается, а другая снова делится пополам и т. д.) вплоть до получения $\frac{1}{n}$ пробы; затем вновь измельчают эту часть пробы до следующего меньшего диаметра, позволяющего произвести дальнейшее сокращение, и т. д., пока не получится лабораторная навеска.

Важнейшим методическим вопросом в теории обработки проб является определение оптимального веса сокращенных проб для каждой стадии обработки. Оптимальным (надежным) весом пробы называется тот вес, до которого может быть сокращена проба данной руды, измельченная до определенного размера (диаметра) частиц, при условии, что погрешность

сокращения не выйдет за допустимые пределы. Можно, наоборот, задаваться весом сокращенной пробы и определять степень измельчения (размер частиц, до которого должна быть измельчена проба), позволяющую сократить пробу до этого веса с тем, чтобы погрешность сокращения не выходила за пределы допустимой.

Из изложенного ясно, что надежный вес пробы в основном определяется: 1) крупностью материала пробы — чем мельче частицы пробы, тем меньше может быть ее надежный вес; 2) степенью неоднородности материала пробы — чем неоднороднее материал, тем больше должен быть надежный вес пробы; 3) величиной допустимой или заданной погрешности сокращения — чем большая допускается погрешность, тем меньше может быть надежный вес пробы. Кроме того, на величину надежного веса проб оказывают некоторое влияние содержание исследуемого компонента в наиболее ценном минерале пробы, размеры частиц и удельный вес этого минерала, среднее содержание исследуемого компонента в пробе и некоторые другие факторы.

Для определения надежного веса проб предложено несколько формул, выражающих определенные принципы обработки, которые кратко поясняются ниже.

Ф о р м у л а В е з и н а. Везин считал, что при сокращении пробы число частиц (или кусков) в ней должно оставаться постоянным. Если принять, что все частицы в пробе имеют одинаковый размер, то вес пробы будет пропорционален числу заключенных в ней частиц. Если же при этом допустить, что частицы имеют правильную шарообразную или кубическую форму, то число их в пробе, а значит и вес пробы будут пропорциональны третьей степени диаметра частиц. Исходя из этих соображений Везин предложил уравнение

$$\left.\begin{aligned} \frac{Q}{q} &= \frac{D^3}{d^3} \\ q &= Kd^3 \end{aligned}\right\}, \quad \text{или} \qquad (47)$$

где Q — вес пробы в *кг*;
q — вес пробы после сокращения в *кг*;
D — диаметр наибольших частиц в пробе до измельчения в *мм*;
d — диаметр частиц в пробе, сокращенной до веса q (после измельчения), в *мм*;
$K = \frac{Q}{D^3}$ — коэффициент пропорциональности, определяемый заданным числом частиц.

Ф о р м у л а Б р у н т о н а имеет следующий вид:

$$W = \frac{D^3 \delta f n}{10\,000 p} \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha} - 1 \right), \qquad (48)$$

где W — вес пробы в *кг*;
D — диаметр наибольших кусков (частиц) ценнейшего минерала в данной пробе в *мм*;
δ — удельный вес частиц ценнейшего минерала;
f — отношение действительного веса наибольшей частицы (куска) ценнейшего минерала, прошедшей через сито с отверстиями D *мм*, к весу кубической частицы полезного минерала с размером ребра, равным размеру отверстия того же сита;
n — количество наибольших частиц (кусков) ценнейшего минерала, находящихся в избытке или недостатке в данной пробе;
β — содержание металла в ценнейшем минерале в %;
α — среднее содержание металла в данной пробе в %;
p — допустимая ошибка сокращения (в процентах к содержанию металла в пробе).

Формула Ричардса—Чечетта. На основании анализа практической работы по сокращению проб Ричардс пришел к выводу, что надежные веса проб приблизительно пропорциональны квадрату диаметров максимальных частиц, и составил таблицу для определения предела измельчения проб в зависимости от их веса. Позднее этот вывод Ричардса был выражен Г. О. Чечеттом в виде уравнения

$$Q = Kd^2, \tag{49}$$

где Q — надежный вес сокращенной пробы в *кг*;
d — диаметр наибольших частиц в *мм*;
K — коэффициент, зависящий от характера полезного ископаемого.

Для определения коэффициента K Чечеттом предложена таблица, в которой руды по степени сложности их обработки подразделяются на шесть категорий, каждой из которых соответствуют некоторые пределы значений K. Величина K может определяться и экспериментально. Для этой цели сокращение каждой экспериментальной пробы производится при различных K и фиксируется то значение, при котором кривая ошибок получает резкий перегиб. Каждый анализ нужно производить по меньшей мере по четырем навескам.

Формула Демонда и Хальфердаля. Демонд и Хальфердаль по-иному подходят к этому вопросу. Большинство кусков крупнодробленой руды представлено сростками рудных и безрудных минералов, при дроблении которых высвобождается все больше и больше частиц, состоящих только из одного минерала. Очевидно, что одна наиболее богатая частица, попавшая в сокращенную пробу в избытке или недостатке по сравнению с их количеством в начальной пробе, при крупном измельчении окажет меньшее влияние на содержание, чем при тонком. Следовательно, чтобы искажающее влияние такой частицы было одинаково мало, при крупном измельчении требуется меньшее количество частиц, чем при тонком. Исходя из этого Демонд и Хальфердаль пришли к выводу, что вес пробы должен быть пропорционален диаметру частиц в степени a, где $a < 3$. Зависимость между весом пробы и крупностью частиц в общем виде выражается уравнением

$$Q = Kd^a, \tag{50}$$

где a для разных руд может изменяться в пределах 1,5—2,7 (так как скорость изменения неоднородности у разных руд различна).

Коэффициент K и показатель степени a в формуле (50) имеют вполне определенный смысл, который освещается ниже в интерпретации П. Л. Каллистова.

1. Коэффициент K рассматривается как величина, выражающая влияние ряда факторов на вес пробы. Этими факторами в конечном счете обусловливается неоднородность рудного материала. От неоднородности же зависит число частиц, которое должна содержать проба, а следовательно, и ее вес, необходимый для достижения определенной точности.

Поскольку, однако, неоднородность рудного материала меняется с измельчением, в связи с чем число частиц в пробе также должно меняться, коэффициент K следует понимать как величину, определяющую зависимость веса пробы от неоднородности руды при $d=1$.

2. Показатель степени a, как явствует из выражения $Q=Kd^a$, корректирует зависимость веса пробы от диаметра ее частиц. Значение его двояко:

а) он отражает изменение неоднородности пробы и связанное с ним изменение необходимого количества частиц в пробе по мере измельчения. Изменение неоднородности пробы и скорость этого изменения зависят главным образом от размеров вкрапленности ценного минерала, но проявляются только при измельчении и поэтому будут выражаться той или иной величиной a;

б) он отражает соотношение крупности частиц в пробе и погашает преувеличение весов проб, получаемое в результате вычисления их по максимальному (а не среднему) диаметру. В этом значении a величина его будет зависеть от механических свойств рудного материала: крепости, вязкости, трещиноватости, спайности и прочих свойств, определяющих средний размер и форму частиц.

Очевидно, что свойства рудного материала, обусловливающие величину показателя степени a, могут меняться независимо от других факторов, определяющих значение коэффициента K, т. е. при большом a значение K может быть малым и наоборот.

В разделении влияния свойств рудного материала на вес пробы путем введения в формулу двух независимых величин K и a и заключается основное преимущество уравнения $Q=Kd^a$ перед уравнением $Q=Kd^2$. В этом последнем влияние обеих групп факторов, как меняющихся при измельчении, так и независимых от измельчения, объединяется в одном коэффициенте K, а различия в механических свойствах руд не учитываются совершенно (для всех руд a принимается постоянным и равным 2).

Величины K и a в формуле (50), так же как и значение K в формуле (49), можно определять экспериментально.

Советскими научно-исследовательскими и производственными организациями проведено большое количество опытов для разработки надежных схем обработки проб различных металлических руд. Эти опыты с полной убедительностью показывают, что в настоящее время можно категорически отказаться от обработки проб по схемам, отвечающим таким большим коэффициентам K в формуле $Q=Kd^2$, какие рекомендовались Чечеттом и долгое время применялись в нашей практике (где значение K доходит до 20).

Вопрос о величине a практически актуален лишь в условиях большого веса и большой крупности начального материала проб: при валовом опробовании, иногда при задирковом, при опробовании добытых товарных руд, а также при обработке технологических проб. В этих условиях целесообразно экспериментально определять величины K и a.

Практически пользоваться формулой $Q=Kd^2$ более удобно, чем формулой $Q=Kd^a$, и применение первой формулы существенных возражений не встречает. Значения коэффициентов K, рекомендуемые для различных типов руд, приведены в табл. 26.

Таблица 26

Значения коэффициента K в формуле $Q=Kd^2$ в зависимости от типа руд
(по Н. В. Барышеву с некоторыми изменениями)

Краткая характеристика типа руды	K
Равномерные	0,05
Неравномерные (разнообразное минеральное сырье)	0,10
Весьма неравномерные	0,20—0,30
Крайне неравномерные	0,40—0,50
Крайне неравномерные золотые руды с крупным (больше 0,6 *мм*) золотом	0,8—1,0

При рассмотрении условий применения формулы $Q=Kd^2$ и связанных с этим вопросов обработки проб необходимо иметь в виду следующее:

1. Формула $Q=Kd^2$, как и другие аналогичные ей формулы, предназначена для определения надежного веса проб в процессе их обработки. Коэффициенты K, указанные в табл. 26, предлагаются для использования при определении в пробах основных, ведущих компонентов, например: в железных рудах — Fe, SiO_2 и др., в медных и серноколчеданных рудах — Cu и S, в полиметаллических — Pb, Zn и Cu. При определении прочих компонен-

тов, распределенных в руде более неравномерно, чем основные, например P и S в железных рудах, Fe_2O_3 в керамических полевых шпатах, Cd в некоторых полиметаллических рудах, Sn в полиметаллических, а также в мышьяковых и других рудах, коэффициенты K должны быть соответственно увеличены.

Так, если Fe и SiO_2 распределены в железной руде равномерно, а P — неравномерно или весьма неравномерно, то величина коэффициента K вместо 0,05 должна быть принята равной 0,1—0,2; для весьма неравномерной, например кварцево-шеелитовой руды, содержащей крупное золото, величина K должна быть принята равной 0,8—1,0 и т. д.

2. При отнесении руд к тому или иному типу существенная роль должна быть отведена учету размеров минералов, содержащих исследуемые компоненты. Чем крупнее минералы, тем неравномерность руды во многих случаях будет больше.

Не следует упускать из виду и склонность некоторых рудных минералов и их агрегатов к переизмельчению. Чем интенсивнее переизмельчение минералов, содержащих исследуемые компоненты, тем меньше в обычных случаях обработки может быть вес пробы, и наоборот. Отставание измельчения, например золота в кварцевых рудах, при мелком дроблении от измельчения кварца требует увеличения веса проб.

3. Предлагаемые величины коэффициентов K (в формуле $Q=Kd^2$) являются безусловно надежными[1] для обработки забойных проб, отобранных способом вычерпывания, точечным, бороздовым, задирковым и, конечно, шпуровым. Их можно применять и при обработке валовых проб, а также проб товарных руд, характеризующихся большим весом и значительной крупностью кусков, если размеры минералов (вкрапленников), содержащих исследуемые компоненты, не особенно велики.

4. При разработке схемы обработки проб следует иметь в виду, что веса лабораторных проб должны быть достаточными не только для производства основных, параллельных и контрольных анализов, но и для составления групповых проб. Кроме того, надо учитывать обязательность длительного хранения остатков проб (дубликатов) в связи с тем, что может возникнуть необходимость анализа некоторых из них в дальнейшем. Исходя из этого веса лабораторных проб, предназначенных для химического или количественного минералогического анализа, рекомендуется принимать равными: при ручном измельчении 0,20—0,25 *кг*, при механическом не менее 0,5 *кг*.

Выбор конечного размера частиц $d_к$ зависит от характера анализа, крупности рудных минералов, а также от ряда других факторов и должен всегда согласовываться с химиками-аналитиками и минералогами, выполняющими испытания.

5. При определении в пробах компонентов очень малой концентрации, например индия, связанного с цинковой обманкой и другими сульфидами в некоторых полиметаллических рудах, обработка должна вестись с сохранением всех отбросов. Последние необходимо измельчать и тщательно (двукратно или трехкратно) промывать для полного извлечения сульфидов и других тяжелых минералов. Полученный концентрат будет значительно более богат сульфидами, чем проба руды, благодаря чему определение индия будет относительно менее сложным и более надежным. Прочие компоненты определяются по основной, обычным путем обработанной пробе.

Если практически полное или почти полное извлечение сульфидов (или других тяжелых минералов) путем промывки в лотке не удается, то может оказаться целесообразным применение для этих целей лабораторных отсадочных машин или даже отбор мономинеральных фракций вручную. Во

[1] Надежными опытами была доказана полная возможность обработки проб равномерных свинцово-цинковых и мышьяковых руд по схемам, отвечающим $K = 0{,}02$. Однако в табл. 26 $K = 0{,}02$ не предлагается, так как и при $K = 0{,}05$, предусматриваемом этой таблицей для равномерных руд, обработка проб достаточно проста.

всяком случае необходимо стремиться к положительному решению этой задачи, так как непосредственное определение некоторых рассеянных элементов при малой концентрации их в руде в случае слишком больших навесок становится очень сложным, а иногда и ненадежным.

Такая обработка проб целесообразна и в других условиях, в частности при опробовании оловянных, вольфрамовых и золотых руд. Промывка протолочки позволяет получить в полевых условиях ориентировочное, а иногда и довольно точное представление о содержании указанных металлов до производства химических анализов.

6. Обработка валовых проб, предназначенных для технологических испытаний, часто может производиться без дробления. Но всегда существует необходимость в тщательном перемешивании материала перед сокращением, которому обычно подвергаются валовые пробы, взятые для лабораторных испытаний. Соотношение между начальным и конечным весом валовых проб колеблется в пределах от 1 : 1 для проб, направляемых на заводские испытания, до 1 : 20 для проб, исследуемых в лабораториях. В последнем случае схема обработки валовой пробы может приближаться к схеме обработки массовых (бороздовых) проб, направляемых на химические анализы.

Сокращение больших валовых проб целесообразно производить в процессе погрузки и транспортировки добываемой рудной массы. При высокой степени сокращения необходимо перелопачивать или иным способом перемешивать материал и в процессе перемешивания отделять в пробу *n*-ю (пятую, десятую и т. п.) лопату. В случае более или менее равномерной и однообразной руды, которая достаточно хорошо перемешивается при погрузке, можно отбирать в пробу материал из вагонетки тем или иным из известных способов опробования отбитой рудной массы. Целесообразно механизировать процесс сокращения проб с помощью механического пробоотборника.

Во многих случаях для технологических испытаний проба сокращается до необходимого веса после рудоразборки. В этих случаях обработка валовых проб аналогична описанной выше обработке проб при выборочном опробовании и состоит из следующих операций:

1) грохочение рудной массы;

2) сортировка оставшегося на грохоте крупного материала.

Минимальные размеры отверстий грохота для руд цветных, редких металлов и золота (при обработке последнего амальгамацией и цианированием) — от 40 до 60 *мм*.

Куски пустой породы, оставшиеся на грохоте, отбрасываются. Сростки пустой породы и руды, не прошедшие через грохот, разбиваются. Высвобождающиеся при этом куски породы также отбрасываются, а руда поступает на грохот. В результате получается, с одной стороны, пустая порода и с другой — крупная (плюс 40—60 *мм*) и мелкая (минус 40—60 *мм*) руда. Каждый из этих классов руды представляет собой самостоятельную часть технологической пробы и отдельно тарируется.

Крупность рудного материала в технологических пробах принимается в зависимости от намечаемой схемы их испытания. По одним схемам испытания ведутся без измельчения, при той крупности рудного материала, которая получается в результате отбойки или выемки руды в процессе разработки месторождений, по другим — с предварительным измельчением.

В первом случае говорят о естественной крупности, например многих бурожелезняковых, сидеритовых, а также марганцовых руд осадочного генезиса, и о кусковатости — результате отбойки крепких руд. Схемы технологических испытаний без измельчения применяются к некоторым железным и марганцовым рудам, фосфоритам, некоторым углям и другим видам сырья и полезных ископаемых, подвергающимся в процессе обогащения промывке (мойке); мойка может быть одной из операций процесса обогащения или основным и единственным его содержанием. В этих случаях крупность рудного материала технологических проб и соотношение между различными его классами должны быть такими же, как при добыче.

Схема технологических испытаний с предварительным измельчением применяется ко всем рудам цветных, редких металлов и золота, а также ко многим неметаллическим рудам. Такой схемы требуют пирометаллургические и гидрометаллургические процессы, а также процесс механического обогащения. При пирометаллургических процессах, например при выплавке цветных металлов, применяется крупный (ватержакетная плавка), средний (конверторная плавка) и мелкий (отражательная плавка) материал. Процессы механического обогащения, как правило, требуют мелкого и тонкого измельчения. Гидрометаллургические процессы также всегда идут при мелком или тонком измельчении.

В соответствии с этим и определяются требования к крупности материала технологических проб. Для основной массы перечисленных руд нецелесообразно сохранять в пробе первоначальную крупность материала, так как это осложняет обработку проб.

Утверждая, что все технологические пробы должны иметь такую же крупность рудного материала, какая получается при добыче, исходят из того, что в цикл опытных технологических испытаний должна входить классификация рудного материала, получающегося в результате отбойки руды в очистных забоях, а также после каждой стадии дробления, и что полученные данные должны быть положены в основу расчетов всех стадий дробления руд при составлении проекта производственной установки. Следует, однако, иметь в виду, что эти испытания требуют довольно большого числа наблюдений, и выяснение вопроса о соотношении различных классов рудного материала, получающегося при отбойке руды в очистных забоях, целесообразнее производить непосредственно на месторождении.

Там же удобнее производить и классификацию рудного материала при крупном и среднем дроблении, так как технологическая проба должна удовлетворять главным образом запросам собственно технологических испытаний.

В соответствии с этим почти всеми научно-исследовательскими и производственными организациями в последнее время принято считать, что в пробах, предназначенных для гидрометаллургических испытаний и испытаний механического обогащения, крупность рудного материала должна составлять 40—60 *мм*. Такая крупность в большинстве случаев удовлетворяет и требованиям пирометаллургических испытаний (за исключением некоторых случаев, в частности ватержакетной плавки, для которой рудный материал должен быть значительно крупнее).

3. ТЕХНИКА ОБРАБОТКИ ПРОБ

Процесс обработки проб обычно включает следующие операции:

1) дробление (измельчение); 2) просеивание (грохочение); 3) перемешивание; 4) сокращение. Все эти операции могут производиться как вручную, так и при помощи механизмов. Выбор ручного или механического способа обработки проб определяется технико-экономическими соображениями. При этом главными факторами, подлежащими учету, являются объем и срок производства работ. Значительный объем опробования требует полной механизации обработки проб или во всяком случае механизации ее наиболее трудоемкой операции — измельчения — не только в условиях рудника, но и в условиях разведочной партии.

Измельчение

В обычных случаях обработки проб применяются такие последовательные измельчения: крупное (100—30 *мм*)[1], среднее (12—5 *мм*), мелкое (3—0,7 *мм*) и тонкое (0,15—0,07 *мм*). Советская промышленность выпу-

[1] Крупное измельчение (100—30 *мм*) применяется лишь в случае обработки проб большого веса (валовых).

скает ряд дробилок и истирателей для различной степени измельчения руды. Ниже приводятся технические характеристики некоторых из них.

Дробилка щековая 100×60 (модель 58-ДР) применяется для измельчения руды с максимальной крупностью кусков 60 *мм* в лабораторных и полевых условиях и обеспечивает измельчение до 1 *мм*. Процесс дробления происходит периодически по принципу раздавливания и истирания.

Техническая характеристика

Размер загрузочного отверстия в *мм*	100×60
Производительность в *кг/час*:	
при ширине разгрузочной щели 6 *мм*	230
» » » » 3 »	190
» » » » 1 »	160
Число оборотов в минуту	500—600
Потребляемая мощность электродвигателя в *квт*	1,5
Габариты в *мм*:	
длина	355
ширина	333
высота	372
Вес электродвигателя в *кг*	72

Дробилка щековая 150×80 (модель 2-В) предназначается для среднего дробления горных пород любой крепости. Применяется она в лабораториях горнорудной, силикатной, химической, строительной и других отраслей промышленности.

Техническая характеристика

Размер загрузочного отверстия в *мм*	150×80
Максимальная крупность питания в *мм*	50
Минимальная ширина разгрузочной щели в *мм*	8—10
Производительность в *кг/час*	50—120
Число оборотов эксцентрикового вала в минуту	300
Потребляемая мощность в *квт*	1,47
Габариты в *мм*:	
длина	845
ширина	550
высота	525
Вес в *кг*	330

Дробильные валки гладкие используются для среднего и мелкого дробления.

Техническая характеристика

Размеры валков в *мм*	200×125
Максимальная крупность питания в *мм*	15
Размер щели в *мм*	2,0—5,0
Производительность в *кг/час*	20—40
Число оборотов в минуту	100—120
Потребляемая мощность в *квт*	1,1
Габариты в *мм*:	
длина	800
ширина	700
высота	500
Вес в *кг*	300

Мельница шаровая с поворотной осью 40-МЛ предназначена для тонкого измельчения проб руды как мокрым, так и сухим способом. Загружаемая в мельницу руда не должна иметь зерен крупнее 4—6 *мм*.

Техническая характеристика

Диаметр барабана в *мм*	242
Длина барабана в *мм*	200
Число оборотов мельницы в минуту	55
Элоктродвигатель:	
тип	АО-31/4
мощность в *квт*	0,6
число оборотов в минуту	1410
Тип клинового ремня	А
Длина ремня в *мм*	1400
Число ремней	2
Вес загружаемых шаров в *кг*	10
Диаметр шаров в *мм*	15—25
Передаточное число:	
червячной пары	21
на шкивах	1,2
Производительность в *кг/час*	8
Габариты в *мм*:	
длина	1220
ширина	570
высота	1140
Вес в *кг*	153

Вибрационный истиратель 75-БДР применяется для механического истирания навесок различных руд и других сухих материалов перед химическим анализом. В истирателе могут измельчаться одновременно четыре пробы весом по 50 *г*.

Исходный материал, загружаемый в стакан истирателя, должен быть предварительно раздроблен до крупности 2—3 *мм*. Измельчение в стаканах истирателя происходит путем раздавливания и истирания зерен роликом, быстро обкатывающимся по внутренней поверхности стакана. Движение ролика вызывается круговыми вибрациями прибора, возникающими при вращении самоцентрирующегося вибратора, который расположен в средней части прибора.

Техническая характеристика

Количество стаканов	4
Размеры стакана в *мм*	68×99
Объем стакана в *см*^{3}	360
Предельная загрузка стакана в *г*	50
Время истирания (по кварцу) в минутах при измельчении 90% навески:	
до 0,15 *мм*	1
» 0,10 »	2
» 0,05 »	4
Габариты в *мм*	1500×750×1220

Дисковый истиратель 60-ДР загружается сухим нелипким материалом, не содержащим зерен крупнее 3 *мм*.

Техническая характеристика

Диаметр диска в *мм*	175
Крупность питания в *мм*	2—3
Производительность при измельчении до 0,15 *мм* в *кг/час*	до 20
Число оборотов в минуту	450—560
Потребляемая мощность в *квт*	0,5
Габариты в *мм*:	
длина	500
ширина	300
высота	410
Вес в *кг*	30

Ручное измельчение проб производится молотками на чугунных или железных плитах. Рабочее пространство должно быть огоро-

жено для предотвращения разбрасывания рудного материала при дроблении.

При среднем дроблении относительно мелкого материала, например бороздовых проб, состоящих обычно из кусков не крупнее 25—30 *мм*, целесообразно производить дробление внутри железного кольца, снабжен-

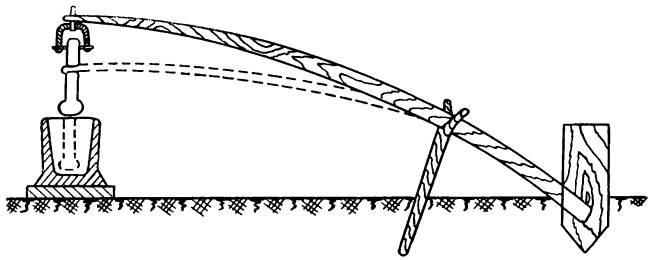


Рис. 109. Дробление пробы пестом с балансиром

ного деревянной или железной ручкой; это устраняет разбрасывание и потерю материала пробы, которые могут произойти при дроблении непосредственно на плите без кольца.

Вес молотков при крупном дроблении должен быть 4—6 *кг*, при среднем 1,3—3 *кг*. Целесообразно пользоваться молотками с закругленным боем; они обеспечивают сосредоточенный удар и дают меньше пыли.

Среднее измельчение может производиться и в больших чугунных ступах с вогнутым или плоским дном. Ступы с вогнутым дном прочнее, чем с плоским, но производительность дробления в последних при не особенно крепких рудах несколько выше. Ступы имеют высоту 60 *см*, диаметр 40 *см*, вес до 80 *кг*. Вес песта до 15 *кг*. Дробление в тяжелых ступах производится с балансиром (рис. 109).

Мелкое ручное измельчение осуществляется в ступках средних и малых размеров; высота их 25—30 *см*, диаметр 15—20 *см*, вес 10—12 *кг*. Вес песта 2—5 *кг*.

Ручное истирание пробы до 0,15—0,07 *мм* производится на чугунной доске с закраинами при помощи массивного башмака или валка с рукояткой. Вес башмака до 6 *кг*.

Просеивание

При большом весе проб просеивание целесообразно механизировать, используя плоские или барабанные грохоты, применяемые в обогатительном деле. Для просеивания большого количества крупного материала (свыше 25 *мм*) обычно применяется колосниковый грохот, представляющий собой прямоугольную деревянную раму, в коротких сторонах которой укреплены стальные или железные прутья на равных расстояниях друг от друга. Для просеивания более мелкого материала (от 25 *мм* и ниже) применяются решетчатые грохоты, состоящие из такой же рамы, на которой укрепляются сетки или дырчатые железные листы.

Для просеивания материала грохот при помощи стоек устанавливается под углом 40—50° при крупных отверстиях и 18—25° при мелких; в последнем случае при более крутом угле наклона быстро скатывающийся материал не успевает пройти через грохот.

В других случаях мелкий материал пропускают через проволочную сетку, натянутую на дно носилок с закраинами: двое рабочих держат носилки-сито за рукоятки и сообщают им колебательные движения.

При незначительном весе проб проволочная сетка натягивается на дно квадратных ящиков размером $20\times20\times10$ или $30\times30\times15$ *см*. Для просеивания мелкого и тонкого материала в конечных стадиях измельчения

(от 4 *мм* и мельче) пользуются стандартным набором лабораторных сит (табл. 27).

Таблица 27

Сравнительная таблица металлических сит

ГОСТ 2851—45 Размер стороны ячейки в свету в *мм*	Шкала Тейлора		ГОСТ 2851—45 Размер стороны ячейки в свету в *мм*	Шкала Тейлора	
	число отверстий на линейный дюйм (меш)	размер отверстий в *мм*		число отверстий на линейный дюйм (меш)	размер отверстий в *мм*
2,5	8	2,36	0,315		
2,3			0,3	48	0,30
1,7			0,25	60	0,25
1,6	10	1,65	0,21		
1,4	12	1,40	0,20	65	0,21
1,2	14	1,17	0,18	80	0,18
1,15	16	0,99	0,16		
1,0	20	0,83	0,15	100	0,15
0,85			0,125	115	0,12
0,8	24	0,70	0,105		
0,7			0,10	150	0,10
0,63	28	0,59	0,09	170	0,088
0,6			0,08		
0,5	32	0,50	0,075	200	0,074
0,42	35	0,42	0,063		
0,4			0,05		
0,355	42	0,35	0,04		

Перемешивание

Перемешивание перелопачиванием обычно производится при весе проб свыше 2—3 *т*. В этом случае вокруг кучи рудного материала, подлежащего перемешиванию, становятся несколько рабочих, которые забирают материал лопатами из разных мест кучи и пересыпают его на другое место, образуя новый конус. Операция повторяется несколько раз до получения однородной (на вид) смеси.

Следует помнить, что вследствие скатывания материала с конуса наряду с перемешиванием происходит его разделение по крупности и удельному весу частиц. Более крупные и тяжелые частицы скатываются к основанию конуса, а мелкие и легкие задерживаются у его вершины. Для уменьшения погрешности при последующем сокращении пробы надо каждую порцию материала ссыпать на вершину конуса.

Способ кольца и конуса (см. рис. 110) широко применяется при весе проб меньше 2—3 *т*. Сущность его заключается в следующем.

Материал пробы насыпают в виде кольца на специально устраиваемую ровную площадку (при малом весе проб — на стол), тщательно очищенную от остатков предыдущей пробы.

Затем кольцо породы пересыпают в центральную коническую кучу, забирая лопатой или совком небольшие порции материала с самого низа по внутренней стороне кольца и обходя последнее по окружности, пока вся проба не будет пересыпана в конус.

Оставшуюся на месте кольца породы мелочь подметают, собирают и высыпают на вершину конуса. Затем конус с помощью доски, а при небольшом весе пробы с помощью пластинки, разворачивают в диск, который

снова пересыпают в кольцо, затем снова кольцо пересыпают в конус и т. д. до получения однородной смеси. Весь процесс повторяется 2—3 раза.

В целях более совершенного перемешивания материала иногда практикуется насыпание конуса уступами (ступенчатое сбрасывание на конус). При этом вначале насыпается небольшой конус, который развертывается в диск полного диаметра. Затем в центре диска насыпается второй, меньший конус, развертываемый в диск того же диаметра, и т. д., пока таким образом не будет перемешан весь материал пробы.

Для более правильного развертывания конуса в диск (особенно при больших пробах) полезно насыпать конус вокруг неподвижно укрепленного

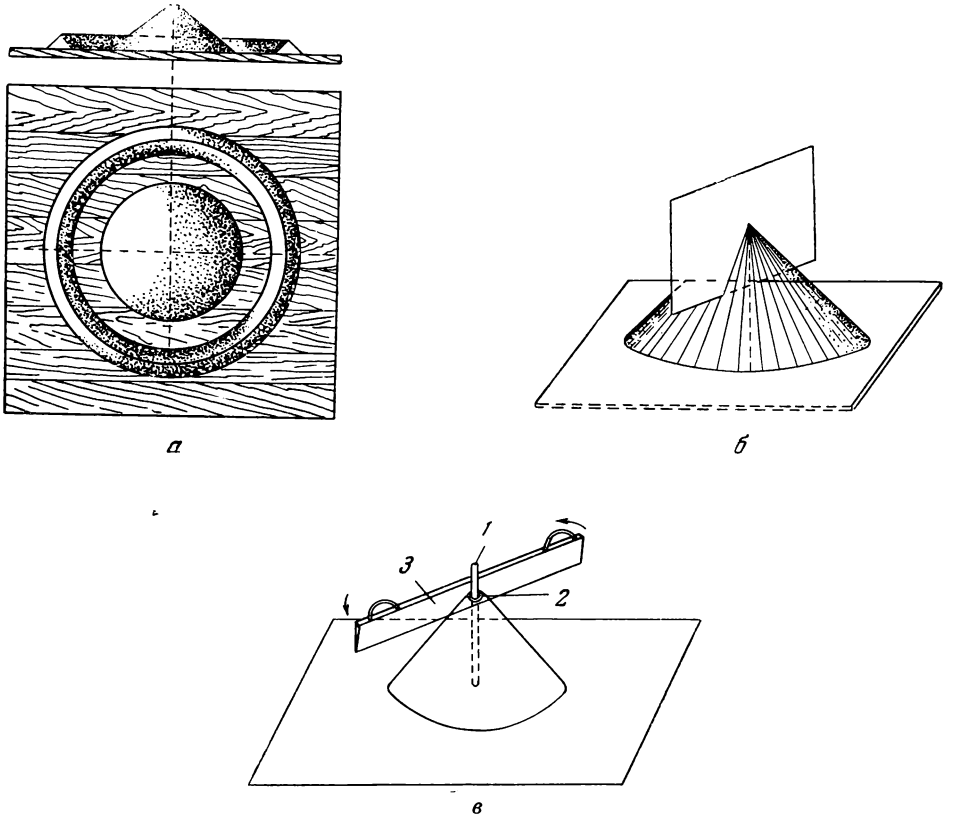


Рис. 110. Перемешивание способом кольца и конуса

а — общая схема перемешивания; *б* — развертывание конуса в диск при малых пробах; *в* — развертывание конуса в диск при больших пробах

штыря *1* так, чтобы последний совпал с вертикальной осью конуса (рис. 110). На этот штырь при развертывании конуса в диск надевается кольцо *2*, укрепленное на доске *3*.

Небольшие по весу пробы (3—5 *кг*) можно перемешивать на брезенте, плотном полотне, резине или клеенке способом перекатывания. Для этого, ссыпав пробу на кусок брезента, берут последний за противоположные углы (по диагонали) и поочередно поднимают и опускают их; при этом материал пробы перекатывается по брезенту, перемешивается и вскоре образует достаточно однородную смесь. Способ перекатывания дает удовлетворительные результаты, если частицы пробы достаточно однородны по величине и удельному весу. В. Я. Мостович рекомендует пользоваться этим способом лишь для перемешивания тонко измельченных проб (100—150 меш).

Сокращение

Наиболее распространенным способом сокращения проб является способ квартования. По этому способу сокращаемая проба после перемешивания способом кольца и конуса развертывается в ровный диск небольшой одинаковой толщины; затем диск при помощи крестовины, а при малых пробах при помощи пластинки, делится по двум взаимно-перпендикулярным диаметрам на четыре равные части, или квадранта. Два противоположных квадранта выбрасываются, а два других оставляются в качестве сокращенной пробы. Эта операция и составляет один прием сокращения путем квартования.

Если в данной стадии обработки пробы необходимо произвести несколько сокращений, то иногда сокращенная проба снова перемешивается, развертывается в диск и сокращается вторично тем же способом и т. д. до получения предельного веса пробы, соответствующего данной стадии измельчения.

При последнем сокращении в конечной стадии обработки оставляются обе расквартованные части пробы: одна из них направляется на испытание в лабораторию, а другая сохраняется в качестве контрольной (дубликат).

В случае многократного сокращения пробы в одной и той же стадии обработки перемешивание после каждого приема сокращения производят только в случае крайне неравномерного материала пробы. В остальных случаях можно ограничиться многократным тщательным перемешиванием перед началом сокращения, не прибегая к промежуточному перемешиванию.

Способ квартования применяется обычно при весе исходной пробы не более 2—3 *т*.

Пробы весом больше 2—3 *т* иногда сокращают перелопачиванием, разделяя пробу лопатами на две (или более) кучи, одна из которых оставляется в качестве сокращенной пробы.

Сокращение проб предложенным Н. В. Барышевым способом полного вычерпывания производится аналогично описанному выше одноименному способу пробоотбора. На диске из рудного материала, образованном в результате перемешивания пробы способом кольца и конуса, намечается квадратная сетка. Из центров квадратов или из узлов сетки совком или лопатой вычерпываются до основания диска частичные пробы. Последние объединяются в одну общую пробу, составляющую $^1/_n$ развернутого в диск рудного материала и отражающую его состав с погрешностью, не превышающей погрешность сокращения другими принятыми способами. Необходимая точность сокращения при пользовании этим способом достигается достаточно густой сетью частичных проб при достаточном весе каждой из них и правильном вычерпывании рудного материала (т. е. до основания диска).

Преимущества этого способа перед другими ручными способами сокращения заключаются главным образом в его высокой производительности, которая превышает, например, производительность способа квартования в 2—3 раза и больше. Кроме того, есть основания предполагать, что точность его в некоторых случаях может быть больше точности способа квартования: последний часто представляет собой длинный путь сокращения, вследствие чего возможность нарастания однозначных технических погрешностей увеличивается.

Применяя способ полного вычерпывания, можно организовать обработку проб таким образом, чтобы сокращение между двумя смежными приемами измельчения производилось в один прием. Кроме того, этот способ позволяет выбрать любую (в допустимых пределах) степень сокращения, хотя бы и выражающуюся нечетным или даже дробным числом.

Важно, однако, иметь в виду, что универсальным этот способ все же считать нельзя. В некоторых случаях, связанных с условиями производства работ, возможность его применения бывает не только ограничена, но

и исключена. К недостаткам его относятся трудоемкость процесса сокращения и необходимость в опытных рабочих.

Всемерного одобрения заслуживает способ сокращения, предложенный С. М. Коломейченко. По этому способу сокращение осуществляется с помощью делительного совка на специальном столе с двумя взаимно-

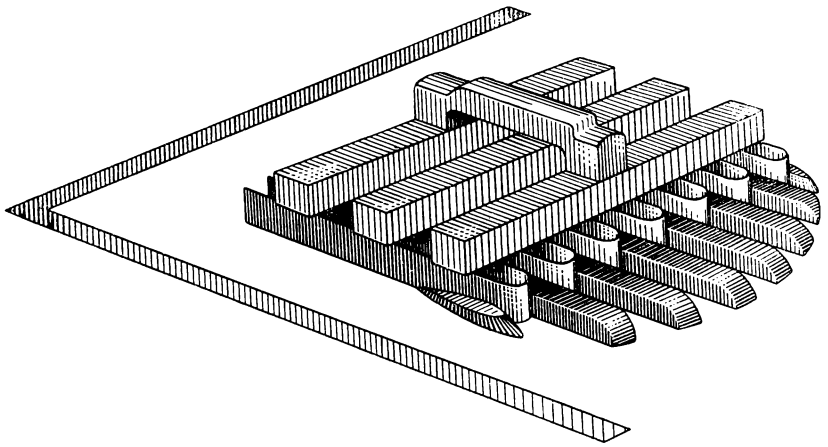


Рис. 111. Прибор С. М. Коломейченко для сокращения проб

перпендикулярными щелями. Совок, как видно на рис. 111, состоит из ряда согнутых полос тонкого листового железа, отстоящих на одинаковом расстоянии друг от друга.

Предназначенную для сокращения пробу высыпают на стол, перемешивают и выравнивают, придавая ей форму диска. На подготовленную таким образом пробу накладывают делительный совок и перемещают его в направлении одной из щелей в столе, в которую ссыпается половина материала. Для двукратного сокращения совок следует повернуть на 90°, наложить на оставшиеся полоски пробы и переместить в направлении другой щели.

Когда это возможно, следует сокращать пробы при помощи делителя Джонса (рис. 112), обеспечивающего значительную экономию времени, по сравнению со способом квартования, и достаточную точность. Этот способ сокращения заключается в следующем: две ендовки подставляются под выпускные отверстия делителя (по одной с каждой стороны), а из третьей ендовки материал пробы засыпается сверху равномерно во все отделения прибора; проба делится на две части, из которых одна отбрасывается, а другая в случае необходимости снова сокращается тем же способом.

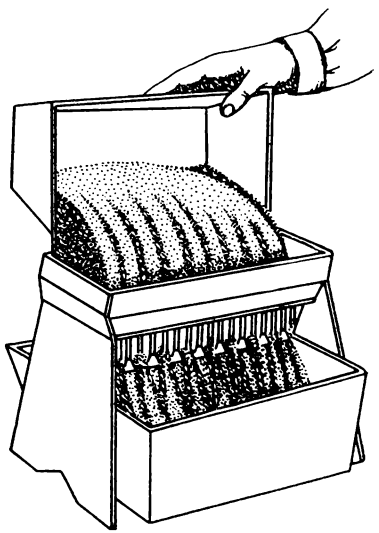


Рис. 112. Сокращение пробы делителем Джонса

Делители Джонса обычно используются для сокращения сравнительно небольших по весу проб (десятки килограммов) с диаметром частиц не более 5—10 *мм*. При этом по мере уменьшения веса сокращенных проб и увеличения тонкости их измельчения следует переходить к делителям меньших размеров.

Делители Джонса необходимо изготовлять с особой тщательностью: желоба должны быть совершенно гладкими, без всяких щелей и углублений. Число желобов должно быть не меньше 16, а ширина их в 5—6 раз больше диаметра наибольших частиц пробы.

Площадки и лаборатории для обработки проб

Все работы по обработке проб — дробление, грохочение, перемешивание и сокращение — в полевых сезонных партиях производятся на специально оборудованных площадках.

Размер площадки зависит от величины проб, подвергаемых обработке. Для обработки пробы весом 2—3 *т* достаточно иметь площадку размером 2,5×3 или 3×4 *м*. Площадку по возможности располагают вблизи опробуемых объектов, чтобы избежать излишней транспортировки проб и связанных с ней потерь, особенно в случае валового или задиркового опробования.

Покрытие площадки можно устроить из досок толщиной 2,5—4,5 *см*, плотно пригнанных друг к другу; мелкие щели площадки целесообразно затереть рудной мелочью, чтобы обеспечить полное сохранение руды, или при наличии необходимого материала часть площадки, где производится ручное дробление и грохочение, покрыть листовым железом. Для защиты от дождя и устранения связанных с этим простоев площадку необходимо накрыть навесом.

В стационарных разведочных партиях и на действующих рудниках, где опробование подземных выработок производится круглый год и в большом масштабе, следует организовать специальную опробовательскую лабораторию с бетонным полом и устроить при ней склад для хранения дубликатов проб.

Общие замечания о составлении схем обработки проб

В опробовательской лаборатории работы должны строиться в соответствии с инструкцией, составляемой руководством разведочной партии или геологоразведочным бюро рудника. К инструкции прилагается схема, составленная с учетом конкретной обстановки (имеющееся дробильное оборудование, сита и пр.)

Условия производства работ могут быть весьма различными, и стандартных схем обработки проб предложить невозможно. Поэтому ниже даются лишь общие указания по этому вопросу, имеющие целью ознакомить читателя с ходом разработки конкретных схем.

Разберем этот вопрос на примере обработки пробы, полученной в результате объединения нескольких бороздовых проб вольфрамовой руды с весьма неравномерным содержанием вольфрамита ($K=0{,}2$). Начальный вес пробы $Q=60$ *кг*; размер кусков наиболее крупной фракции $d_1=50$ *мм*. На месте производства работ имеются: лабораторная дробилка, валки, дисковый истиратель, крупные сита 20; 12; 8 *мм* и мелкие сита от 0,1 до 2,5 *мм* (ГОСТ).

Составление схемы ведем в следующем порядке:

1. Определяем, можно ли данную пробу сократить без измельчения.

Без измельчения проба может быть сокращена в n раз, (где n кратно двум), если будет соблюдено равенство

$$Q = nKd^2. \tag{51}$$

Проверяем, можно ли сократить пробу без измельчения в 2 раза. Очевидно, что если пробу можно сократить в 2 раза, то должно быть справедливо выражение

$$Q_1 \geqslant 2Kd_1^2.$$

В том случае, если Q_1 превышает произведение Kd_1^2 в 4 раза, проба может быть сокращена в 4 раза. Если же $Q_1 < 4\ Kd_1^2$, то сокращение возможно только в 2 раза. При $Q_1 \geqslant 8\ Kd_1^2$ возможно сокращение пробы в 8 раз и т. д.

В данном случае вес пробы Q не только меньше $2\ Kd_1^2$, но и меньше Kd_1^2 $(0{,}2 \cdot 50^2 = 500 > 60)$, следовательно, сокращение без измельчения невозможно.

2. Определяем, до какого размера необходимо измельчить пробу, чтобы можно было сократить ее, например, вдвое, т. е. до $Q_2 = \frac{Q_1}{2} = 30$ *кг*.

Решая уравнение $Q_2 = Kd_2^2$ относительно d_2, находим, что пробу нужно измельчить до 12 *мм*:

$$d_2 = \sqrt{\frac{Q_2}{K}} = \sqrt{\frac{30}{0{,}2}} \approx 12.$$

Степень измельчения $S'_и = \frac{d_1}{d_2}$ при этом будет равна 4. Если же принять ее равной 6, т. е. дробить начальную пробу не до 12, а до 8 *мм*, то степень сокращения $S_с = \frac{Q_1}{Q_2}$ окажется равной 4, т. е. проба сможет быть сокращена приблизительно в 4 раза.

В самом деле,

$$Q_2 = Kd_2^2 = 0{,}2 \cdot 8^2 = 12{,}8\ кг,$$

откуда

$$S_с = \frac{60}{12{,}8} \approx 4{,}7.$$

Принимаем ближайшую меньшую кратную двум величину $S_с = 4$. Выбирая степень измельчения $S_и = 6$, мы приблизительно на 30% снижаем производительность дробления против той, которая имела бы место при $S'_и = 4$, зато в дальнейшем измельчаем на валках не 30 *кг*, а только 15 *кг*. Некоторое снижение производительности измельчения при указанной выше крупности материала пробы обычно оказывается практически несущественным. Таким образом, удобнее для первой стадии процесса обработки принять следующие показатели: дробление до 8 *мм*, степень измельчения $S_и = 6$, степень сокращения $S_с = 4$.

При пользовании способом квартования, столом Коломейченко, а также делительными ящиками проба сокращается каждый раз вдвое. Делению пробы пополам соответствует один прием сокращения. Зависимость между степенью сокращения $S_с$ и числом приемов сокращения m выражается уравнением

$$\left.\begin{aligned} S &= 2^m \\ \text{или} \quad m &= \frac{\lg S_с}{\lg 2} \end{aligned}\right\}. \tag{52}$$

Для первой стадии рассматриваемой схемы обработки пробы число приемов сокращения m, соответствующее $S_с = 4$, определяется из выражения

$$m = \frac{\lg S_с}{\lg 2} = \frac{0{,}602}{0{,}301} = 2.$$

Сокращением пробы Q, измельченной до $d_2 = 8$ *мм*, в 4 раза (разумеется, предварительно перемешанной), и заканчивается первая стадия обработки (рис. 113).

Измельчение до 8 *мм* сопровождается проверочным просеиванием на сите 8 *мм*. Задача этого просеивания — контроль дробления. Куски руды, не прошедшие через сито, додрабливаются. (При ручном измельчении контрольное просеивание является в то же время и вспомогательным. Оно позволяет разгрузить плиту или ступу от материала, уже измельченного до необходимой крупности, который затрудняет додрабливание более крупного материала.)

Специального вспомогательного просеивания всей начальной пробы Q (на том же сите до дробления) не намечаем, так как при крупном и среднем

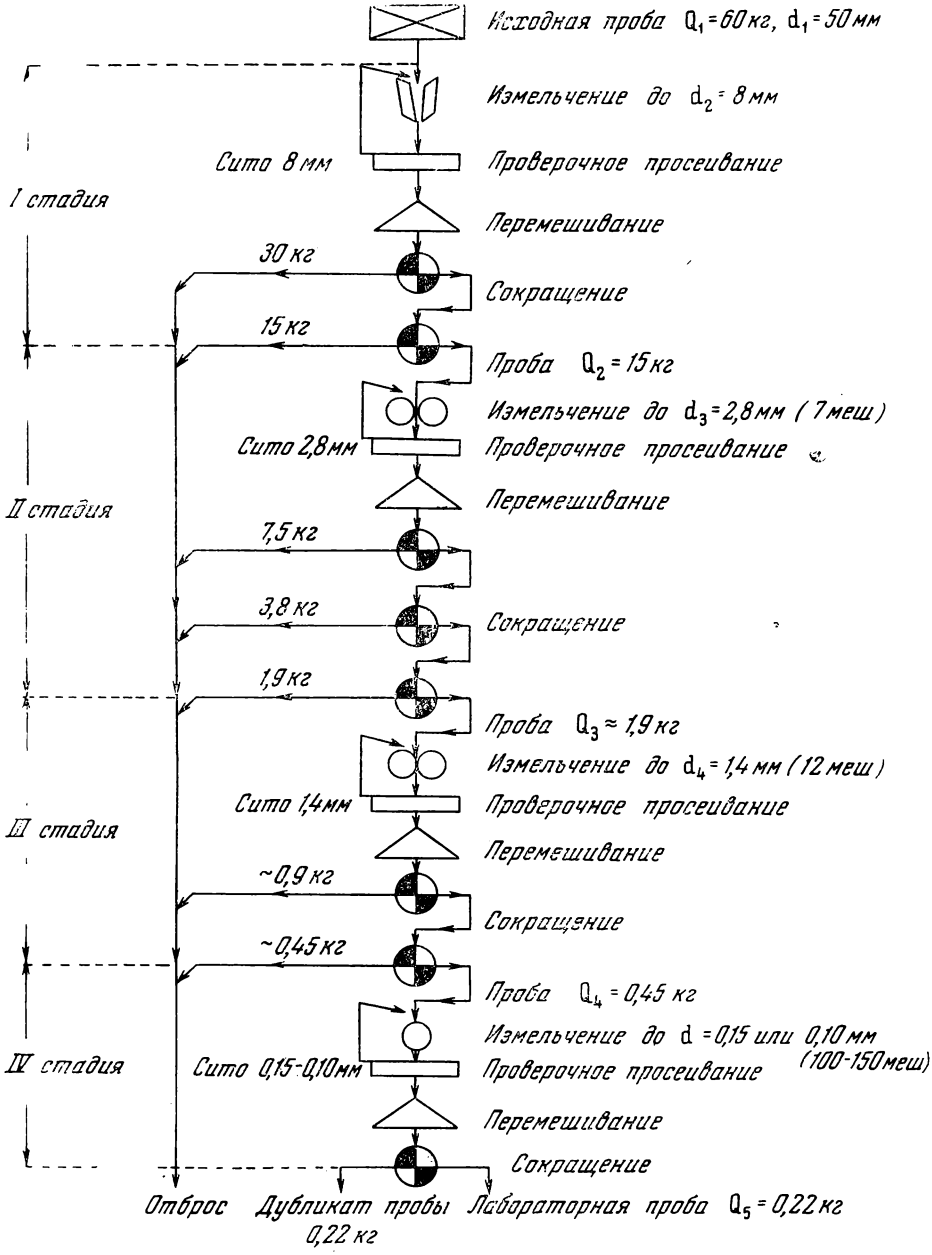


Рис. 113. Схема обработки проб

механическом дроблении в нем обычно нет необходимости. Оно может быть полезно лишь при мелком измельчении и то лишь в том случае, если время, необходимое для его выполнения, не окажется значительным, снижающим темпы обработки проб. (При ручном измельчении предварительное вспомогательное просеивание чаще всего бывает необходимым во всех стадиях процесса обработки. При этом при крепких и средней крепости рудах на дробление с вспомогательным просеиванием обычно затрачивается значительно меньше времени, чем на дробление без вспомогательного просеивания. Следует, однако, помнить, что при обработке золотых руд с крупным

золотом от просеивания в последних стадиях обработки необходимо воздерживаться, так как возможно застревание золотинок на ситах. В этом случае лучше идти на заведомое переизмельчение рудного материала.)

3. Решаем вопрос о рациональном измельчении пробы во второй стадии обработки. При этом, как и для первой стадии, учитываем необходимость минимальной затраты времени в этой и последующих стадиях обработки.

Относительно большой вес пробы $Q_2=15$ *кг* ($d_2=8$ *мм*) позволяет принять для второй стадии обработки степень измельчения $S_и=\frac{d_2}{d_3}\approx 3$, т. е. дробить пробу до 2,8 *мм* (7 меш) и сократить до $Q_3=\frac{Q_2}{8}\approx 1{,}9$ *кг*. (При меньшем весе пробы могла бы быть принята бóльшая степень измельчения — до 4—8.)

Таким образом, для этой стадии процесса обработки принимаем следующие показатели: степень измельчения $S_и\approx 3$, дробление до 2,8 *мм*, степень сокращения $S_с=8$, число приемов сокращения $m=3$, вес сокращенной пробы $Q_3=1{,}9$ *кг*.

4. В третьей стадии ведем измельчение до 1,4 *мм* (12 меш). Степень сокращения при этом будет равна $S_с=4$, число приемов сокращения 2, вес пробы $Q_4=0{,}45$ *кг*.

5. Четвертая стадия обработки заключается в доведении частиц пробы до 0,15—0,10 *мм* и в делении пробы пополам (проба и дубликат).

Таким образом, рассмотренная схема включает четыре стадии обработки. При составлении таких схем нужно руководствоваться стремлением по возможности не дробить ничего лишнего.

Начальные веса проб не являются постоянными; они подвержены весьма значительным колебаниям, которые должны быть учтены при обработке проб.

Если они находятся, например, в пределах 20—80 *кг* (крупность рудного материала обычно остается относительно постоянной) и коэффициент K для данного типа руд принят равным 0,2, то обработка ведется в соответствии со схемой, составленной для 60-килограммовой пробы (см. рис. 113). При этом пробы весом от 80 до 60 *кг* проходят все стадии и подвергаются всем приемам обработки, указанным на схеме; 40—30-килограммовые пробы сокращаются в первой стадии уже не в два приема, а в один, а для 20-килограммовых проб сокращение после измельчения до 8 *мм* не производится вовсе.

При такой обработке получается некоторый перерасход времени и средств. Поэтому, если через опробовательскую лабораторию проходит большое число проб, целесообразно составить несколько схем, отвечающих разным весам начальных проб. Однако работа по нескольким схемам имеет и свои недостатки: она требует регулировки дробильного оборудования и более опытного обслуживающего персонала.

Документация обработки проб заключается в регистрации проб, поступающих в опробовательскую лабораторию, фиксации их веса, числа приемов сокращения и веса конечных лаборторных проб. Перечисленные данные заносятся в специальный журнал и на этикетку, с которой проба поступила в опробовательскую лабораторию. С этой же этикеткой и сопроводительной проба направляется на испытание в ту или иную специальную лабораторию.

ГЛАВА III

ИСПЫТАНИЯ ПРОБ

Испытания, которым подвергаются пробы, отбираемые в процессе разведки месторождений, можно подразделить на следующие группы:

1) спектральные полуколичественные анализы, выполняемые с целью определения всех элементов в рудах, а также некоторые другие скоростные методы;

2) химические анализы, производимые для определения содержания полезных компонентов и вредных примесей;

3) минералогические исследования, имеющие целью установление минерального состава, размеров зерен, структуры и текстуры полезного ископаемого;

4) технологические испытания, выполняемые для выяснения наиболее эффективного способа переработки полезного ископаемого;

5) технические испытания, направленные на определение некоторых физических свойств полезного ископаемого, что необходимо главным образом для выяснения его качества и горнотехнических условий эксплуатации месторождения, а также для подсчета запасов.

Все эти виды исследований производятся в специальных лабораториях, на опытных участках месторождения, на опытных обогатительных установках или на действующих промышленных предприятиях. Рассмотрение методик исследования проб не входит в нашу задачу. Ниже излагаются лишь некоторые сведения и рекомендации, связанные с организацией испытаний проб и использованием их результатов в геологоразведочной практике.

1. СПЕКТРАЛЬНЫЕ АНАЛИЗЫ

В последнее время, кроме обычных химических анализов руд, стал применятья ряд скоростных методов аналитических определений: капельный, колориметрический, нейтронный, полярографический, радиометрический, спектральный и некоторые другие. В СССР наиболее распространен спектральный метод исследований, особенно полуколичественный, хотя за последние годы больших успехов достиг и количественный спектральный анализ.

Полуколичественный анализ является основным средством исследований полезного ископаемого в стадиях поисков и поисково-разведочных работ, а порой играет существенную роль даже в стадии предварительной разведки. Такое широкое распространение спектральные анализы получили не только благодаря своей относительной дешевизне, скорости, точности, простоте и универсальности; этому способствуют также возможность одновременного определения многих элементов (32 и даже больше), удобство хранения фотопластинок, малое количество необходимого для анализа материала, необязательность тонкого измельчения материала и многие другие преимущества.

Спектральный метод дал возможность навсегда избавиться от обычного недостатка геологоразведочных работ прошлого: незнания комплексного состава руд. В прошлом незнание некоторых компонентов в комплексной руде нередко приводило к большим осложнениям. В настоящее время, при большом спросе на редкие и рассеянные элементы, незнание полного элементарного состава руд было бы особенно нетерпимо. Очевидно, в будущем, с расширением сферы применения количественных спектральных анализов, роль их еще больше возрастет.

Следует отметить, что спектральным методом целесообразно анализировать «линейные», «пунктирные», штуфные и некоторые другие пробы.

2. ХИМИЧЕСКИЕ АНАЛИЗЫ

Химические анализы массовых проб являются основой для подсчета запасов руды и заключенных в ней металлов. Они должны выполняться с максимально возможной точностью.

Бедные руды более чувствительны к погрешностям в определении содержания полезных компонентов, чем богатые. Одна и та же (в процентном выражении) ошибка менее ощутима для богатых руд, которые, несмотря на ошибку, остаются объектом промышленного использования, чем для бедных, которые в результате этой ошибки могут быть незаслуженно отнесены в раз-

ряд непромышленных руд. В последнем случае в результате ошибки анализа могут быть незаслуженно забракованы большие участки месторождения или даже месторождение целиком. Все это подчеркивает важность систематического контроля химических анализов массовых проб.

Аналитические пробы основных неметаллических и металлических руд, кроме золотых и платиновых, могут быть небольшого веса, так как размер непосредственно анализируемых навесок, как правило, не превышает 5 *г*. Если учесть нередкую необходимость производства химических определений по двум параллельным навескам, порчу части из них во время аналитической работы, а также обязательность сохранения в лаборатории остатков аналитических проб, то оптимальным весом их следует считать приблизительно 30—50 *г*. Для золотых и платиновых руд веса аналитических проб в соответствии с размерами навесок (25—100 *г*) следует принимать равными 250—500 *г*.

Крупность рудного материала аналитических проб зависит от характера руд. Она принимается равной 0,07—0,15 *мм* (200—100 меш), если, конечно, бо́льшая крупность не обосновывается в каждом отдельном случае экспериментально, как это сделано, например, применительно к некоторым полиметаллическим рудам и рудам редких металлов.

Указанные веса аналитических проб и крупность рудного материала во всех случаях необходимо согласовывать с лабораториями, производящими анализ.

Если на месте производства геологоразведочных работ измельчение аналитических проб до 0,07—0,15 *мм* окажется затруднительным, можно доводить их только до 0,2—0,4 *мм*. Истирание с 0,2—0,4 до 0,07—0,15 *мм* в этом случае поручается химико-аналитической или пробирной лаборатории. Таким образом, при отсутствии лаборатории на месте производства геологоразведочных работ аналитические пробы могут посылаться в лабораторию полуприготовленными, недоизмельченными.

Выделение аналитических проб при крупности рудного материала 0,2—0,4 *мм* допускается производить не только квартованием или делителями Джонса, но и способом полного вычерпывания при следующем количестве порций (точек), составляющих пробу:

Равномерные руды	9 порций
Неравномерные руды	16 »
Весьма неравномерные и крайне неравномерные руды	25 »

Эта рекомендация обоснована экспериментальными работами.

При пересылке аналитических проб в лабораторию особое внимание надо обращать на упаковку. Каждую аналитическую пробу следует завернуть в плотную гладкую (типа глянцевой) бумагу капсюлем, последний в свою очередь завернуть в прочную оберточную бумагу, зашить в полотняный мешочек и упаковать в ящик. Исключение составляют лишь пробы золотых и платиновых руд, которые помещают в ящики в плотных, завернутых в бумагу мешочках.

Для комплексной оценки и использования месторождения необходим подсчет запасов всех заключенных в нем полезных компонентов. Поэтому в процессе химических анализов приходится определять содержание нескольких металлов, находящихся в извлекаемых количествах в рудах, или содержание рассеянных элементов в различных видах минерального сырья. Перед производством химических анализов на попутные компоненты их содержание должно быть проверено полуколичественным спектральным анализом во избежание излишних затрат на более дорогие химические исследования.

При наличии достаточно надежной корреляционной зависимости между двумя или несколькими компонентами руд, когда величина r приближается

к единице, можно значительно сократить количество анализов на попутные компоненты и вычислять содержание последних по содержанию основного компонента. Подсчет запасов попутного компонента, выполненный на основании тесных корреляционных связей, может быть не менее точен, чем подсчет, основанный на результатах анализов каждой пробы, так как при малом содержании попутных компонентов в рудах точность химического определения этих элементов невелика. Наличие надежных корреляционных связей между компонентами устанавливается экспериментально по каждому типу руды на характерных участках месторождения.

Качественная характеристика многих видов полезных ископаемых базируется на определении комплекса их физических и химических свойств.

Очевидно, что слишком большое число разнородных определений осложняет работу, а при опробовании подготовительных и очистных выработок обусловливает увеличение себестоимости добычи. В связи с этим в каждом отдельном случае необходимо производить минимум определений, который, однако, удовлетворял бы полностью все требования проектирующих и производственных организаций в отношении характеристики качества полезного ископаемого.

Решение вопроса о минимально необходимом качестве определений зависит от условий производства работ, от того, насколько ясна общая схема технологического процесса для данного горнорудного сырья (например, будет ли руда поступать в плавку или подвергаться предварительному обогащению).

В условиях поисково-разведочных работ, задачей которых является выяснение целесообразности постановки на данном объекте разведочных работ, решающее значение имеет определение содержания промышленно ценных компонентов. В связи с этим в каждой отдельной пробе чаще всего и определяются лишь промышленно ценные компоненты; прочие компоненты определяются главным образом по групповым пробам, составляемым из остатков лабораторных проб.

В стадии разведочных работ большое внимание обращается на полезные и вредные примеси. При этом также могут быть широко использованы групповые пробы, однако число и групповых, и индивидуальных (необъединенных) проб, в которых определяются упомянутые примеси, должно быть достаточным для выявления пространственного распределения сортов руд.

В этом случае, так же, впрочем, как и при поисково-разведочных и эксплуатационных работах, групповые пробы широко используются и для производства полных анализов. Дело в том, что не только в неравномерных, весьма неравномерных и крайне неравномерных, но и в некоторых равномерных рудах содержание исследуемых компонентов, установленное по индивидуальным пробам, обычно не соответствует содержанию их в тех участках рудных тел, которые эти пробы характеризуют. Групповые пробы, составленные из трех-пяти и большего числа объединенных проб, оказываются в этом отношении вполне надежными.

Группировать следует пробы по отрезкам выработок или целым выработкам (восстающим, гезенкам, штрекам, ортам, квершлагам и скважинам) с учетом горизонтальной и вертикальной зональности распределения минеральных ассоциаций и других геологических особенностей, а также локализации различных технологических сортов руд. Анализ групповых проб не исключает производства соответствующих определений по индивидуальным и объединенным пробам; он лишь дополняет их.

При систематическом опробовании однотипных руд, обрабатываемых и перерабатываемых на обогатительных и бегунных фабриках, иловых заводах, а для некоторых руд, в частности мышьяковых, свинцовых и железных, — на пирометаллургических заводах, в объединенных пробах из подготовительных и очистных выработок всегда определяются лишь промышленно ценные компоненты. Прочие компоненты определяются в каждой из

указанных проб лишь при выборочном опробовании. При систематическом опробовании в таких условиях большую роль должны играть групповые пробы.

Группировка проб в однотипных рудах может производиться не только по отдельным отрезкам выработок, но и по двум-четырем выработкам, оконтуривающим подготовленный к добыче блок. Эти блоковые пробы представляют большой практический интерес с точки зрения накопления необходимого материала для широкого геологического изучения месторождения. Анализ этих проб производится на все компоненты, представляющие в данных условиях практический и теоретический интерес (полный анализ).

При наличии различных типов руд в пределах подготовленного к добыче участка блоковых проб составлять не следует. Их должны заменять групповые пробы, составляемые с учетом пространственной локализации руд.

Если же руда, характеризующаяся неравномерным, а тем более весьма неравномерным содержанием второстепенных (но учитываемых при составлении шихты) компонентов, поступает непосредственно в плавку, то содержание этих компонентов по основным (этажным) горизонтам рудника должно определяться не по групповым, а по индивидуальным или объединенным пробам. Это необходимо для предвидения качества руд — для перспективного планирования отгрузки руды заводу. Последний, получив заблаговременно сведения, например о том, что содержание SiO_2 в зоне первичных руд обслуживающего его полиметаллического рудника с глубиной увеличивается, а CaO и FeS_2 резко падает, своевременно предусмотрит изменение состава шихты.

В общем относительно количества компонентов, подлежащих определению в каждой индивидуальной и объединенной пробе, и роли групповых, а также блоковых проб могут быть сделаны следующие выводы:

1. Для месторождений с равномерным характером оруденения, для которых рекомендованы сравнительно большие расстояния между пробами, в отдельных пробах, отбитых в горных выработках, подлежат определению все компоненты (включая вредные и полезные примеси), которыми характеризуется качество данного горнорудного сырья. В то же время для некоторых месторождений этой группы (даже при расстоянии между пробами в 10 *м*) большое практическое значение имеют и групповые пробы.

2. Для остальных групп месторождений (по степени равномерности оруденения) нужно, не снижая качества работ, стремиться к определению в индивидуальных и объединенных пробах минимума компонентов, широко используя для полных анализов групповые пробы. Эта задача упрощается при своевременном использовании полуколичественных спектральных анализов.

3. Изложенное относится и к буровым скважинам, если мощность рудных тел весьма значительна и количество скважин велико. Однако длину участка, по которому группируются пробы, следует ограничивать. Максимальная длина участка не должна превышать высоты уступа при разработке месторождения открытыми работами и 5—10 *м* обычной мощности при подземной разработке.

Во всех прочих условиях пробы, отбираемые из буровых скважин, должны анализироваться на все компоненты, которыми определяется качество полезного ископаемого.

4. Условия производства работ (разведочные, подготовительные или очистные работы) и обычно зависящая от них степень изученности месторождения подлежат учету при решении рассматриваемого вопроса в первую очередь. Чем выше степень изученности месторождения, тем шире могут быть использованы групповые пробы. Не может не учитываться и характер обработки и переработки сырья или полезного ископаемого. Чем сложнее эти процессы, тем выше требования к сырью, тем более дифференцирован-

ный подход должен быть к определению его компонентов. Групповые пробы не утрачивают в этих условиях своего положительного значения, но количество группируемых проб уменьшается.

Следует отметить, что существующая практика производства химических и пробирных анализов, когда пробы различной степени представительности изучаются одними и теми же, как правило, высокоточными методами, является абсолютно нерациональной, так как она вызывает: 1) чрезмерную перегрузку лабораторий ненужной работой, 2) лишние затраты реактивов, времени и средств, 3) длительность производства анализов, нередко сильно тормозящую своевременное решение важных практических задач, связанных с оценкой месторождения. Рациональным следует считать производство анализов с учетом степени представительности проб. Заказчик должен сообщать химико-аналитической или пробирной лаборатории все известные ему данные о составе проб и указывать допустимые размеры случайных погрешностей анализов.

Во всех случаях нужно помнить о дешевых полуколичественных спектральных анализах, которые должны опережать передачу проб на химический анализ.

3. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Минералогические исследования с применением микроскопа в процессе разведки могут применяться:

1) для предварительного разделения руд на сорта соответственно их природным типам и предполагаемым технологическим свойствам;

2) для корректирования результатов химических анализов;

3) для расчета фазовых анализов.

В начальной стадии разведки, до выполнения первых лабораторных исследований обогатимости руд, для выделения участков, где должны отбираться технологические пробы, необходимо подвергнуть минералогическому изучению различные типы руд. Выяснение минерального состава руд, размеров зерен и структур дает возможность прежде всего различить руды окисленные, полуокисленные (смешанные) и первичные. Кроме того, в пределах каждого такого типа руды могут быть выделены участки сравнительно простых и более сложных по составу руд (медные и медно-молибденовые, вольфрамитовые и вольфрамито-шеелитовые и т. п.). Затем в пределах одного и того же типа руды можно выделить более богатые и менее богатые по содержанию полезных компонентов участки значительных размеров. Наконец, различная крупность минеральных зерен и их сочетания (структуры) могут послужить основой для разделения руды на сорта в зависимости от технологических схем обогащения.

Корректирование результатов массовых химических анализов проб с помощью минералогических исследований имеет ограниченное применение. Сопоставлением результатов этих двух видов исследования руды, взятой из одного и того же пункта, удается установить лишь резкое несоответствие в определении содержания металла или несоответствие установленного химическим анализом элементарного состава руды составу минералогическому.

Более существенное значение имеют минералогические исследования проб, предназначенных для фазовых анализов, а также исследования отдельных фракций проб, подвергаемых различного рода переработке (обогащению, магнитной сепарации и т. п.).

При разведке многих месторождений редких и благородных металлов (касситеритовых, шеелитовых, золотых) с малым содержанием полезных минералов в рудах большое значение приобретает шлиховой анализ протолочек, т. е. минералогический анализ шлихов, отмытых из материала измельченной пробы.

Особую роль минералогический состав и физические свойства минералов играют в установлении технологических сортов нерудных полезных ископаемых.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

В технической литературе часто встречаются термины: «технологический тип» и «технологический сорт» руды без расшифровки этих понятий. Прежде всего нужно условиться относительно трактовки понятий «тип» и «сорт».

Под типом целесообразно понимать природные качественные и количественные сочетания минералов (учитывая размеры минералов, их срастания, прорастания, структуры и текстуры), образующие внутри общей массы минерального сырья скопления, которые можно селективно добывать. Таких типов руд можно назвать много для различных видов минерального сырья. Например, в полиметаллических рудах в первую очередь выделяются окисленные, смешанные и первичные руды, а если в них есть медь, то еще халькозиновые руды; затем можно различать убогие вкрапленные, сплошные сульфидные руды; по преимущественному развитию тех или иных минералов можно выделить свинцово-цинковые, свинцово-медные, цинковые руды и т. п. Различаются типы руд и по содержанию в них тех или иных рассеянных элементов: серебра, кадмия, селена и др.

Слово «сорт» не требует специального объяснения — это тот же тип, но уже имеющий промышленное значение. Добавление слова «технологический» целесообразно толковать как указание на то, что данный тип вполне технологически освоен или имеет особую изученную технологию обработки и переработки.

Пробы руд отбираются для технологических испытаний на обогатимость или на плавку. Результаты этих испытаний используются при проектировании новых и при реконструкции действующих металлургических фабрик и заводов. От них зависит эффективность капитальных затрат и нормальная работа построенных агрегатов.

Технологические испытания полезных ископаемых производятся в различных стадиях их разведки от поисково-разведочных работ вплоть до начала эксплуатации (см. табл. 28).

В процессе поисково-разведочных работ, чаще всего в конце их, или в самом начале предварительной разведки эти испытания становятся необходимыми: 1) при благоприятной геологической обстановке и прочих условиях, заставляющих форсировать промышленное освоение объекта, или 2) когда возможность освоения сырья с технологической точки зрения не выяснена даже в грубой схеме.

Для того чтобы проиллюстрировать необходимость производства технологических испытаний в конце поисково-разведочных работ или в начале предварительной разведки в связи с благоприятной геологической обстановкой и прочими условиями, заставляющими форсировать промышленное освоение объекта, можно привести следующий пример.

Результаты вскрытия крутопадающих маломощных (0,2—0,6 *м*) кварцево-шеелитовых жил с поверхности относительно большим числом легких горноразведочных выработок и данные проходки нескольких коротких штолен, расположенных на существенно различных гипсометрических отметках, не оставляют сомнения в том, что масштаб месторождения более или менее значителен. Геологические наблюдения, результаты опробования и минералогического изучения руд, а также прочие факторы, подлежащие учету при оценке месторождений, вполне определенно указывают на возможность эффективной разработки данного месторождения и получения концентрата стоимостью не выше плановой для действующих в аналогичных условиях предприятий. Заинтересованность промышленности в получении концентрата с данного месторождения в ближайшие 1,5—2 года очевидна,

и вопрос о последовательном (в две-три очереди) промышленном его освоении решается положительно.

Дальнейшая разведка такого месторождения на глубину совмещается с разведочно-подготовительными работами в наиболее благоприятных его участках, организованными в целях быстрейшего обеспечения пуска первой очереди предприятия. Проектирование горной части предприятия может вестись при указанных выше условиях по данным поисково-разведочных работ. Но в основу технологической части проекта должны быть положены результаты соответствующих испытаний. Для этого пробы должны быть отобраны заранее или во всяком случае не позже срока, обеспечивающего своевременное выполнение испытаний, составление проекта и строительство фабрики.

Необходимость производства технологических испытаний в поисково-разведочной стадии или в самом начале предварительной разведки можно проиллюстрировать на примере медистых песчаников Карагандинского месторождения. Несмотря на относительно высокое содержание меди (1,6—1,7%), эти песчаники совершенно не поддавались обогащению в связи с тем, что рудные минералы (карбонаты меди) представлены в них землистыми разностями, тонко распределенными в глинистом веществе, цементирующем песчаник.

Для решения вопроса о технологическом освоении таких руд соответствующие испытания необходимо ставить заблаговременно — с самого начала предварительной разведки, как только намечаются благоприятные условия с точки зрения масштаба месторождения и содержания промышленно ценных компонентов. Начав технологические испытания позже, например в стадии детальной разведки, можно задержать промышленное освоение месторождения, так как производство технологических испытаний в таких условиях нередко может представлять сложную научно-исследовательскую проблему, решение которой потребует много времени.

В стадии поисково-разведочных работ и в начальной стадии предварительной разведки обычно производятся предварительные технологические испытания в лабораторных условиях.

В результате лабораторных технологических испытаний руд в процессе предварительной разведки важно установить, насколько правильно выделены сорта полезного ископаемого по данным минералогических исследований и общим геолого-структурным соображениям. При этом может оказаться, что некоторые различные по количественному содержанию или по комплексам полезных компонентов участки месторождения разделять на сорта нецелесообразно. Или, наоборот, однотипную с виду руду вследствие разных соотношений минералов, требующих применения различных схем обогащения, рационально расчленить на два сорта (например, руды с преобладанием шеелита и руды с преобладанием вольфрамита). Особенно важно установить не только качественные, но и количественные соотношения различных минеральных форм нахождения промышленного металла в руде, так как от этого зависят размеры извлечения и потери металла в отходах (хвостах).

При детальной разведке, когда производятся полузаводские или заводские технологические испытания различных, уже установленных сортов руды, главной целью является установление качественных и количественных показателей обогащения: процента извлечения полезного компонента и величины потерь в хвостах. Эти показатели особенно важны для оценки руд месторождений с малой концентрацией полезных минералов.

В зависимости от указанных показателей обогащения большие участки месторождения, а иногда и все месторождение в целом, могут оказаться непромышленными из-за недостаточной величины извлекаемой ценности руды. Поэтому полузаводские технологические испытания следует проводить по возможности в самом начале детальной разведки и в первую очередь по тем сортам, которые достаточно точно установлены и оконтурены предва-

рительной разведкой. В конце детальной разведки должны быть проведены технологические испытания всех сортов полезного ископаемого в заводском масштабе.

М. А. Эйгелес рекомендует следующую схему построения процесса технологических испытаний (табл. 28).

Таблица 28

Зависимость начала технологических испытаний от степени технологического освоения минерального сырья

(по М. А. Эйгелесу)

Характеристика технологической освоенности минерального сырья	Стадия геологоразведочных работ, в которой должны быть начаты технологические испытания	Задача первого этапа технологических испытаний
Технология обогащения и переработки промышленностью освоена	Детальная разведка	Технологическая оценка полезного ископаемого
Технология обогащения и переработки промышленностью освоена, но схема обогащения или переработки сложна или дорога	Начало детальной разведки или предварительная разведка	Разработка рациональной схемы обогащения или переработки. Определение технико-экономических показателей обогащения и переработки
Технология обогащения промышленностью не освоена	Предварительная разведка или начало детальной разведки	Получение кондиционных концентратов с приемлемыми технико-экономическими показателями
Технология обогащения промышленностью освоена, но технология переработки концентратов или полезного ископаемого (если оно не обогащается) не освоена	То же	Разработка схем переработки полезного ископаемого или его концентратов. Определение технико-экономических показателей
Технология обогащения и переработки не освоена	Поисково-разведочные работы или предварительная разведка	Предварительная технологическая и экономическая оценка нового вида минерального сырья

В условиях действующего рудника технологические испытания производятся в связи с изменением характера полезного ископаемого при переходе работ на более глубокие горизонты или на другие участки по простиранию. В таких случаях технологические испытания руд необходимы для составления проекта реконструкции процесса их обработки или переработки.

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Технические испытания проб, выполняемые в процессе разведочных работ, целесообразно разделить на три группы:

1) испытания, необходимые для подсчета запасов;

2) испытания, необходимые для выяснения горнотехнических условий эксплуатации месторождения;

3) испытания, необходимые для определения качества минерального сырья.

Испытания, относимые к первой группе, также используются для выяснения горнотехнических условий эксплуатации, но разведчику они нужны прежде всего для подсчета запасов. Поэтому, если испытания второй группы могут проводиться в конце разведки, то первые — испытания, необходимые для подсчета запасов, — должны выполняться в самые начальные этапы разведочных работ (хотя данные, полученные в начале разведки, обычно впоследствии уточняются).

К первой группе испытаний относятся определения объемного веса, влажности и иногда пористости как средства контроля определения объемного веса. Эти показатели не требуют определения в специальных лабораториях. Способы таких испытаний весьма просты и общеизвестны (см. раздел пятый).

Среди технических испытаний второй группы наибольшее значение имеют определения кусковатости руд, коэффициента разрыхления, пористости, твердости, пластичности, вязкости, сопротивления раздавливанию, степени размокания и набухания (для рыхлых глинистых руд). Такие испытания физико-механических свойств руд (и частично вмещающих горных пород) выполняются в специальных лабораториях.

Испытания, составляющие третью группу, сугубо индивидуальны для каждого вида полезного ископаемого, так как методы и задачи этих испытаний определяются видом и назначением минерального сырья (прозрачность оптических кристаллов, твердость абразивов, оттенки цвета минеральной краски, сопротивление раздавливанию строительного камня, теплотворная способность минерального топлива и т. п.). Они в большинстве случаев составляют предмет специальных исследований, сущность которых освещается в соответствующих прикладных дисциплинах, изучающих условия применения и использования того или иного минерального сырья.

Так, например, характер испытаний гравия определяется требованиями, предъявляемыми к нему при использовании. В некоторых случаях может оказаться целесообразным исследование не только средней пробы всей массы гравия, но и отдельных петрографических разностей. Необходимый для испытаний материал обычно отбирается из «отбросов», получаемых после сокращения начальной валовой пробы. Исследованию подвергаются разные фракции. Количество их зависит от содержания каждой фракции во всей опробуемой массе гравия. С. И. Таубер считает, что если содержание какой-либо фракции не превышает 20%, то в отдельных исследованиях такой фракции нет необходимости.

Для исследования на сопротивление раздавливанию отбирают по 10—12 галек от различных петрографических разностей пород. Испытаниям на износ в барабанах Деваля подвергают два класса проб: плюс 80 меш и минус 80 меш; вес их должен быть не менее 35—40 *кг*. Эти пробы получают путем сокращения материала после основной классификации его по крупности.

ГЛАВА IV

ОПРОБОВАНИЕ РОССЫПЕЙ[1]

Хотя к россыпям и применимы почти все рассмотренные способы взятия проб, все же способы их опробования существенно отличаются от опробования коренных месторождений. Основное отличие заключается в процессе обработки проб, которая обычно производится на месте поисковых или разведочных работ путем промывки.

В области разведки и опробования золотых и платиновых россыпей в СССР накоплен полуторавековой опыт. Значительно меньший опыт имеется у нас в области опробования оловянных и вольфрамовых россыпей (приблизительно три десятилетия) и совсем небольшой — в опробовании титано-циркониевых, монацитовых и особенно алмазных россыпей.

Основная трудность опробования россыпных месторождений золота и платины заключается в весьма низком содержании и крайне неравномерном распределении зерен полезного ископаемого в опробуемом материале. Металлические зерна не связаны с вмещающей породой, содержание их

[1] В этой главе широко использована специальная записка А. И. Лифшиц, написанная ею по просьбе автора.

обычно резко увеличивается в приплотиковой части россыпи, а размеры и форма зависят от формы нахождения металла в коренных месторождениях, служивших источником образования данной россыпи (крупная или тонкая вкрапленность золота), а также от условий формирования самой россыпи — разрушения пород, переноса и переотложения обломочного материала водными потоками. Все это обусловливает необходимость шурфовых работ или бурения скважин очень большого диаметра.

Значительно больше рудных минералов содержится в оловянных, вольфрамовых и в титано-циркониевых песках. Здесь относительная равномерность распределения рудных минералов в россыпи и количество их настолько увеличиваются, что опробованию путем буровых работ отводится главное, а порой исключительное место.

Совершенно особняком стоят алмазные россыпи. В некоторых из них содержание алмазов во много раз меньше, чем содержание металла в золотых и платиновых россыпях. Кроме того, алмазы крайне неравномерно распределены как по площади, так и в вертикальном разрезе. Это вызывает необходимость отбора больших проб, объемом в десятки кубических метров (для богатых россыпей — объемом ~ 1 $м^3$), а следовательно, необходимость применения шурфов и других горных выработок. Бурению отводится вспомогательная роль. Использование шлихового метода, а также геофизических средств для непосредственной констатации алмазов также встречает большие трудности.

Минимальный объем пробы, необходимый для выявления одного кристалла алмаза, в каждом отдельном случае определяется средним содержанием алмазов в россыпях данного типа в данном районе и средним весом самих кристаллов алмаза. При поисках в новых районах, где алмазоносность еще не установлена, нужно опираться на опыт смежных районов. Если же поблизости алмазоносных районов нет и способом аналогии пользоваться невозможно, следует ориентироваться на наибольший вес проб, принятый в известных алмазоносных районах.

При этом нужно учитывать, что на один кристалл алмаза в различных районах и условиях в среднем приходится от 5 до 60 $м^3$ песков и лишь в некоторых богатых россыпях один кристалл приходится почти на каждый промытый лоток. Кроме того, даже в относительно богатых россыпях неравномерность распределения алмазов почти всегда обусловливает некоторый процент пустых проб. Следовательно, можно говорить только о среднем содержании алмазов, определяемом по нескольким пробам.

Весь цикл работ, связанный с опробованием разведочной выработки на россыпи, можно разделить на три основные операции: 1) отбор проб; 2) обработка проб (промывка, концентрация); 3) определение количества полезного ископаемого в концентрате пробы (шлихе).

1. ОТБОР ПРОБ

Отбор проб в основном производится из горных выработок и скважин, если не считать лоткового опробования, при котором пробы обычно берутся из закопушек глубиной 0,3—0,6 *м*, и взятия проб со дна озера или реки при помощи черпака.

В шурфах опробование производится как в процессе их проходки, так и по окончании ее. Опробование россыпей одновременно с проходкой шурфов позволяет лучше руководить разведкой. Кроме того, попутное опробование ускоряет передачу россыпи в эксплуатацию.

При разведке россыпей углубка шурфов осуществляется путем выемки отдельных горизонтальных слоев определенной мощности, причем порода из каждого такого слоя складывается в отдельную кучку («выкид») и размещается на площадке вокруг шурфа.

До последнего времени общепринятый стандарт углубки разведочной выработки, или «интервал опробования», составлял 0,2 *м*. Однако, поскольку

в настоящее время масштабы раздельной разработки россыпей все более сокращаются, уступая место механизированной сплошной добыче песков (драги, гидравлики), интервал опробования нередко можно увеличить до 0,5 *м*. Только в россыпях, предназначенных для раздельной добычи, следует сохранить интервал опробования 0,2 *м* при отборе проб в торфах (в слое мощностью 2—3 *м*, лежащем непосредственно над продуктивным пластом) и в самом пласте.

Пробы, поступающие в промывку, должны иметь постоянный объем. Для измерения его служат продолговатые корытообразные ящики — ендовки — размером вверху 0,60×0,30 *м*, внизу 0,50×0,20 *м*, высотой 0,17 *м*. Ендовка всегда насыпается доверху, содержимое ее уплотняется встряхиванием и ударами лопаты, а излишек породы удаляется под линейку. Учитывая разрыхленность породы, объем такой ендовки при расчетах обычно принимают равным 0,02 $м^3$. Средний вес породы, вмещаемой ендовкой, зависит от состава россыпи и определяется путем большого числа взвешиваний. От выкида, обычно из разных его точек, берут одну-две ендовки, и каждую из них промывают отдельно.

Иногда пробу из выкидов шурфа можно сокращать квартованием или отбирать вычерпыванием или бороздой, расположенной по диаметру расплющенного выкида или крест-накрест. Проверка показала, что все эти способы дают достаточно близкие результаты, но бороздовый способ отбора проб наиболее прост и удобен, поэтому он наиболее широко распространен.

Бороздовый способ применяется при опробовании россыпей в шурфах лишь в тех случаях, когда описанный выше способ пробоотбора оказывается почему-либо неудобным, в частности при проходке с взрывными работами. При этом борозды располагаются по стенкам шурфа: две борозды — по одной на двух противоположных стенках, или четыре борозды — по одной на каждой стенке. Сечение борозд определяется длиной и количеством борозд, составляющих одну пробу, а также весом последней, который колеблется в пределах 30—60 *кг*. Чем неравномернее содержание исследуемых компонентов и чем крупнее их размеры, тем вес пробы должен быть больше Длина бороздовой пробы (опробуемая мощность) при разведке золото- и платиносодержащих россыпей в шурфах чаще всего принимается равной 0,2 *м*. При опробовании россыпей касситерита и вольфрамита считают возможным брать пробы полуметровой и даже метровой длины.

Вопрос о длине проб необходимо решать с учетом мощности россыпей, степени неравномерности оруденения, способа разработки и других условий. В начальной стадии разведочных работ, при выяснении границ распространения и мощности песков и торфов, короткие пробы, в частности по 0,2 *м*, могут быть необходимыми. Может оказаться необходимым и секционное опробование с учетом изменения литологического состава россыпей по мощности. Однако такое опробование чаще всего должно быть выборочным, а не систематическим. Серьезное внимание обращается на опробование плотика, особенно в тех случаях, когда он оказывается благоприятным для концентрации тяжелых металлов и минералов.

Несомненно, бороздовое опробование заслуживает более широкого применения как предварительное (не исключающее валового опробования с полной промывкой всех выкидов) для более уверенного суждения о содержании промышленно ценных минералов в россыпи; при благоприятных условиях, например в случае относительно равномерного распределения промышленно ценных минералов и небольшой их крупности, бороздовое опробование может использоваться и как окончательное.

Совершенно неприемлемо бороздовое опробование при наличии в россыпи большого количества крупной гальки и валунов, а также при крайне неравномерном распределении в ней промышленно ценных компонентов.

Проходка шурфов является самым дорогим средством разведки, особенно в водоносных отложениях, поэтому в настоящее время уже разработаны и начинают внедряться в практику агрегаты для механизированной

проходки буровых дудок больших диаметров — установка ПУРШ, буровая машина БМН-860.

Бурение при разведке неглубоких россыпей часто производится буром Эмпайр диаметром 4 и 6″. Реже используется Невьянский бур с диаметром наконечников до 458 *мм*, позволяющий вести проходку в мягких породах с включениями гальки и валунов размером до 160—170 *мм* в поперечнике. В последнее время используются также шнеки и лайзлы. На более глубоких россыпях обычно применяется механическое ударно-канатное бурение. Объем проб, взятых из буровой скважины, замеряется в специальной колоде или вычисляется по диаметру скважины и величине углубки, с которой взята данная проба.

Получение надежных результатов опробования требует: 1) тщательного крепления скважин с некоторым опережением фрезера обсадных труб по отношению к буровому наконечнику; 2) возможно более точной фиксации продвижения труб и высоты столбика породы в трубах до забурки (до желонения); 3) тщательных замеров объема вынутой породы и 4) контроля опробования скважины путем отбора проб в сопряженных с ней шурфах (исключение составляют скважины, пробуренные Невьянским комплектом и буровыми машинами БМН-860 и ПУРШ, не требующие такого контроля).

Количество контрольных шурфов должно быть достаточным для объективного суждения о точности проведенного опробования. Для золотоносных россыпей количество контрольных шурфов принимают равным 10—20% от количества скважин.

На касситеритовых, вольфрамитовых, титано-циркониевых, монацитовых и других россыпях объем проб может быть меньше, чем в золотых и платиновых, так как содержание полезных компонентов в них значительно выше.

Объемы проб, получаемые с интервала проходки 0,5 *м*, при разведке россыпей различными способами, сведены в табл. 29.

Таблица 29

Сравнительные размеры проб при различных способах разведки россыпей

Средства разведки	Размеры выработки (сечение или диаметр) в *м*	Площадь сечения выработки в $м^2$	Объем пробы в $м^3$	Процент от объема пробы, взятой в шурфе
Шурфы	1,25 × 1,6	2,0	1,0	100
Дудки	0,9	0,64	0,32	32
Скважины:				
Невьянский бур . .	0,5	0,20	0,10	10
станок Кийстон . .	0,15	0,028	0,014	1,4
бур Эмпайр	0,093	0,007	0,0035	0,35
БМН-860	0,86	0,56	0,28	28
ПУРШ	0,53	0,22	0,11	11

Относительно опробования россыпей некоторых конкретных полезных ископаемых можно сделать следующие замечания.

Касситеритовые россыпи разведываются в Забайкалье шурфами, обычно в зимнее время, с промораживанием, или, в случае невозможности зимней проходки шурфов,— бурением станками Эмпайр и Кийстон (при условии контроля шурфами). Опробование разведочных выработок на касситеритовых россыпях ведется по 0,5-метровым интервалам, торфа могут быть опробованы с метровыми интервалами. При разведке глинистых касситеритовых россыпей нередко целесообразно проводить бороздовое опробование непосредственно в шурфе.

Титано-циркониевые россыпи на Украине разведываются бурением с опробованием через интервалы 0,5 *м*, реже 1 *м*, также с контрольным шурфованием. Пробы от выкидов из шурфов сокращаются квартованием до объема 0,02 $м^3$ (одна ендовка) с перемешиванием методом кольца и конуса.

При опробовании на алмазы разделение толщи на пески и торфа производится по литологическим признакам, а в случае трудности литологического расчленения толща подвергается детальному шлиховому опробованию с каждого погонного метра; при этом учитывается не только количество шлиха, но также количество окатанной гальки и зернистость фракции. При опробовании этих россыпей в каждой выработке из песков отбирается самостоятельная проба установленного объема. На более или менее крупных и выдержанных россыпях Урала при мощности продуктивной свиты 4—6 *м* производится послойное опробование. Однородные и неизученные толщи опробуются с интервалами в 4 *м*. Если выделяются два или несколько слоев мощностью свыше 2 *м*, каждый слой опробуется особо.

При проверке торфов на содержание алмазов необходимо производить выборочное контрольное опробование. Суммарный объем контрольных проб из торфов принимается равным 10—15% от суммарного объема проб из песков. В общем при контрольном опробовании торфов проба берется в 2 раза большего объема, чем при опробовании песков, и обычно отбирается из нескольких выработок, характеризующих каждый данный участок россыпи.

При выборе горных выработок для опробования алмазоносных россыпей учитываются мощность торфов и песков и их водоносность, а размеры выработки зависят от необходимого объема проб.

Русловые россыпи опробуются при помощи экскаваторов и пахарей, которыми проводится однометровая непрерывная подводная канава; при значительной ширине россыпи канава разделяется на секции. Канавами же опробуются ложковые россыпи, а также косовые и долинные. При резком увеличении мощности отложений канавы заменяются шурфами.

2. ОБРАБОТКА РАЗВЕДОЧНЫХ ПРОБ

Основное отличие обработки пробы песков из россыпей от обработки материала проб других полезных ископаемых состоит в предварительном обогащении песков путем их отмывки в воде до получения шлиха, т. е. тяжелого минерального концентрата. На испытание направляются, таким образом, не пески, а обогащенный материал — шлих.

Промывка проб состоит из трех последовательных операций. В процессе производства первой операции происходит о т м у ч и в а н и е — отделение глинистого материала и отбрасывание крупных кусков; вторая операция заключается в о т м ы в к е мелких частиц минералов с небольшим удельным весом и третья — в д о в о д к е шлиха. Целью последней операции является отмывка небольшого количества относительно легкого материала, оставшегося в пробе после выполнения второй операции.

Потери при промывке на лотке или в ковше колеблются в весьма широких пределах. Для золота и платины они обычно не превышают 10—15%, а при резком преобладании относительно крупных частиц над тонкими извлечение этих металлов достигает 95—98%. При промывке некоторых касситеритовых и вольфрамитовых россыпей, характеризующихся наличием тонкого рудного материала, потери доходят до 25—40%. В этих случаях приходится вести двукратную и трехкратную промывку одной и той же пробы в баке или на брезенте с тщательным сохранением хвостов. Подобный метод промывки следует рекомендовать для всех типов россыпей, в которых имеется мелкий и весьма мелкий шлиховой материал.

Потери золота и платины на вашгерде или бутаре составляют приблизительно 5—10%, а касситерита и вольфрамита — до 30—40%.

Низкое качество обработки разведочных проб с помощью лотка, ковша, вашгерда и бутары объясняется несовершенством этих приборов, где все операции обработки пробы — дезинтеграция породы, отмучивание глинистых частиц и разделение минералов по удельному весу — совмещены (лоток, ковш) или недостаточно разделены (вашгерд, бутара) и почти целиком зависят от индивидуальных качеств исполнителей — их квалификации и трудолюбия.

Особенно резко несовершенство лотковой промывки сказывается на опробовании касситеритовых и редкометальных (титано-циркониевых, монацитовых и др.) россыпей, где удельный вес полезных минералов составляет всего 4,5—5,5 и снос их, особенно у малоопытных промывальщиков, доходит до 40—50%. Поэтому необходимо механизировать обработку разведочных проб, внедрить более совершенные процессы и аппараты, которые могут повысить производительность труда, а также степень извлечения ценных металлов и минералов из опробуемого материала независимо от субъективных качеств исполнителей.

В 1955—1956 гг. в институте НИГРИЗолото была спроектирована, изготовлена и испытана передвижная обогатительная установка для обработки разведочных проб большого объема. Установка состоит из двойного барабанного грохота, где осуществляется интенсивная дезинтеграция и грохочение породы, и центробежного сепаратора, где происходит обогащение мелких классов опробуемого материала. Производительность установки 300 *л/час*. Она может быть использована для обработки разведочных проб большого объема, выдаваемых новыми буровыми машинами (БМН-860, ПУРШ), и для валовой промывки проб при шурфовой разведке.

Испытания, проведенные на золотоносной россыпи, показали, что центробежный сепаратор дает высокую степень извлечения металла (до 96—98%) при небольшом выходе концентрата. Доводка концентрата производится на гидравлической ловушке; это позволяет выделить основную массу золотин без нарушения их формы и размеров, что неизбежно при амальгамации.

Испытания второго варианта этой установки успешно прошли в 1957 г. на Иршинском ильменитовом месторождении. Выявлено, что дезинтеграция даже весьма вязких каолиновых проб, отобранных из зон коры выветривания, на барабанном дезинтеграторе при закладке во внутренний барабан шести-восьми стержней диаметром 20 *мм* получается достаточно полной. Извлечение ильменита на отсадочной машине было получено высокое, в хвостах отсадки в большинстве случаев оставалось только «знаковое» содержание. Из хвостов лотковой промывки было дополнительно извлечено значительное количество ильменита (в среднем 40% от первоначального намыва), что позволило перевести некоторые участки из категории непромышленных в промышленные.

Обработка алмазоносных песков является особенно сложной и ответственной операцией. Каждая разведочная проба обрабатывается отдельно. От каждой пробы отбирается часть объемом 1—3 $м^3$ (для богатых россыпей — меньше 1 $м^3$) и по ней определяется содержание тяжелой фракции по классам крупности, выход шлиха, гранулометрический и петрографический состав песков и степень их промывистости. Обработка алмазоносных песков включает четыре основные операции: 1) промывку, 2) грохочение, 3) концентрацию и 4) извлечение алмазов. Промывка производится с помощью мониторов или на бутарах; при этом высвобождается зернистый материал крупностью от 0,2 до 16 *мм*, где сконцентрированы практически все алмазы.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ШЛИХЕ

На золото- и платиносодержащих россыпях, где удельный вес металла и шлиховых минералов сильно различается, выделение металлических зерен из состава шлиха производится отдувкой. Это весьма примитивный

процесс, успех которого зависит от индивидуальных качеств исполнителей. Отдувка не обеспечивает полноту выделения зерен металла, особенно мелких; ее следует заменить дополнительной обработкой шлиха на простейшей гидравлической ловушке с последующим выделением металлических зерен из получаемого концентрата под бинокуляром.

На касситеритовых и редкометальных россыпях обработка шлиха более сложна и производится в полевых и стационарных шлиховых лабораториях.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБ

Золотоносные россыпи. Золото, заключенное в россыпях, по технологическим свойствам можно разделить на три вида:

1) «свободное шлиховое золото», извлекаемое промывкой;

2) «свободное тонкое золото» (плавучее), плохо улавливаемое промывкой и извлекаемое отсадкой и амальгамацией;

3) «связанное золото», определяемое пробирным анализом.

Такая технологическая классификация россыпного золота тесно связана с геологическими факторами образования россыпи — формой нахождения металла в коренном месторождении (крупная вкрапленность в кварце или тонкое прорастание с сульфидами) и условиями перемыва и переотложения аллювиального материала, слагающего россыпь.

Так, по мере удаления от коренного источника размер зерен золота и платины постепенно уменьшается. Элювиально-делювиальные россыпи содержат повышенное количество металла, не освобожденного от сростков с породой, а косовые россыпи, куда попадает тонкий металл, частично выносимый водными потоками из русловых россыпей, характеризуются чрезвычайно мелким подвижным «плавучим» золотом, плохо улавливаемым при промывке.

Содержание «свободного тонкого» золота в аллювиальных (долинных и русловых) россыпях составляет 3—5% от общего содержания в них золота, в элювиально-делювиальных 10—15%, а в косовых — до 20—30%. Количество «связанного» золота в россыпи зависит от минерального состава слагающего ее материала и от степени его разрушенности.

Зная содержание в россыпи золота различных видов, можно выбрать наиболее рациональную технологическую схему обработки песков при эксплуатации месторождения, обеспечивающую максимальное извлечение металла.

Отбор проб для технологических исследований проводится бороздовым способом в шурфах, расположенных по всей промышленной части разведываемой россыпи как можно более равномерно. Из каждого шурфа берется одна частичная проба; общее количество их должно быть не менее 8—10. Бороздой захватывается та часть вскрываемых шурфом рыхлых отложений, которая относится к выемочной мощности пласта. На объектах массовой дражной или гидравлической добычи борозда проводится по всей толще рыхлых отложений.

Сечение борозд устанавливается в пределах от 30×15 до 50×20 *см* в зависимости от намеченного количества частичных проб и выемочной мощности пласта с таким расчетом, чтобы общий объем частичных проб, из которых составляется групповая проба, составлял 1,5—2,0 $м^3$.

Материал для пробы на технологические испытания может быть взят также из выдаваемой при проходке шурфа породы после сокращения ее путем отбора n-й лопаты.

Технологические исследования имеют целью:

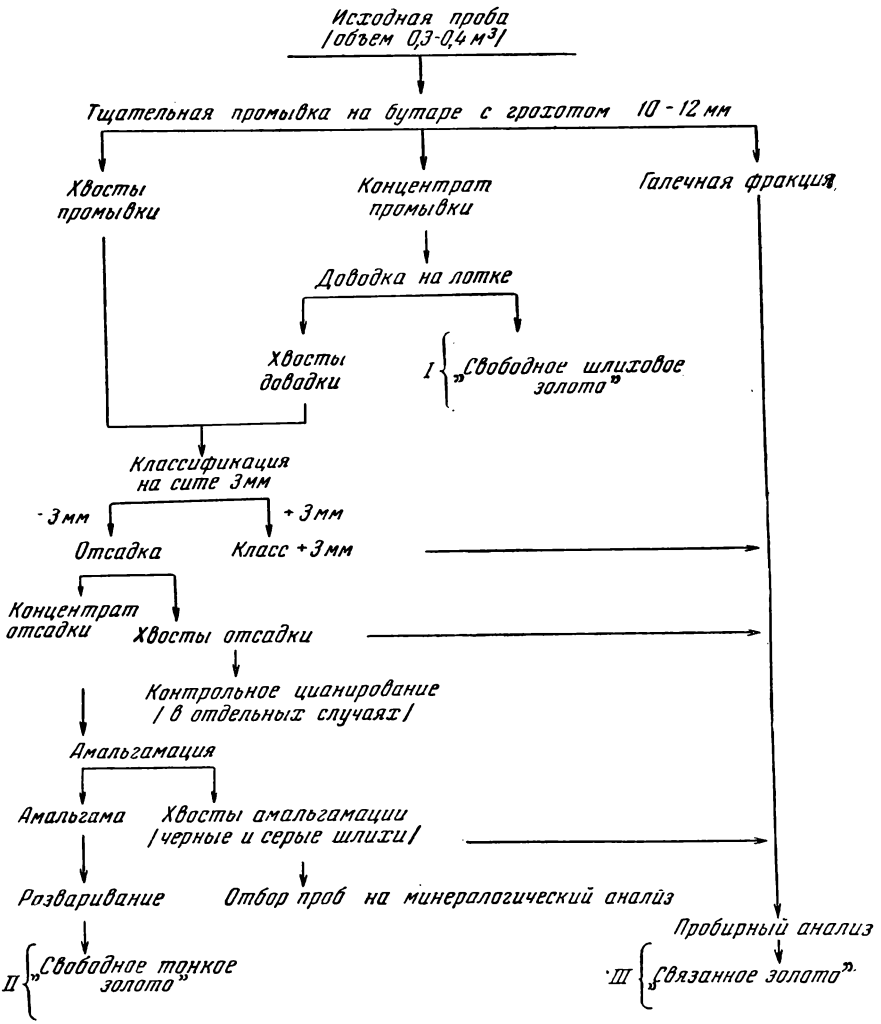
1) определение содержания ценного компонента в песках раздельно по его технологическим видам с изучением форм и размеров кристаллов;

2) выявление сопутствующих полезных компонентов и определение их содержания;

3) выбор рациональных способов извлечения полезных компонентов для разработки схемы и оптимального режима процесса извлечения.

Технологическая обработка проб золотоносных песков должна проводиться в приисковых лабораториях. На первом этапе испытаний от них отби-

Схема технологической обработки пробы золотосодержащих песков



рается по 0,3—0,4 $м^3$ породы и обрабатывается по приводимой схеме, включающей тщательную промывку на бутаре, классификацию хвостов промывки на сите 3 *мм* и отсадку этого материала с амальгамацией концентрата отсадки. Концентрат, полученный промывкой на бутаре, доводится на лотке, хвосты доводки также направляются на отсадку. Золото, извлеченное отсадкой из хвостов промывки и хвостов доводки концентрата промывки, относится к «свободному тонкому» золоту, плохо извлекаемому обычной промывкой.

Галечная фракция после сушки и взвешивания в случае наличия кусков кварца и рудных минералов подвергается рудоразборке (по классам крупности), затем раздельно по классам и по фракциям подвергается дроблению и сокращению (по типу рудных проб), причем от каждого продукта отби-

рается средняя проба на пробирный анализ весом 1—2 *кг*. Пробирному анализу подвергаются также хвосты амальгамации (черные и серые шлихи) и хвосты отсадки. Последние для выявления полноты извлечения свободного золота отсадкой иногда подвергаются цианированию; в этом случае на пробирный анализ поступают хвосты цианирования. Весь металл в указанных продуктах, определяемый пробирным анализом, представляет собой «связанное» золото, находящееся в сростках с породой.

Выход всех продуктов в процессе технологических испытаний пробы тщательно фиксируется для последующего составления баланса по золоту в опробуемом материале с разбивкой его по видам.

Вторая задача технологических исследований — выявление сопутствующих полезных компонентов — решается путем изучения шлиха.

Дальнейшие исследования, имеющие целью разработку рациональных схем извлечения золота и сопутствующих полезных компонентов, ведутся в зависимости от результатов первого этапа исследований и данных минералогического анализа. При малом содержании в песках мелкого золота и полезных сопутствующих компонентов технологическая схема может быть упрощена и ограничена шлюзами и подшлюзками. Основное внимание следует уделять хорошей дезинтеграции породы при подготовке ее к промывке. Наличие свободного тонкого золота требует изучения его характера и испытания более сложных схем, включающих отсадку и амальгамацию

Касситеритовые и редкометальные россыпи. Технологические исследования проб касситеритовых и редкометальных россыпей имеют целью тщательное изучение минерального состава песков, выявление крупности зерен полезных минералов и степени связи их с породой. Такое детальное изучение материала позволяет рекомендовать наиболее рациональные способы извлечения полезных минералов при эксплуатации россыпи.

Отбор проб на касситеритовых и редкометальных россыпях, так же как и на золотоносных, следует производить из разведочных шурфов (при их наличии). Кроме того, проба песков для технологических исследований может быть отобрана из специальных скважин малого диаметра, равномерно расположенных по россыпи, или из канав, пересекающих в двух-трех местах всю неглубокую россыпь по ширине.

Объем пробы, предназначенной для технологических исследований, надо рассчитывать исходя из того, что в нее должны попасть и крупные зерна полезных ископаемых, редко встречающиеся в данной россыпи. Поэтому вопрос об объеме пробы для каждой россыпи нужно решать отдельно в зависимости от ситовой характеристики материала россыпи и полезного ископаемого, выясняемой в процессе текущего опробования месторождения. В сильно каменистых россыпях вес проб необходимо увеличивать.

Технологическая обработка проб касситеритовых и редкометальных россыпей требует сложного лабораторного оборудования и обычно выполняется в специальных исследовательских институтах с применением наиболее совершенных обогатительных приборов, магнитной сепарации и в отдельных случаях — флотации.

Алмазные россыпи. Технология обработки материала алмазоносных россыпей очень специфична. К каждой из операций обработки предъявляются довольно жесткие требования. Так, к качеству грохочения предъявляются требования, касающиеся пределов измельчения каждого класса. Каждый из этих классов обрабатывается на отдельной отсадочной машине. Требования к качеству отсадки сводятся к установлению нижнего предела извлечения тяжелой фракции в концентрат, равного $\sim$90%.

Самое извлечение алмазов производится при помощи рентгенолюминесцентного анализа концентрата, наряду с которым иногда используется жировой способ. Концентрат, полученный последним способом, а также минералы, выявленные на специальных установках, контролируются путем

просвечивания лучами Рентгена и направляются в лабораторию для контрольной диагностики и взвешивания.

Все операции по обработке алмазоносных проб должны строго контролироваться, особенно в отношении хвостов; для этих целей разработаны соответствующие приемы, описание которых приводится в специальных работах.

ГЛАВА V

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОПРОБОВАНИЯ

Надежность результатов опробования зависит как от способов взятия обработки проб, так и от метода их анализа.

Но не только правильный выбор способа пробоотбора и схемы обработки проб или методики их анализа определяет надежность опробования. Большое значение имеет тщательность выполнения операций и при отбойке пробы, и при ее обработке, и в период производства анализов. Таким образом, в процессе опробования могут возникать и возникают многочисленные погрешности, зависящие от разнообразных причин методического и производственного характера, начиная от момента отбора пробы и кончая последними операциями при химических анализах или иных ее испытаниях.

Контроль опробования во всех случаях сводится к оценке расхождений между основными и контрольными данными. Для того чтобы оценка была правильной, нужно иметь правильное представление о происхождении этих расхождений и владеть правильной методикой их интерпретации.

Все погрешности, возникающие в процессе разведочного опробования, подразделяются, как обычно, на две основные группы: 1) случайные и 2) систематические. Наиболее опасна систематическая погрешность, обусловливающая только завышение или только занижение искомых показателей, т. е. погрешность с одним знаком. Случайные погрешности, характеризующиеся переменным знаком, обычно в значительной части взаимно компенсируются и поэтому не оказывают существенного влияния на результаты массовых определений при опробовании. Но чем меньше количество проб, тем больше ощущается влияние и случайных погрешностей, особенно если они достигают больших величин.

Б. И. Галкин указывает четыре основные причины (или группы причин), порождающие расхождения между основными и контрольными данными.

Первая причина возникновения расхождений между результатами анализа сопряженных[1] проб заключается в наличии неустранимой разницы между истинным содержанием определяемых элементов в основной и контрольной пробах. При этом нужно иметь в виду, что если разница в содержании определяемого элемента в двух порциях, выделенных из одной пробы, по мере повышения тонкости измельчения и качества перемешивания может быть снижена до едва ощутимых пределов, то разница между содержанием металла в двух сопряженных пробах будет сохранять свою величину. Эта величина может быть существенно снижена лишь при очень большом и практически совершенно нецелесообразном увеличении объема проб за счет происходящего при этом усреднения.

Вторую группу составляют неизбежные случайные погрешности измерений при анализе, обусловленные несовершенством аппаратуры, человеческого глаза и т. д.

[1] Под сопряженными пробами мы подразумеваем каждую пару проб, отобранную в одном и том же месте, например бороздовую пробу относительно большого поперечного сечения (10×5 *см*) и бороздовую пробу той же длины, но узкого сечения, отбитую по дну первой, или задирковую пробу и отобранную в центральной ее части бороздовую. Сопряженные пробы, состоящие из основной и повторной проб, отбиваются при экспериментальном и контрольном опробовании. В тех случаях, когда одна из бороздовых проб берется не по дну другой, а рядом, в 5—10 *см* (смежные пробы), их также, но в известной мере условно, можно считать сопряженными.

К третьей группе причин относятся разнообразные грубые ошибки и просчеты при анализах, описки, путаница в номерах проб и другие проявления небрежности работы исполнителей.

Четвертой причиной расхождения являются дефекты, свойственные в данных условиях тому или иному способу отбора проб, их обработки или анализа.

Расхождения, обусловленные грубыми промахами в работе, обычно легко обнаруживаются по их исключительной величине. О путях их выявления в более сложных случаях будет сказано ниже. Измерения, содержащие грубые ошибки, должны из расчетов исключаться.

Погрешности, вызываемые двумя первыми группами причин, являются случайными. При вычислении среднего содержания они в значительной степени взаимно компенсируются и на итоговых цифрах отражаются незначительно.

Погрешности, обусловленные дефектами способов отбора или анализа (а иногда и обработки проб), часто обладают, в отличие от случайных, однозначностью, вследствие чего они могут привести к серьезным ошибкам в общих выводах, например к незаслуженному отнесению некоторых участков к непромышленным или наоборот, к неправильному включению в число промышленных тех участков, в которых содержание ценного компонента немного ниже кондиционного. Такие погрешности принадлежат к систематическим, и своевременное выявление их является важнейшей задачей контроля опробования.

Дальнейшее изложение посвящено способам и средствам контроля разведочного опробования в трех основных его звеньях: при отборе проб, их обработке и испытаниях. Среди последних рассматривается только контроль химических анализов как наиболее распространенного и ответственного вида испытаний проб твердых полезных ископаемых.

1. КОНТРОЛЬ ОТБОРА ПРОБ

При неудачно выбранном способе отбора проб может возникнуть систематическая погрешность. Так, опробование маломощных вольфрамовых жил валовым способом привело к тому, что в пробу попадало значительное количество вмещающей породы и, таким образом, проба отражала состав не рудного тела, а рудной массы. На Никитовском месторождении установлено систематическое обогащение проб рудных жил, происходившее вследствие легкого выкрашивания киновари в процессе отбойки бороздовой пробы.

Кроме того, на качество опробования безусловно оказывает большое влияние соблюдение режима взятия пробы, квалификация и аккуратность лиц, отбирающих пробу, и другие производственные условия. Эти условия в большинстве случаев вызывают случайные погрешности, но могут и усилить влияние какого-либо природного фактора; например, если имеет место обогащение пробы за счет легко выкрашиваемых рудных минералов, то небрежная отбойка пробы может еще более ее обогатить и тем самым увеличить систематическую погрешность.

Все это указывает на необходимость контроля опробования уже в первом его звене — при отборе проб.

Контроль пробоотбора в буровых скважинах

Контроль правильности пробоотбора при бурении должен осуществляться путем опробования рудных тел в сопряженных со скважинами горных выработках.

Важно подчеркнуть, что надежность опробования в значительной мере обеспечивается четким инструктажем рядовых работников, осуществляемым руководящим персоналом, а также своевременным контролем качества выполненных работ.

Расположение и количество контрольных горных выработок определяется необходимостью получения надежных данных для установления уровня и характера погрешности отбора проб при бурении.

При расположении контрольных горных выработок, сопряженных со скважинами (или, что то же, при выборе скважин для контроля опробования), надо иметь в виду необходимость охвата контролем главных типов руд с учетом их технологических сортов, подлежащих выделению при подсчете запасов, текстурных особенностей и минерального состава, а также содержания промышленно ценных компонентов, полезных и вредных примесей. Целесообразно располагать контрольные выработки равномерно в пределах площади распространения руд каждого типа или сорта. При этом очень важно учитывать характер и внутреннее строение залежей, текстурные особенности руд и особенности физических свойств элементов текстур, которые могут обусловить систематическую погрешность пробоотбора (например, в связи с избирательным истиранием керна). Детальное геологическое изучение месторождения вполне обеспечивает правильное решение рассматриваемого вопроса на основе приведенных выше общих положений.

Необходимое количество контрольных горных выработок или, что то же, количество подлежащих контролю скважин зависит от количества сопряженных проб, обеспечивающего надежность выводов по каждому типу руд, выделяемому для контроля.

Для очень мощных залежей однотипного минерального состава, строения и текстур можно ограничиться одной-двумя контрольными горными выработками, независимо от общего количества скважин. В данном случае основным критерием оценки результатов опробования, вероятно, будет не столько представительность выбранных для контроля скважин, сколько благонадежность их опробования. Гораздо более полный материал для суждения о правильности отбора проб можно получить, если выбрать, например, одну скважину с максимальным, а другую с минимальным выходом керна, а при равном выходе керна — скважину наибольшего и скважину наименьшего диаметра.

Для весьма мощных залежей разнотипного минерального состава, например для некоторых штокверков меднопорфировых руд, можно ограничиться двумя-тремя контрольными горными выработками. При этом имеется в виду не только обычный контроль пробоотбора в зоне вторичного обогащения, но и более тонкий контроль, например контроль участков зоны окисления, выделенных по данным бурения как промышленные, но содержащие медь в количестве, ненамного превышающем ее минимальный промышленный предел, и участков той же зоны, выделенных как непромышленные, но характеризующихся немного меньшим содержанием меди по сравнению с минимальным промышленным пределом.

Таким образом, на месторождениях, представленных мощными рудными залежами, необходимое количество контрольных проб можно взять из одной-трех горных выработок, независимо от общего количества контролируемых скважин, если, конечно, разрезы всех этих скважин и режим их бурения были идентичными.

Количество проб n, достаточное для надежного определения характера и вероятного уровня погрешности пробоотбора по каждому из намеченных для контроля типу руд, определяется степенью неравномерности оруденения и нередко в еще большей степени — соотношением физических свойств рудных и нерудных минералов, а также благоприятных и неблагоприятных текстур руд. Многие руды обладают такими физическими свойствами, которые способствуют или препятствуют получению систематических и случайных ошибок. Примером может служить истирание рудных минералов по горизонтальным трещинам при вращении плашек керна или истирание мягкого парагенетического комплекса (галенит — сфалерит — кальцит) более твердым (пирит — кварц).

В случае мелковкрапленных рудных минералов в крепкой вмещающей породе неравномерность оруденения часто служит первостепенным фактором при установлении необходимого количества контрольных проб. И если содержание компонентов характеризуется случайным распределением (закономерность еще не вскрыта), то для ориентировочных суждений можно пользоваться формулой (40):

$$n = \left(\frac{Vt}{p_0}\right)^2,$$

где V — коэффициент вариации содержания компонента, вычисленный по контролируемым пробам;

t — коэффициент вероятности, принимаемый по табл. 23;

p_0 — допустимая погрешность определения содержания компонента.

Но часто распределение промышленно ценных и других компонентов говорит о явной локальной взаимосвязи. Последняя обусловливает, кроме всего прочего, прямую (положительную) и часто высокую корреляцию сопряженных проб, значительно более высокую, чем противоположных[1]; поэтому определение n по приведенной формуле в рассматриваемом случае нельзя считать достаточно надежным.

Других теоретически разработанных методов решения этого вопроса нет, следовательно, значение n для данных условий может быть найдено только эмпирически.

Этим путем установлены следующие цифры:

Для равномерных руд	$n_1 = 15-20$
Для неравномерных руд	$n_2 = 35-40$
Для весьма неравномерных и крайне неравномерных руд	$n_3 = 50-60$

Н. В. Барышев предложил применять для контроля опробования по буровым скважинам только валовые пробы, особенно в случае неравномерного оруденения.

Б. И. Галкин рекомендует брать пробы в контрольных шурфах бороздовым способом. Он предлагает отбирать в каждой стенке две сопряженные пробы в форме точно выбитых борозд, площадь сечения которых приблизительно равна площади сечения скважины. Анализ результатов такого опробования покажет, насколько вообще может быть представительной проба из скважины относительно «воображаемой», сопряженной с ней пробы из контрольной выработки, и можно ли ее сопоставлять со средней по четырем контрольным пробам, а также нужно ли анализировать каждую пробу или можно сопоставлять данные по длинным интервалам.

Таким образом, задачей контроля пробоотбора при бурении разведочных скважин является установление характера погрешности этого процесса (случайный или систематический). В случае выявления систематической погрешности (например, за счет избирательного истирания керна и неполадок с опробованием шлама и мути) необходимо определить поправочный коэффициент, представляющий собой отношение среднего содержания компонента в контрольных пробах к среднему его содержанию в контролируемых пробах.

Обработка основных и сопряженных с ними контрольных проб должна производиться по схемам с одинаковым значением коэффициента K в формуле $Q = Kd^2$.

Анализ основных и контрольных проб необходимо производить по двум параллельным зашифрованным навескам, желательно в одной и той же лаборатории и одним и тем же аналитиком.

---

[1] Противоположными пробами мы называем соседние пробы, отбираемые в ортах и квершлагах (иногда в шурфах) одна против другой по обеим стенкам выработок.

Контроль пробоотбора в горных выработках

На сложных по характеру оруденения месторождениях (особенно в тех случаях, когда среднее содержание промышленно ценного компонента в руде находится на границе между кондиционным и некондиционным) пробоотбор в горных выработках требует такого же строгого контроля, как и при бурении.

Рекомендуется экспериментально проверять применимость способа вычерпывания в каждом конкретном случае, так как опыт опробования этим способом пока еще недостаточен. Методика такой проверки проста: параллельно с применением способа вычерпывания (при котором целесообразно варьировать как количество, так и веса частичных проб) производится опробование заведомо точным в данных условиях способом, например бороздовым или валовым. Количество наблюдений (контрольных проб) определяется степенью неравномерности оруденения: при неравномерном оруденении их должно быть не менее 25, а при весьма неравномерном и крайне неравномерном — не менее 30—40. Сравнение среднего содержания, установленного по данным контрольных проб, со средним содержанием, вычисленным по пробам, взятым способом вычерпывания, позволит оценить точность последнего.

Возможность обогащения или разубоживания проб, обусловленного неблагоприятным внутренним строением залежей, текстурными и физическими особенностями руд, проверялась применительно к точечному, бороздовому и задирковому опробованию на нескольких объектах. На одном из них было выяснено, что большая величина систематической погрешности точечного пробоотбора в оруденелых сланцах связана с непропорциональным попаданием сульфидов в пробы. В некоторых случаях крупные сульфиды при отбойке проб не только выкрашивались интенсивнее крепких и довольно вязких сланцев, но просто вываливались целыми агрегатами.

В весьма богатых золоторудных жилах повышенное, а иногда и очень высокое содержание золота приурочено к трещиноватым участкам и участкам брекчиевидной текстуры. Максимальные концентрации металла в виде тончайших прожилков наблюдаются и на границах кварца с кальцитом, имеющим подчиненное значение по отношению к кварцу. При отбойке точечных проб в проведенных опытах богатый рудный материал выкрашивался интенсивнее среднего и бедного по содержанию золота материала. Бороздовое же опробование, поскольку на правильность поперечного сечения борозд было обращено особое внимание, к такому обогащению проб не приводило. Этим и объясняется повышенное содержание металла в точечных пробах по сравнению с бороздовыми на подобных месторождениях.

Задирковый способ опробования при разведке, а тем более при эксплуатации месторождений имеет весьма ограниченное применение. Этот способ обычно используется в качестве контрольного. Если не уделить должного внимания постоянству глубины задирки, то контрольные задирковые пробы могут оказаться менее точными, чем контролируемые (например, бороздовые), как это и было доказано экспериментально.

Широко распространено мнение о целесообразности контроля бороздового и других видов опробования валовым. Однако нельзя упускать из виду, что интерпретация результатов валового опробования является несложной только в тех случаях, когда рудные тела прослеживаются или пересекаются всем сечением выработок и при этом исключается разубоживание валовых проб.

Право выбора того или другого способа пробоотбора в качестве контрольного предоставляется организаторам экспериментальных работ. Делать этот выбор необходимо с учетом конкретных геологических условий.

На некоторых месторождениях с неблагоприятным внутренним строением залежей и неблагоприятными текстурами руд контроль пробоотбора заключается только в проверке правильности отбойки борозд в процессе те-

кущего опробования. Задача сводится к установлению характера и величины погрешности пробоотбора нормальными бороздами, отбиваемыми с осторожностью, возможной в производственной обстановке.

Контролируемые (основные) и контрольные пробы должны быть сопряженными. Если обе пробы отбираются бороздовым способом, то борозды надо располагать так, чтобы основная (контролируемая) борозда оказалась внутри контрольной. Однако в ряде случаев не следует возражать и против расположения контрольных проб в 5—10 *см* от основных при совершенно одинаковой длине тех и других.

В некоторых случаях контроль пробоотбора производится не сразу вслед за отбойкой контролируемых проб, а спустя некоторое, иногда относительно длительное время. В течение этого периода основная борозда может оказаться нарушенной. Наиболее неустойчивые по физическим свойствам рудные минералы и их ассоциации могут осыпаться, оказаться чем-либо выбитыми или вымытыми рудничными водами. Все это приведет к искажению контрольных проб при сопряжении их с основными и к неверным выводам о результатах контроля. Поэтому, если имеется хотя бы малейшее основание подозревать возможность искажения проб, следует применять иные способы отбора контрольных проб, в частности задирковый. При этом один из размеров задирковой пробы, характеризующих ее площадь (обычно короткий), должен соответствовать длине контролируемой борозды, а другой — длине участка влияния борозды.

Комбинировать широкие борозды с задирковыми пробами на одном и том же типе руд не следует. Выбранный тип контрольной пробы сохраняется от начала до конца контроля.

Ширину контрольной борозды можно принять равной 20 *см*, глубину — 5 *см*. Таким образом, объем контрольной пробы будет превышать объем контролируемой при поперечном ее сечении, например 10×5 *см*, только в два раза.

Глубина задирковой контрольной пробы 10 *см*. Меньшей глубины задирки принимать не следует, иначе трудно будет соблюсти ее постоянство по всей площади.

При расположении контрольных проб надо стремиться к возможно более равномерному их размещению относительно вскрытой части месторождения и учитывать необходимость охвата контролем главных типов руд с точки зрения их текстуры, состава и содержания промышленного компонента (убогие, рядовые и богатые руды). Общее количество контрольных проб для каждого типа руд должно быть такое же, как и при контроле пробоотбора из скважин.

Главное условие успешности контроля — тщательность работы, которая обязательно должна выполняться под непрерывным наблюдением геолога. При отбойке широких контрольных борозд надо внимательно следить за точным соблюдением установленных правил. Постоянное сечение контрольной борозды необходимо строго выдерживать на всем ее протяжении. Глубина задирки должна быть постоянной по всей ее площади. В обоих случаях (т. е. при контроле широкими бороздами и задирковыми пробами) нельзя допускать даже малейших потерь и распыления отбитого рудного материала.

Обработка (сокращение) контролируемых и контрольных проб должна производиться по схеме, соответствующей одному и тому же значению K уравнения $Q=Kd^2$. Особенно важно при этом избежать потерь при дроблении и распыления тонкого материала. При механическом измельчении не следует пользоваться открытыми агрегатами, особенно дисковыми истирателями. Лучше всего производить измельчение в герметически закрывающихся шаро-стержневых лабораторных мельницах.

Опыт показал, что объективная интерпретация результатов контрольного опробования часто не только осложняется, но исключается неудовлетворительным качеством анализов. Поэтому анализы основных и контрольных проб следует производить не меньше, чем по двум параллельным за-

шифрованным навескам (для каждой). Необходимо также, чтобы основные и контрольные пробы анализировались при одинаковых условиях: одним и тем же методом, при одном и том же размере навесок, одной и той же лабораторией и, если возможно, одним и тем же аналитиком.

Правильная интерпретация результатов контроля опробования требует тщательной геологической документации участков, на которых производились экспериментальные работы. Необходимо составлять геологические зарисовки в крупном масштабе, отражающие строение оруденелых зон во всех деталях, планы и разрезы соответствующих масштабов, а также отбирать образцы руд для минералогического изучения.

2. КОНТРОЛЬ ОБРАБОТКИ ПРОБ

При обработке проб обычно возникают случайные погрешности, но возможны и систематические погрешности вследствие избирательных потерь рудного материала. Существенные избирательные потери могут иметь место главным образом в процессе обработки проб полезных ископаемых с порошковатыми и землистыми разностями рудных минералов при небольшом содержании их в пробах. Но не только для них рассматриваемый контроль является практически актуальным; он применяется и для других руд, когда нужно выяснить размер случайной погрешности приготовления проб.

Мероприятия, позволяющие избежать избирательных потерь рудных минералов при обработке проб, общеизвестны. Тем не менее в отчете о результатах разведочных или эксплуатационных работ нужно указывать, что систематических ошибок при обработке проб не было.

Предлагается следующая схема контроля приготовления проб по отбросам[1]. Геолог. контролирующий работу, время от времени при посещении площадки для обработки проб отбирает отбросы, которые затем дообрабатываются в его присутствии при том же значении коэффициента K формулы $Q=Kd^2$, что и контролируемые пробы, и сдаются на анализ. Анализы этих проб производятся одновременно с анализом основных проб. Пробы должны анализироваться одним и тем же методом и одним и тем же аналитиком.

Количество определений, обеспечивающее объективность вывода о качестве обработки проб, предлагается принять равным 30—35. Набирать их необходимо через определенные, не особенно длительные промежутки времени с таким расчетом, чтобы можно было охарактеризовать качество приготовления проб за известный период. Выводы по контролю обработки проб сводятся к установлению характера и величины погрешности этого процесса.

При обработке проб золотых руд, характеризующихся наличием крупного золота, особенно в тех случаях, когда его измельчение отстает от измельчения прочих минералов и их агрегатов (в связи с его ковкостью), возможны систематические ошибки отрицательного знака. Это предположение может быть подтверждено приводимым ниже примером обработки 50-килограммовой пробы с размером наиболее крупных кусков d=30 *мм* при заведомо большом[2] коэффициенте K формулы $Q=Kd^2$, а именно при K=3.

Допустим, что содержание золота в этой пробе 12 *г/т*, а весовое соотношение между мелкими (менее 0,2 *мм*) и крупными (например, 1 *мм*) золотинками в пробе равно 1 : 1. Тогда количество миллиметровых золотинок в начальной пробе

$$N=\frac{QaCA}{l^3\delta B},$$

где Q — вес пробы в *кг*;

---

[1] Под «отбросами» следует понимать все отходы (хвосты), получающиеся при сокращении проб.

[2] Наибольшее значение K, применяемое в настоящее время в отечественной практике опробования золотых товарных руд, равно 3,6.

a — часть пробы, в которой по условию находятся крупные (миллиметровые) золотинки;
C — содержание золота в пробе в $г/т$;
l — размер ребра куба крупной золотинки в $мм$;
δ — удельный вес золота, равный 15;
A — коэффициент перевода миллиграммов в граммы (1000);
B — коэффициент перевода тонн в килограммы (1000).
Подставляя заданные цифровые данные, получаем:

$$N = \frac{50 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 1000}{1000 \cdot 1 \cdot 15} = 20.$$

Таким образом, количество крупных золотинок в пробе мало, и идеальное (маловероятное) распределение их в процессе обработки пробы можно представить себе так, как показано в табл. 30.

Таблица 30

Распределение крупных золотин при сокращении пробы

Предел измельчения в *мм*	Число приемов сокращения	Вес пробы в *кг*	Число миллиметровых золотин в пробе
8	—	50	20
2,5	1	25	10
1	3	3,12	1

Если в последней пробе весом 3,12 *кг*, измельченной до 1 *мм*, и останется одна золотинка, то при дальнейшем дроблении она может не измельчиться, а лишь расплющиться. Вероятность того, что эта золотинка в процессе дальнейшего сокращения попадает в отброс, достаточно велика; менее вероятно, что она попадает в 50—100-граммовую навеску при отборе последней от лабораторной пробы.

Таким образом, в результате обработки пробы крупные золотинки могут уйти в отброс или остаться в большей, неиспользуемой части лабораторной пробы, и анализ покажет заниженное содержание золота. Занижение будет иметь место и при меньших размерах золотинок, особенно при убогом содержании. Это ясно из диаграммы (рис. 114), иллюстрирующей зависимость между количеством золотинок кубической формы с ребром от 0,1 до 0,5 *мм* и содержанием металла в килограммовой пробе.

Кубические и близкие к ним по объему шарообразные золотинки встречаются в природе относительно редко. Обычно наблюдаются золотинки пластинчатой и проволочной формы. В связи с этим указанную диаграмму следует рассматривать лишь как грубую схему.

Приведенный пример конечно утрирован и приведен здесь лишь для удобства объяснения рассматриваемого вопроса. Но если даже представить себе в этом примере более реальную картину поведения крупных золотинок при измельчении пробы до 1 *мм* и далее — до 0,15—0,10 *мм* (100—150 меш), то ясно, что и в этом случае недоизмельчение их может привести к недопустимым ошибкам.

Поведение золота в процессе измельчения связано с формой, размерами золотинок, их структурой и, вероятно, с чистотой (пробой) золота. Несомненно, что во многих рудах, может быть даже в преобладающей их части, структура и другие особенности крупного золота являются благоприятными, т. е. обусловливающими нормальное его поведение при измельчении. Тем не менее факты настойчиво указывают на то, что в некоторых случаях опробования руд с крупным золотом имеют место большие систематические ошибки.

Одна из причин возникновения этих ошибок, вероятно, связана с обработкой проб. Это заставляет рекомендовать для руд, характеризующихся наличием крупного золота, прежде всего, особенно тщательное выполнение

тонкого измельчения проб и, в частности, доведение лабораторных проб не до 48—80 меш, а до 150—200 меш. Параллельно с этим в некоторых случаях целесообразно проконтролировать поведение крупного золота.

Этот контроль может быть произведен по следующей схеме:

1. Обычная обработка исходной объединенной бороздовой пробы весом 25—50 *кг* с тщательным сохранением отбросов во всех стадиях обработки.

2. Измельчение отбросов и двух-трехкратная промывка их в лотке, на ворсистых шлюзах (рекомендация И. Н. Плаксина) или другими способами

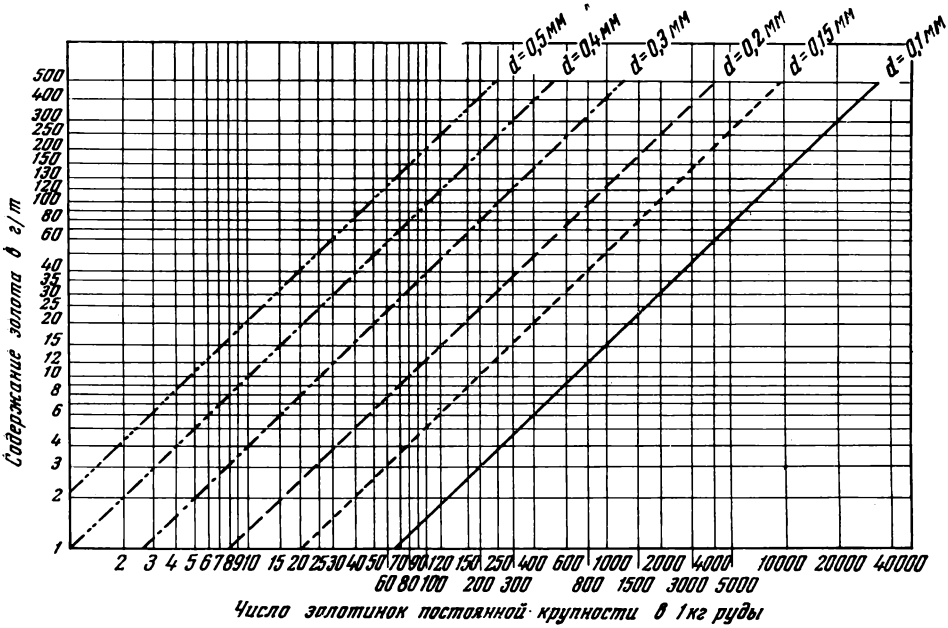


Рис. 114. Диаграмма ориентировочной зависимости между числом золотинок кубической формы в килограммовой пробе руды и содержанием в ней золота

с тщательным сохранением хвостов. Предел измельчения зависит от крупности золота и колеблется приблизительно от — 1 до — 0,4 *мм*. Особое внимание обращается на тщательное сохранение хвостов. Для предотвращения потерь промывка производится на лотке в специальном железном баке, на дно которого осаждаются хвосты.

3. Перемешивание и сокращение просушенных хвостов до лабораторной пробы весом не менее 1 *кг*. Измельчение лабораторной пробы хвостов до минус 150—200 меш.

4. Особо тщательный пробирный анализ шлиха и хвостов (по трем-четырем параллельным навескам). По этим данным определяется содержание золота в отбросах начальной пробы.

5. Пробирный анализ лабораторной пробы, выделенной из начальной пробы (по трем-четырем навескам).

6. Определение содержания золота в начальной пробе по содержанию его: а) в шлихе и хвостах, б) в основной пробе.

Если между суммарным содержанием золота в шлихе и хвостах, полученных в результате обработки отбросов 30—40 проб, и содержанием золота в основных пробах не будет расхождений постоянного знака, то практикуемая методика обработки может считаться удовлетворительной.

3. КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ

Надежность определения полезных компонентов или вредных примесей химическими анализами устанавливается путем специальных контрольных мероприятий, обязательных при изучении качества полезных ископаемых,

в особенности руд цветных, редких и драгоценных металлов. Такими специальными контрольными мероприятиями являются:

1) внутренние контрольные анализы;

2) внешние контрольные анализы.

Внутренний контроль осуществляется в той же лаборатории, где производятся массовые анализы разведочных проб, и выполняется путем повторного анализа некоторой части проб из материала дубликатов. При этом материал, направляемый на повторные анализы, зашифровывается: пробам присваиваются другие, условные номера или буквенные индексы. Количество проб для внутреннего контроля должно быть таким, чтобы можно было сделать выводы о наличии и размерах случайной погрешности химических анализов.

Контрольные дубликаты проб должны подбираться группами по признакам общности минерального состава и содержания полезных компонентов или вредных примесей, т. е. по типам или сортам полезного ископаемого. Для каждого периода разведки месторождения должно выполняться не меньше 15—16 контрольных анализов по каждому сорту полезного ископаемого.

Внешний контроль предназначается главным образом для выяснения систематических ошибок в работе лаборатории, повседневно выполняющей анализы массовых проб. С этой целью дубликаты проб, измельченные до 48—200 меш, посылают на анализ в контрольную лабораторию. При этом указывают минеральный состав и приблизительное содержание компонентов в каждой из проб, но не сообщают точных данных анализа каждой пробы, полученных в местной лаборатории.

Количество таких проб должно быть по каждому сорту полезного ископаемого не менее 15—20. Подбор их производится с таким расчетом, чтобы можно было осветить работу местной лаборатории последовательно по определенным календарным периодам. В дальнейшем это позволит дать дифференцированную оценку результатов анализов, полученных разведочной партией или геологоразведочным отделом от местной лаборатории за те же периоды. На действующем руднике такой контроль целесообразно осуществлять один-два раза в год.

В случае, если местная лаборатория работала с систематической ошибкой, контрольной лаборатории повторно сдаются дубликаты (измельченные до 0,15—0,10 *мм*) тех же и других проб в количестве (30—40 и более), достаточном для определения поправочного коэффициента, который нужно вводить в результаты анализов, выполненных местной лабораторией.

Необходимо иметь полную уверенность в удовлетворительном качестве работы контрольной лаборатории. Опыт показывает, что для этого, кроме возможно полного уведомления лаборатории о составе проб, следует, особенно в первый период внешнего контроля, сдавать ей зашифрованные дубликаты одних и тех же проб в количестве, достаточном для того, чтобы убедиться в хорошей воспроизводимости (точности) контрольных анализов хотя бы по главным типам руд[1]. В особо ответственных случаях — при среднем содержании промышленно ценных компонентов в руде, находящемся на грани между кондиционным и некондиционным, особенно для объектов, требующих больших затрат на разведку и капитальное строительство, — внешний контроль необходимо осуществлять в двух лабораториях. Вторая из них должна рассматриваться как арбитражная.

Контроль работы местной химической лаборатории можно осуществлять также методом эталонных проб, предложенным Н. А. Хрущовым (1957). Сущность его заключается в следующем: составляются типичные для данного месторождения пробы, которые анализируются в нескольких лабораториях с максимально возможной точностью; затем материал этих

[1] Имеется в виду своеобразный «внутренний» контроль внешнего контроля анализов. Предлагая его для первого периода внешнего контроля, мы исходим из того, что схема его осуществления совершенно аналогична рекомендованной выше.

проб в зашифрованном виде периодически сдается на определение в местную химическую лабораторию. Таким образом можно установить систематическую погрешность анализов местной лаборатории без привлечения внешних лабораторий на каждом этапе контроля.

Общее количество анализов внешнего контроля зависит от многих факторов и в первую очередь от числа типов руд, выделяемых по минеральному составу и по содержанию определяемых компонентов; от длительности периода накопления результатов опробования (анализов проб), положенных в основу генерального подсчета запасов, и от качества работы местной (контролируемой) лаборатории.

Заключительное звено контроля химических анализов разведочных проб состоит в сопоставлении результатов основных анализов с результатами анализов внутреннего и внешнего контроля по одним и тем же пробам.

Это сопоставление может быть сделано простым сличением основных и контрольных анализов, в результате чего выясняются максимальные и средние размеры отклонения контрольных анализов от основных и преобладающий знак (+ или —) этих отклонений. Размеры отклонений дают представление о точности выполняемых основных анализов, а преобладание определенного знака отклонений указывает на наличие систематической ошибки в работе контролируемой лаборатории. Этот способ сопоставлений является приближенным, но во многих случаях, особенно в стадии предварительной разведки, вполне приемлемым.

Более точно величины случайных и систематических погрешностей опробования можно определить методами математической статистики, один из которых предложен Н. В. Барышевым и рекомендован ГКЗ для практического применения. В последние годы Б. И. Галкиным разработана новая методика анализа и оценки результатов контроля опробования и внешнего контроля химических анализов, которую мы считаем рациональным использовать на практике.

4. СПОСОБ Б. И. ГАЛКИНА

На основании основных и контрольных анализов составляются таблица и диаграмма сопоставления их результатов. Таблица состоит из трех колонок; в первую записывается содержание металла по основным пробам или анализам y_i, во вторую — содержание металла по контрольным пробам или анализам x_i, в третью — значение разности $\delta_i = y_i - x_i$ с указанием знака.

Внизу в первой и второй колонках показываются суммы $\sum_1^N y_i$ и $\sum_1^N x_i$, где N — количество проб, внесенных в таблицу, а также средние значения содержания $\bar{y} = \frac{\Sigma y_i}{N}$ и $\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{N}$; в третьей колонке внизу записывается расхождение между этими средними $\Delta = \bar{y} - \bar{x}$ (с указанием знака).

Если контрольное опробование или контрольные анализы производились по рудам разных типов, например по окисленным, смешанным и первичным, то по каждому типу руды составляется отдельная таблица.

По данным такой таблицы вычерчивается диаграмма сопоставления (см. рис. 116), на которой по горизонтальной оси в определенном масштабе откладывается содержание исследуемого элемента по контрольным определениям, а по вертикальной, в том же масштабе, — содержание этого элемента по контролируемым анализам. Из начала координат под углом 45° проводится диагональная прямая, отвечающая равенству $y = x$.

По значениям y_i и x_i как по координатам на эту диаграмму наносятся в виде точек все пробы, помещенные в таблице. Для удобства проверки необходимо около каждой точки ставить порядковый номер соответствующей пробы по таблице сопоставлений. После нанесения всех проб на диаграмму

по ней производится внимательная визуальная оценка результатов сопоставления.

При отсутствии систематических расхождений и грубых ошибок все пробы на диаграмме располагаются более или менее близко к диагонали $y=x$. Количества проб, находящихся выше и ниже диагонали, приблизительно одинаковы как при малом, так и при большом содержании металла. Если же такая приблизительная симметричность расположения проб нарушена по всей диаграмме или на некоторых интервалах содержания металла, приходится делать вывод о возможности наличия здесь систематических расхождений.

При просмотре диаграммы надо отмечать и пробы с исключительно большими отклонениями от диагонали, чтобы затем выяснить причины таких отклонений; это является второй задачей данного анализа. Значительные затруднения при этом часто возникают при сопоставлении результатов опробования, проведенного разными способами.

Наличие исключительно больших расхождений между содержанием металла в пробах, даже взятых непосредственно рядом, может быть объяснено как дефектами в работе (например, перепутыванием номера основной или контрольной пробы), так и резкой изменчивостью содержания металла на малых расстояниях. Вместе с тем случайное попадание в данную серию небольшого количества очень крупных расхождений одного знака может привести к чрезмерно большим расхождениям между средними значениями и в результате — к ошибкам в оценке контролируемого способа опробования. В связи с этим возникает задача: выявление чрезмерно больших, редких и нехарактерных для руды данного типа расхождений между содержанием металла в смежных пробах.

Лучшим способом решения этой задачи следует считать статистическое изучение разницы между соседними пробами по буровым скважинам, а также по горным выработкам. Практически можно принять, что если чрезмерно большие расхождения наблюдаются на диаграмме не более чем в 3% случаев, то с вероятностью, равной приблизительно 0,95, их можно признать или обусловленными грубыми промахами, или явно нехарактерными для руды данного типа; такие пробы нужно из таблицы и диаграммы сопоставления исключать.

Для оценки чрезмерно отклоняющихся проб при сопоставлении основных и контрольных анализов может быть применен следующий объективный способ, который базируется на учете фактических средних случайных погрешностей анализов, свойственных как контролируемой, так и контрольной лабораториям.

В каждую из этих лабораторий направляют на анализ 12—16 зашифрованных порций материала, выделенных из одной и той же пробы. По получении результатов вычисляют средние квадратичные погрешности σ_x и σ_y для контрольной и контролируемой лабораторий по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma(C_i - \bar{C})^2}{n-1}}, \tag{53}$$

где C_i — содержание металла в каждой i-й порции этой пробы;

$\bar{C}$ — среднее арифметическое содержание металла по всем n порциям.

По этим величинам определяют среднее случайное расхождение

$$\sigma_m = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \tag{54}$$

и предельную допустимую величину случайных расхождений между анализами, выполненными в двух лабораториях,

$$\sigma_{\text{макс}} = 2{,}6\sigma_m . \tag{55}$$

Все расхождения, превышающие $\sigma_{макс}$, должны быть признаны с вероятностью 0,99 обусловленными грубыми ошибками и из расчетов до проверки исключены.

Если условно принять, что средние случайные расхождения в обеих лабораториях приблизительно одинаковы ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma$), то можно ограничиться определением σ_y для основной лаборатории и вычислять σ_m по формуле

$$\sigma_m = \pm \sigma_y \sqrt{2}. \tag{56}$$

Понятно, что такое исследование лучше сделать заранее, например при отправке проб на контрольные анализы, а не в момент обработки результатов контроля.

После исключения чрезмерно больших расхождений из таблицы сопоставления в ней снова вычисляются значения $\bar{x}$ и $\bar{y}$, а затем определяется вероятность наличия систематических расхождений по диаграмме (см. рис. 115), построенной Б. И. Галкиным на основании специальных исследований.

В процессе этих исследований было выяснено, какие комбинации расхождений в сериях, состоящих из различных количеств проб, могут возникать при заведомом отсутствии факторов, вызывающих систематические расхождения, в результате одних лишь случайных сочетаний случайных погрешностей сопоставляемых измерений. При этом, в частности, было установлено, что и при заведомом отсутствии систематических расхождений случайные сочетания случайных погрешностей могут приводить к таким комбинациям, в которых все или почти все расхождения между сопоставляемыми величинами будут иметь один знак. Но вероятность такого явления очень быстро уменьшается по мере увеличения числа пар сопоставляемых величин. Так, например, уже для 10 пар эта вероятность не превышает 0,001, а для 20 пар и более ее практически можно считать весьма близкой к нулю.

Опуская громоздкие математические объяснения к диаграмме, приведем здесь некоторые важнейшие выводы:

1. Основным критерием для решения рассматриваемого вопроса является соотношение количеств положительных и отрицательных расхождений, а не их величина, как это принималось до сих пор.

2. Под влиянием одних лишь случайных сочетаний случайных погрешностей сопоставляемых измерений, при полном отсутствии систематических, разность S между количествами положительных и отрицательных расхождений в серии из N проб может принимать любые значения от $S=0$ до $S=N$.

3. Вероятности возникновения различных значений S при полном отсутствии систематических отклонений строго подчиняются закону биномиального распределения, но это подчинение сейчас же нарушается, если хоть в части проб возникают более или менее существенные систематические отклонения.

Изучение этих нарушений при разных N и S и позволило Б. И. Галкину найти общие закономерности, определяющие вероятность наличия систематических расхождений для того или иного соотношения между N и S, отраженные на диаграмме (рис. 115). На этой диаграмме по вертикальной оси нанесены (в логарифмическом масштабе) значения N от 5 до 500, а по горизонтальной — значения S от 0 до 70 (бóльшие значения N и S не имеют практического значения). Снизу она ограничена линией $S=N$, так как значения $S>N$ невозможны.

В виде ступенчатых кривых, пересекающих поле диаграммы, нанесены линии различных значений вероятности P_s наличия систематических расхождений. Индекс s поставлен при вероятности P потому, что при каждом данном N величина вероятности зависит только от S

Пользоваться этой диаграммой очень просто: по значениям N и S отыскивается отвечающая им клетка и путем глазомерной интерполяции между ближайшими к ней линиями P_s определяется величина вероятности того, что данная разность S обусловлена влиянием в одном из сопостав-

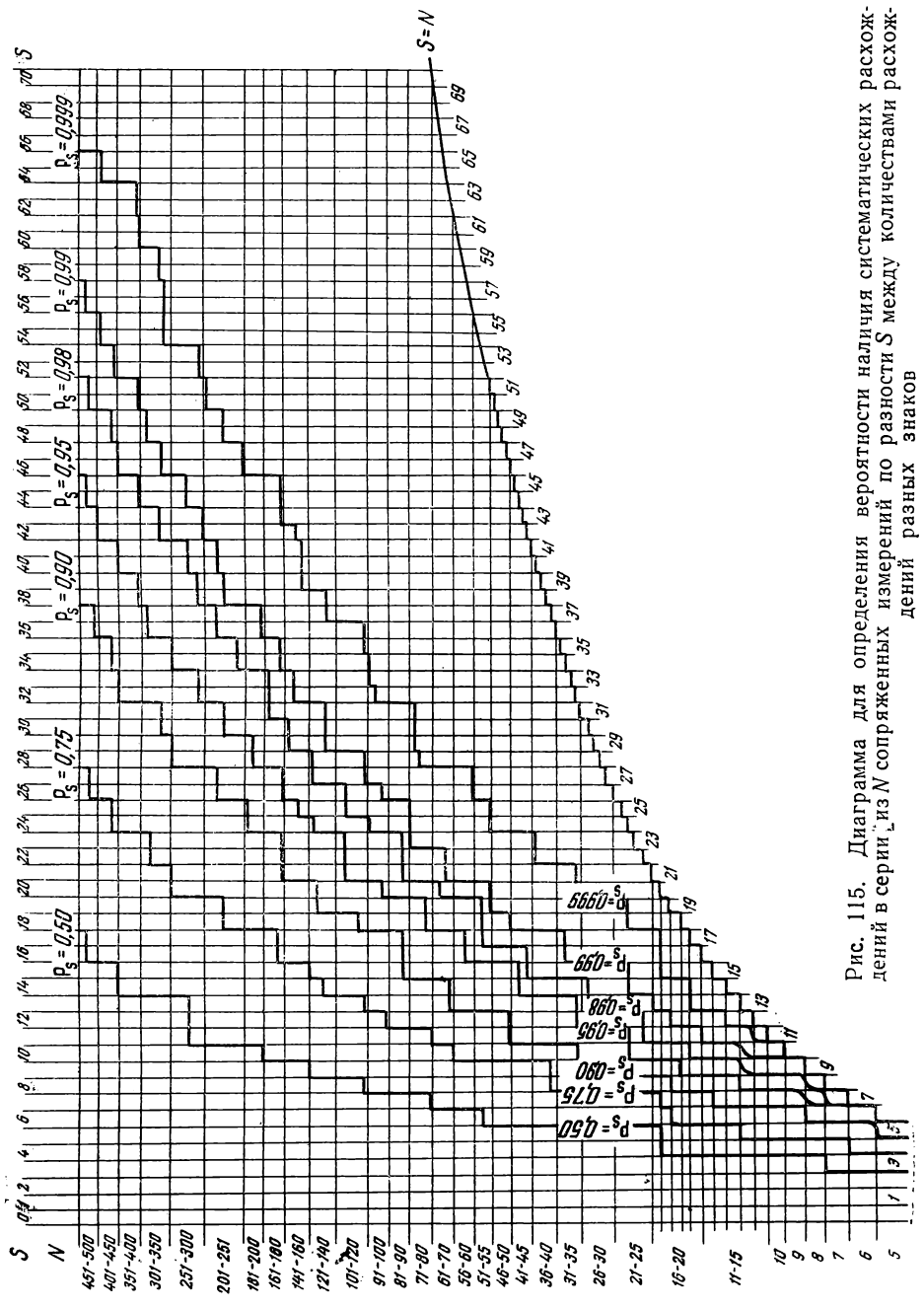


Рис. 115. Диаграмма для определения вероятности наличия систематических расхождений в серии из N сопряженных измерений по разности S между количествами расхождений разных знаков

ляемых рядов или в обоих рядах факторов, вызывающих систематические расхождения между ними.

Практически это делается так:

1. Все пробы, нанесенные в виде точек на диаграмму сопоставления, разбиваются по оси y на три-пять классов по величине содержания металла. Границы классов, проводимые параллельно оси x, лучше выбирать такие

же, по каким на данном месторождении производится разделение руд на сорта,— например, на непромышленные, забалансовые, бедные и богатые. (Например, для прожилково-вкрапленных медных руд непромышленные — с содержанием металла 0,0—0,3%, забалансовые 0,3—0,5%, бедные 0,5—0,9%, богатые — более 0,9%.) Если в контролируемой лаборатории анализ проб с низким содержанием металла производится одним методом, а проб с высоким содержанием — другим, целесообразно при разбивке на классы учесть и это обстоятельство, чтобы проверить, не дает ли систематических отклонений тот или иной метод.

2. Для каждого класса по включенным в него пробам вычисляются средние значения содержания $\bar{y}$ и $\bar{x}$; отвечающие им точки наносятся на диаграмму и соединяются пунктирными прямыми (см. рис. 116). Расположение этих точек часто очень наглядно показывает общий характер расхождений между сопоставляемыми данными.

3. В каждом классе подсчитываются количества проб с положительными расхождениями (n_+), с отрицательными расхождениями (n_-) и с расхождениями, равными нулю (n_0). Последние добавляются к n_+ и n_- пропорционально их величине, после чего определяется разность S между количествами проб с положительными n'_+ и отрицательными n'_- расхождениями, в которые уже включены пробы с расхождениями, равными нулю.

4. По количеству проб в данном классе $n=n'_++n'_-$ и разности S по диаграмме (см. рис. 115) определяется вероятность P_s наличия систематических расхождений в каждом классе, а по общему количеству проб N во всех классах и абсолютной величине разности $S_N=\Sigma n'_+-\Sigma n'_-$ устанавливается вероятность наличия систематических расхождений по всей исследуемой серии проб в целом. При $P_s=0{,}95$ и более наличие систематических расхождений можно считать доказанным, при вероятности 0,90—0,95— весьма вероятным, но недостаточно доказанным, при вероятности от 0,75 до 0,90— возможным и при вероятностях, меньших 0,75,— неустановленным.

Если окажется, что ни по серии в целом, ни по одному из выделенных классов величина P_s не превышает 0,75, то можно зафиксировать, что систематических расхождений не установлено, и дальнейший анализ не производить. Если же будет выяснено, что хотя бы по некоторым классам $P_s>0{,}75$, то целесообразно анализ продолжить, чтобы оценить практическое значение выявленных систематических расхождений. Конкретно это сводится к определению вероятного среднего значения случайных погрешностей, а на его основе — вероятного среднего значения систематических отклонений в каждом классе и по серии в целом.

Методика определения этих средних основана на следующих соображениях. Если бы в каждой паре сопряженных измерений не было ни случайных, ни систематических расхождений, то во всех случаях мы имели бы $x_i=y_i$ и все точки диаграммы сопоставления легли бы на диагональную прямую $y=x$. Но в действительности неизбежные случайные и возникающие при наличии соответствующих факторов систематические расхождения, значения которых могут колебаться от нуля до максимальной для каждого конкретного случая величины, суммируясь алгебраически, создают расхождения, отклоняющие каждую пробу от диагональной прямой на расстояние δ_i (остающееся одним и тем же при измерении его как по горизонтальной, так и по вертикальной оси).

Если через α_i обозначить алгебраическую сумму случайных погрешностей двух сопряженных измерений, а через β_i — систематическое расхождение между ними, взятое с соответствующим знаком, то

$$y_i - x_i = \delta_i = \alpha_i + \beta_i. \qquad (57)$$

Суммируя эти равенства для всех проб данного класса или для всей серии в целом и разделив полученные суммы на количество проб в данном

классе или в серии, получим:

$$\bar{y} - \bar{x} = \Delta = \bar{\alpha} + \bar{\beta}, \tag{58}$$

т. е. расхождение между средними значениями измеряемой величины по обоим рядам равно алгебраической сумме среднего случайного и среднего систематического отклонений. Отсюда следует, что среднее систематическое расхождение определяется равенством $\bar{\beta} = \Delta - \bar{\alpha}$, позволяющим подойти к вычислению $\bar{\beta}$ по средней величине случайных расхождений $\bar{\alpha}$.

Простейший способ определения этой величины, дающий приближенное, но для большинства практических случаев приемлемое решение, сводится к следующему:

1. На диаграмме (см. рис. 116) линейкой измеряются вертикальные отклонения δ_y всех точек каждого класса от прямых, соединяющих точку среднего содержания по данному классу с точками средних содержаний по соседним классам. Эти отклонения, в отличие от отклонений от диагональной прямой $y = x$, можно в первом приближении считать освобожденными от соответствующих систематических отклонений β.

2. Вычисляется среднее случайное квадратичное отклонение δ_y и средняя случайная погрешность m_y среднего $\bar{y}$ для каждого класса по формулам

$$\bar{\delta}_y = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \delta_y^2}{n-1}}; \tag{59}$$

$$m_y = \frac{\bar{\delta}_y}{\sqrt{n}}. \tag{60}$$

3. По формуле

$$\bar{\alpha} = \pm t m_y, \tag{61}$$

где t — коэффициент вероятности, определяются предельные средние значения случайной погрешности $\bar{\alpha}$ при вероятности P_t, отвечающей выбранному значению t.

4. По уравнению $\beta = \Delta \pm \bar{\alpha}$ определяется величина среднего систематического отклонения $\bar{\beta}$ по каждому классу или по серии в целом.

Поскольку для $\bar{\alpha}$ и положительный и отрицательный знаки совершенно равновероятны, а величина ее зависит от принятого значения коэффициента t, то для каждого конкретного случая определяются лишь предельные значения этой величины, отвечающие соответствующей вероятности P_t и выражаемые неравенством $t m_y > \alpha > -t m_y$.

В соответствии с этим и для $\bar{\beta}$ могут быть с той же вероятностью P_t установлены предельные значения, выражаемые неравенством $\Delta + t m_y > \bar{\beta} > \Delta - t m_y$, которое показывает, что с вероятностью P_t истинное значение $\bar{\beta}$ лежит в определяемых этим неравенством пределах и с вероятностью $1 - P_t$ может оказаться за этими пределами.

Согласно общим положениям математической статистики можно считать, что если $\Delta > 3 m_y$, то наличие систематических расхождений можно считать доказанным; если $3 m_y > \Delta > 2 m_y$, то наличие систематических расхождений следует считать настолько вероятным, что их нужно учитывать в дальнейшем; при $\Delta < 2 m_y$ систематические расхождения можно считать вероятными, но не доказанными.

Из равновероятности положительных и отрицательных значений величины $\alpha = \pm t m_y$ следует, что в каждом случае с совершенно одинаковой степенью уверенности, отвечающей той же вероятности P_t, можно считать, что $\bar{\beta} \geqslant \Delta - t m_y$, и что $\bar{\beta} \leqslant \Delta + t m_y$. Поскольку обе эти гипотезы равновероятны, в расчет приходится принимать среднюю из обеих равновозможных величин, т. е. $\bar{\beta} = \Delta$, которая и принимается как расчетная для каждого класса, в котором наличие систематических расхождений доказано.

Таким образом, поправка на систематические расхождения, которую надо вводить в контролируемые измерения, практически равна Δ — величине расхождения между средними значениями измеряемой величины по двум рядам (основному и контрольному),— взятой с обратным знаком.

Тем не менее определение величины $\bar{\beta}$ необходимо, во-первых, для установления наличия систематических расхождений в контролируемом ряду измерений (или в отдельных его классах) и, во-вторых, для установления пределов их значений с целью выявления и устранения причин этих расхождений. При наличии таких классов, для которых существенные систематические отклонения оказываются весьма вероятными, производится оценка практического значения выявленных систематических расхождений, как указано ниже:

1. Все взятые на месторождении пробы, на которые должны быть распространены результаты данного контроля, разбиваются на те же классы по содержанию металла, на которые были разбиты проконтролированные пробы.

2. Вычисляется среднее содержание металла по всем пробам $\tilde{C}$ по формуле

$$\tilde{C} = \frac{\bar{C}_1 n_1 + \bar{C}_2 n_2 + \cdots + \bar{C}_m n_m}{n_1 + n_2 + \cdots + n_m}, \tag{62}$$

где $\bar{C}_1, \bar{C}_2, \ldots, \bar{C}_m$ — среднее содержание металла в каждом классе;
$n_1, n_2, \ldots, n_m$ — количество проб в этих классах;
m — количество классов.

3. Вычисляется среднее систематическое расхождение $\tilde{\beta}$ для всех проб по формуле

$$\tilde{\beta} = \frac{\bar{\beta}_1 n_1 + \bar{\beta}_2 n_2 + \cdots + \bar{\beta}_m n_m}{n_1 + n_2 + \cdots + n_m}. \tag{63}$$

При этом для тех классов, в которых наличие систематических расхождений не доказано, $\bar{\beta}$ принимается равным нулю, но численность этого класса из знаменателя не исключается.

4. По отношению

$$f = \frac{\tilde{\beta}}{\tilde{C}} \cdot 100 \tag{64}$$

производится оценка практического значения выявленных расхождений. Учитывая не очень высокую общую точность определения среднего содержания металла при разведке, можно считать влияние систематических расхождений существенным, если величина f окажется не менее 10%. Вместе с тем, если хоть в одном из классов установлена высокая вероятность наличия существенных систематических отклонений ($\Delta \geqslant 2m_y$), необходимо принять все меры к выявлению и скорейшему устранению их причин даже в тех случаях, когда для всех классов $f<10\%$.

В тех случаях, когда значительные участки разведываемого тела сложены рудами, содержание металла в которых находится на грани кондиционного, и от небольшого изменения среднего содержания зависит отнесение их запасов к балансовым или забалансовым, предельная допустимая величина f должна быть снижена до 5—6%.

Пример оценки результатов экспериментального опробования по методике, предложенной Б. И. Галкиным. С целью правильного выбора способа опробования на одном из участков полиметаллического месторождения были отобраны 342 точечные пробы. Все результаты точечного опробования были разбиты по содержанию свинца на четыре класса (рис. 116):

I класс — от 0,00 до 1,00% — 84 пробы;
II класс — от 1,01 до 2,00% — 156 проб;
III класс — от 2,01 до 3,00% — 72 пробы;
IV класс — от 3,01 до 37,00% — 30 проб.

В каждом классе, независимо от его численности, было выделено по 30 проб, которые были подвергнуты контролю бороздовым опробованием. При этом, поскольку на данном месторождении бортовое содержание свинца, по которому определяются контуры промышленных участков, принято равным 1,00%, в первом и втором классах наибольшее количество проб,

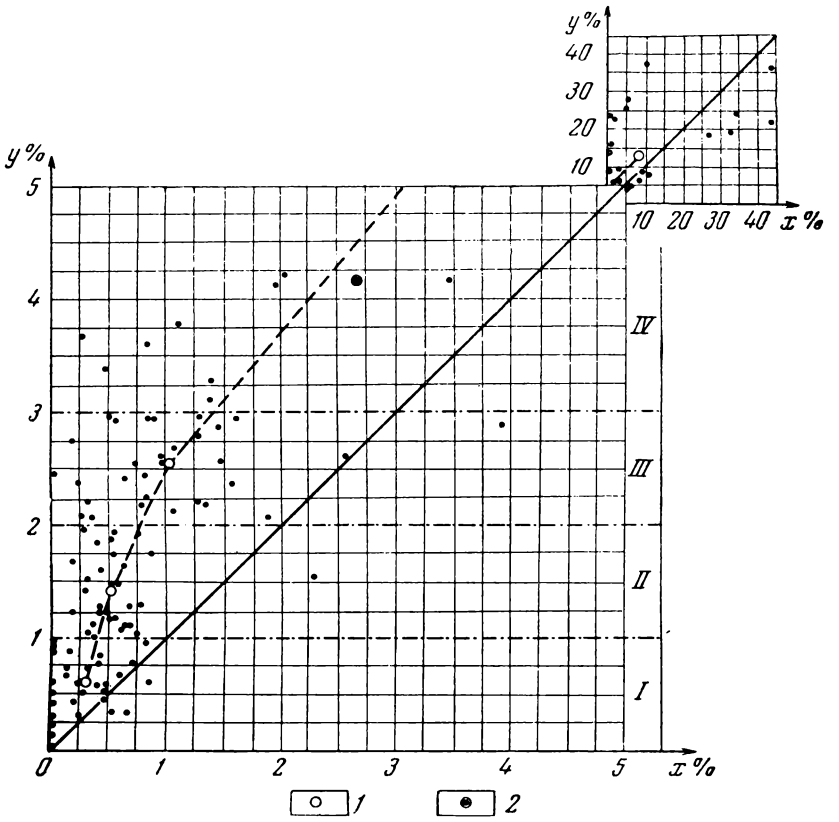


Рис. 116. Диаграмма сопоставления данных точечного (y) и бороздового (x) опробования

1 — средние значения по классам; *2* — среднее значение по серии

выбранных для контроля, взято в пределах 0,75—1,50% Pb. Среднее содержание по отобранным для контроля 120 точечным пробам $\bar{y}$ составило 4,17, тогда как среднее по всем 342 пробам $\tilde{y}$ равно 2,20%.

Сопоставление результатов анализа выделенных таким путем точечных проб (y) с результатами анализа сопряженных с ними бороздовых проб (x) показало, что точечное опробование дало резко завышенные результаты, так как $\bar{x}$=2,67%. Произведенные по изложенной выше методике определения величины случайных и систематических отклонений приведены в табл. 31.

В этих данных обращает на себя внимание высокая вероятность наличия систематических отклонений во всех классах, кроме четвертого, и то обстоятельство, что среднее случайное отклонение от среднего (α) в четвертом классе уже при вероятности 0,95 больше расхождения между средними Δ. Это объясняется широким диапазоном частных расхождений в четвертом классе и лишает возможности с уверенностью говорить о наличии в нем систематических расхождений, что вполне соответствует и невысокой вероятности этого наличия (P_s=0,75). По указанной причине поправку для этого класса следует принять равной нулю. Тогда общая поправка на систематиче-

Таблица 31

Расчет вероятной величины систематических расхождений между результатами точечного и бороздового опробования

Классы	Содержание металла в %	Количество контрольных проб n	Среднее содержание металла в %		$\Delta = \bar{y} - \bar{x}$	Разность между количествами положительных и отрицательных расхождений S	Вероятность наличия систематических расхождений P_s	$\bar{\delta}_y$	При вероятности 0,68 ($t=1$)			При вероятности 0,95 ($t=2$)		
			по бороздовым пробам $\bar{x}$	по точечным пробам $\bar{y}$					случайное отклонение $\alpha = m_y$	предельные значения систематического отклонения β		случайное отклонение $\alpha' = 2m_y$	предельные значения систематического отклонения β	
										$\Delta - \alpha$	$\Delta + \alpha$		$\Delta - \alpha'$	$\Delta + \alpha'$
I	0,00—1,00	30	0,28	0,60	+0,32	+22	~0,999	0,25	±0,05	+0,27	+0,37	±0,10	+0,22	+0,42
II	1,01—2,00	30	0,53	1,40	+0,87	+28	~0,999	0,38	±0,07	+0,80	+0,94	±0,14	+0,73	+1,01
III	2,01—3,00	30	1,03	2,53	+1,50	+28	~0,999	0,75	±0,14	+1,36	+1,64	±0,28	+1,22	+1,78
IV	3,01—37,00	30	8,83	12,13	+3,30	+10	0,75	10,52	±1,91	+1,39	+5,21	±3,82	−0,52	+7,12
Серия в целом	0,00—37,00	120	2,67	4,17	+1,50	+88	>0,999	5,36	±0,49	+1,01	+1,99	±0,98	+0,52	+2,48

ческое отклонение для всех 342 точечных проб будет равна

$$\tilde{\Delta} = \frac{0{,}32 \cdot 84 + 0{,}87 \cdot 156 + 1{,}50 \cdot 72 + 0{,}00 \cdot 30}{84 + 156 + 72 + 30} = \frac{270{,}40}{342} = 0{,}79\%.$$

Так как среднее содержание металла по всем пробам $\tilde{y}=2{,}20\%$, то

$$\frac{\tilde{\Delta}}{\tilde{y}} = \frac{0{,}79}{2{,}20} \cdot 100 = 35{,}9\%,$$

что намного больше 10% и свидетельствует о наличии явно недопустимого систематического отклонения данных точечного опробования.

Этот результат, полученный по анализу выборки, вполне совпадает с фактическим положением дела, так как после того, как позднее были отобраны бороздовые пробы во всех пунктах отбора точечных проб, среднее содержание по всем 342 бороздовым пробам $\tilde{x}$ оказалось равным 1,22%, т. е. меньше $\tilde{y}$ в 1,8 раза.

Если из $\tilde{y}$ вычесть поправку $\tilde{\Delta}$, вычисленную по выборке, которая составляет 35,1% от общего числа проб, то получим «исправленное среднее» 1,41%, которое отличается от $\tilde{x}$ на 0,19%. Это показывает, что поправка, вычисленная по выборке, довольно близка к действительной разности между средними по обоим рядам (0,98%).

Оценка результатов контрольных и основных химических анализов производится аналогичным способом.

Если в результате проверки в арбитражной лаборатории выяснится, что систематические отклонения имеют место в работе только контролируемой лаборатории, то по тем классам, в которых эти отклонения оказываются существенными, следует отобрать дубликаты не менее 30% всех проб и направить их на повторный анализ. Для сокращения количества определений пробы с близким содержанием металла и относящиеся к геологически однотипным рудам можно объединять по три-пять в групповые пробы. Только по результатам такого расширенного контроля можно вычислить поправочный коэффициент для уточнения среднего содержания.

Н. В. Барышевым было предложено при контроле опробования и оценке его результатов принимать за основу не количество контрольных выработок, а количество контрольных проб, сопряженных с контролируемыми. Это предложение имеет большое практическое значение, так как позволяет резко сократить число контрольных выработок. В настоящее время Б. И. Галкиным теоретически доказана справедливость этой рекомендации.

Таким образом, в основу оценки качества опробования по скважинам принимаются расхождения в среднем содержании не между контрольными горными и контролируемыми буровыми выработками, а между сопряженными пробами, отобранными в этих выработках. Наличие систематических отклонений, если оно имеет место, неизбежно скажется на соотношении между количествами проб с положительными и отрицательными расхождениями. С этой точки зрения — для выяснения наличия или отсутствия систематических отклонений в пробах из буровых скважин и для определения величины этих отклонений — сопряженные пробы следует признать вполне доброкачественным исходным материалом. Эти пробы, кроме того, в процессе математической обработки можно группировать по выходу керна, что позволит установить зависимость величины отклонений от выхода керна, по текстурным особенностям руды каждого типа и т. п.

Для определения необходимого количества контрольных проб, сопряженных с контролируемыми, Б. И. Галкин предлагает пользоваться диаграммой, изображенной на рис. 115. По ней легко установить, что для получения достаточно надежных (с вероятностью, не меньшей 0,95) выводов о наличии систематических расхождений должны соблюдаться соотношения между количествами расхождений разных знаков, указанные в табл. 32.

Таблица 32

Соотношения между количествами расхождений разных знаков при вероятности наличия систематических расхождений P_s не менее 0,95

Количество сопряженных проб n	Минимальное количество преобладающих расхождений n_1	Количество расхождений с обратным знаком n_2	Минимальная разность $S=n_1-n_2$	$n_1 : n$	$n_1 : n_2$
20	15	5	10	0,75	3,00
30	21	9	12	0,70	2,33
40	27	13	14	0,675	2,08
48	32	16	16	0,667	2,00
60	39	21	18	0,65	1,85
80	50	30	20	0,625	1,67
120	72	48	24	0,60	1,50

Из этой таблицы видно, что достаточно надежный вывод по 20 пробам может быть получен лишь в том случае, если не менее 3/4 проб дадут расхождения одного знака. При 48 пробах для этого достаточно 2/3 расхождений одного знака. С дальнейшим увеличением количества проб это отношение уменьшается все медленнее, и только при 120 пробах достигает 3/5.

Из этого следует, что условия, необходимые для получения вывода приемлемой надежности, при 20 сопряженных измерениях являются весьма жесткими. Значительно более гибкими они становятся уже при 50 пробах. При дальнейшем увеличении количества проб эта гибкость условий нарастает весьма медленно. Таким образом, достаточным количеством контрольных проб по каждому типу руды нужно считать 40—50 и минимальным допустимым, создающим уже довольно жесткие условия для выводов,—30.

Если анализ результатов контроля по отобранным контрольным пробам приводит к нечетким выводам, например, если вероятность наличия систематических отклонений по скважинам оказывается между 0,75 и 0,90, то необходимо продолжить контроль, увеличив количество контрольных проб по данному типу руды в 1,5—2 раза. Для этого, смотря по обстоятельствам, может быть произведена углубка контрольных горных выработок или проходка дополнительных выработок по оси других скважин. Как нетрудно убедиться из рассмотрения диаграммы (см. рис. 115), при одном и том же отношении количеств расхождений разных знаков или, что то же самое, при $N : S = \text{const}$ вероятность P_s того, что эти расхождения относятся к систематическим, довольно быстро возрастает по мере увеличения N. Так, например, при $N=26$; $n_1'=17$; $n_2'=9$ вероятность наличия систематических расхождений P_s лежит между 0,75 и 0,90, что не дает еще оснований для окончательного вывода, а при $N=52$; $n_1'=34$; $n_2'=18$ вероятность P_s оказывается уже между 0,95 и 0,98, что позволяет отнести расхождения между сопоставляемыми величинами к систематическим с достаточно обоснованной уверенностью.

Аналогично решается вопрос о количестве контрольных проб, необходимом для внешнего контроля. Для получения достаточно полноценных выводов необходимо контроль по каждому из важнейших типов руды (например, по окисленным, халькозиновым и по первичным сульфидным рудам) производить особо. Пробы руд каждого типа следует разделить по содержанию главных компонентов на классы (например, бедные, средние и богатые) и из каждого класса направить на контроль не менее 40 проб. При необходимости выполнения контроля в двух лабораториях указанное количество проб направляется в каждую из них. Если для окончательного выяснения причин расхождений между анализами контролируемой и контрольной лабораторий возникает необходимость обратиться к арбитражной лаборатории, то в нее следует направить из числа проанализированных в обеих лабора-

ториях не менее 40 проб с расхождениями преобладающего знака и столько же, если есть возможность, с расхождениями обратного знака.

Отправляя пробы на контроль, необходимо указывать их минеральный состав, отмечая, какие минералы являются преобладающими и какие — второстепенными. Это поможет сотрудникам лаборатории выбрать наиболее правильный метод анализа.

Направление проб на внешний контроль следует производить систематически, не реже раза в год, а не только перед генеральным подсчетом запасов, как это, к сожалению, еще иногда практикуется. Результаты контроля следует обрабатывать по каждому периоду отдельно, не смешивая данных за разные годы. То же относится и к тем случаям, когда контроль, хотя бы и одновременно, производился в разных лабораториях. Все результаты внешнего контроля и особенно полученные по ним выводы должны немедленно сообщаться руководителям контролируемой лаборатории, чтобы они могли своевременно использовать их для улучшения работы.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

З а п а с ы полезного ископаемого есть понятие геологическое и горнотехническое, отражающее не только тоннаж полезного ископаемого и ценных компонентов, но и весь комплекс черт, характеризующих геологическое тело с точки зрения формы, качества, условий залегания и условий ведения горно-эксплуатационных работ.

Подсчет запасов, являющийся конечной целью некоторого этапа геологоразведочных работ на месторождении, предусматривает:

1) определение количества полезного ископаемого и всех заключенных в нем полезных компонентов;

2) качественную характеристику полезного ископаемого с подразделением на сорта;

3) характеристику пространственного распределения полезного ископаемого по месторождению в целом, а также по отдельным его участкам;

4) установление достоверности подсчитанных запасов (классификация запасов по категориям);

5) предварительное определение народнохозяйственного назначения подсчитанных запасов.

Подсчет запасов определяет экономическую эффективность выполненных разведочных работ и дает материал для суждения о целесообразности и правильности произведенной разведки.

Потери, связанные с эксплуатацией месторождения (кроме нефтяных и газовых месторождений), а также с обработкой и переработкой полезного ископаемого, при подсчете запасов не учитываются, так как достаточно точный учет их без соответствующего проекта во многих случаях затруднителен, а иногда и невозможен. Учет потерь ведется проектирующими организациями и горными предприятиями на основании всех имеющихся данных о способах эксплуатации и обработки руд.

Геолог-разведчик определяет промышленные запасы полезного ископаемого без учета потерь и разубоживания, т. е. запасы, заключенные в недрах, которые обычно называются г е о л о г и ч е с к и м и и подразделяются на две группы: балансовые и забалансовые.

Балансовыми (промышленными) называются запасы, пригодные для использования в народном хозяйстве при настоящем уровне техники и экономики. Если из балансовых запасов вычесть потери в целиках, получим *эксплуатационные* запасы. Если же учесть все виды эксплуатационных потерь, т. е. потери в целиках, а также потери, зависящие от геологических и гидрогеологических условий, от системы разработки и т. д., то получим *извлекаемые* запасы. Последние в сущности только и представляют реальную величину, характеризующую количество сырья, получаемое с данного участка месторождения.

Забалансовые (непромышленные) запасы — это запасы, которые могут стать промышленными в будущем, при разработке новых методов добычи, обогащения и переработки полезного ископаемого, а также в связи с изменением общих экономических условий района.

Учитывать забалансовые запасы, обычно разведываемые попутно, необходимо. Конечно, специальная разведка заведомо непромышленных участков не производится. Но если, например, какое-либо богатое тело окружено бедными, в настоящее время непромышленными рудами, то в большинстве случаев следует продолжать разведочные выработки за пределы богатых руд, в окружающее убогое оруденение, для освещения всей оруденелой зоны или по крайней мере ее ближайших участков.

Запасы полезного ископаемого относятся к числу основных исходных данных, используемых для оценки месторождения как после поисково-разведочных работ и предварительной разведки, производимых геологом, так и после детальной разведки, обычно осуществляемой проектирующей организацией в контакте с планирующими учреждениями (часто окончательной оценкой месторождения является сам проект эксплуатации).

Важнейшее требование к подсчету запасов — обоснование его всей суммой геологических знаний о месторождении. Точность и достоверность запасов определяются главным образом количеством разведочных данных, т. е. числом и расположением выработок и правильным геологическим толкованием данных разведки. Несравнимо меньшее значение имеет совершенство приемов подсчета, так как точность разведки всегда значительно ниже точности математических выкладок.

Последнее положение связано с тем, что объем блоков, так же как качество полезного ископаемого в них, почти всегда определяется на основании ограниченного количества выработок, обнажающих эти блоки, т. е. получаемые данные являются только в ы б о р к о й из большой совокупности. Таким образом, форму и состав всех блоков мы можем представлять только более или менее приближенно. Так как подсчитываемый блок или их совокупность является прежде всего геологическим телом, всякие пробелы в знании геологических особенностей месторождения будут сильно отражаться на точности и достоверности подсчета запасов.

Из этого следуют два вывода: во-первых, что общий подсчет запасов — весьма ответственная и сложная операция, требующая высокой квалификации от выполняющего его лица (напомним, что при подсчете запасов приходится использовать не только геологические, но также экономические и горнотехнические данные о месторождении), и, во-вторых, что сама техника подсчета, весьма мало влияющая на конечную точность получаемых цифр, должна быть максимально проста.

Последнее требование важно еще и потому, что на действующих рудниках текущий, оперативный учет запасов в отдельных случаях поручается среднему техническому персоналу. Поскольку эти запасы являются основой эксплуатационной деятельности предприятия, способы подсчета, равно как и классификация запасов, должны быть просты и понятны не только геологам, но также эксплуатационным инженерам и техникам.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ[1]

А. Общие положения

1. Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых устанавливает единые принципы подсчета и учета запасов полезных ископаемых в недрах, а также принципы определения подготовленности

[1] Утверждена 5 сентября 1960 г. председателем ГКЗ И. И. Малышевым в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 12 августа 1960 г., № 878.

запасов для промышленного освоения в зависимости от изученности месторождения.

2. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются раздельно для каждого вида минерального сырья.

По полезным ископаемым, используемым для извлечения содержащихся в них ценных компонентов (металлов, минералов), подсчитываются и учитываются как запасы руды, так и запасы ценных компонентов.

В комплексных рудах подлежат обязательному подсчету и учету, помимо основных, также и сопутствующие ценные компоненты.

3. Качество полезных ископаемых определяется в зависимости от их назначения и технологии переработки, а также с учетом необходимости наиболее полного и комплексного использования основных и сопутствующих ценных компонентов.

4. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются по наличию их в недрах без вычета потерь при добыче, обогащении или переработке; состав и свойства полезных ископаемых определяются в их природном состоянии независимо от возможного разубоживания при добыче.

5. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются в весовом выражении, за исключением минерального сырья, измеряемого при использовании в объемных единицах.

6. Применение настоящей Классификации к отдельным видам минерального сырья определяется инструкциями Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР.

Б. Группы запасов

7. Запасы полезных ископаемых по их народнохозяйственному значению разделяются на две группы, подлежащие отдельному подсчету, утверждению и учету:

б а л а н с о в ы е з а п а с ы — запасы, использование которых экономически целесообразно и которые должны удовлетворять кондициям, устанавливаемым для подсчета запасов в недрах;

з а б а л а н с о в ы е з а п а с ы — запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие малого количества, малой мощности залежей, низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации, необходимости применения очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения.

П р и м е ч а н и е. Запасы полезных ископаемых в охранных целиках шахт, транспортных магистралей и других капитальных сооружений подсчитываются отдельно и относятся к балансовым, если они удовлетворяют кондициям. Запасы широко распространенных строительных материалов в указанных целиках могут не подсчитываться.

8. Кондиции для подсчета запасов полезных ископаемых в недрах устанавливаются соответствующими государственными органами для каждого месторождения (или для группы месторождений, аналогичных по геологическим и экономическим условиям) на основании технико-экономических расчетов исходя из условий эксплуатации месторождения, количества запасов полезного ископаемого в нем, необходимости наиболее полного комплексного использования полезного ископаемого, его ценности и технологии переработки.

В. Категории запасов

9. Запасы месторождений полезных ископаемых подразделяются в зависимости от степени разведанности месторождений, изученности качества сырья и горнотехнических условий разработки месторождений на четыре

категории — А, В, C_1 и C_2, которые характеризуются следующими условиями:

Категория А — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, полное выяснение природных типов и промышленных сортов минерального сырья, их соотношения и пространственного положения, выделение и оконтуривание безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого, полное выяснение качества, технологических свойств полезного ископаемого и природных факторов (гидрогеологических, инженерно-геологических и др.), определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен скважинами или горными выработками.

Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, формы и характера строения тел полезного ископаемого, выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья и закономерностей их распределения без точного отображения пространственного положения каждого типа, выяснение соотношения и характера безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого без точного их оконтуривания, выяснение качества, основных технологических свойств полезного ископаемого и основных природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен по данным разведочных выработок с включением, при устройчивой мощности и выдержанном качестве полезного ископаемого, ограниченной зоны экстраполяции.

Категория C_1— запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, его природных типов, промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен на основании разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным.

Категория C_2— запасы, предварительно оцененные; условия залегания, форма и распространение тел полезного ископаемого определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием полезного ископаемого в отдельных точках, либо по аналогии с изученными участками.

Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведанных участков.

Контур запасов полезных ископаемых принят в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Примечание. Кроме запасов полезных ископаемых категорий А, В, C_1 и C_2, подсчитываемых по отдельным месторождениям, в необходимых случаях для оценки потенциальных возможностей рудных зон, полей, бассейнов и районов на основе общих геологических представлений определяются прогнозные запасы.

10. Запасы комплексных руд и содержащихся в них основных ценных компонентов подсчитываются и учитываются по одним и тем же категориям, а запасы сопутствующих ценных компонентов, в зависимости от степени изученности, могут подсчитываться и учитываться по другим категориям.

11. На разрабатываемых месторождениях запасы полезных ископаемых, вскрытые при проходке горнокапитальных выработок, а также запасы, находящиеся в контурах горноподготовительных и очистных выработок, подсчитанные по принятой в маркшейдерском учете номенклатуре, должны быть отнесены к категориям в зависимости от степени их изученности.

Г. Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения

12. Составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий должны производиться при наличии на месторождении или его участке утвержденных Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых) балансовых запасов полезного ископаемого категорий А, В и C_1. При этом для отдельных групп месторождений устанавливается приведенное ниже соотношение запасов указанных категорий.

Группа 1. К этой группе относятся месторождения (участки) простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов. Для месторождений этой группы не менее 30% запасов должно быть разведано по категориям А и В, в том числе не менее 10% по категории А. Значительное превышение количества разведанных запасов категорий А и В по сравнению с указанным пределом без должного обоснования нецелесообразно, за исключением небольших месторождений, разработка которых производится без эксплуатационной разведки.

Группа 2. К этой группе относятся месторождения (участки) сложного строения с невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или неравномерным распределением полезных компонентов, на которых выявление запасов полезных ископаемых категории А в процессе детальной разведки нецелесообразно вследствие очень высокой стоимости разведочных работ. Для месторождений этой группы не менее 20% запасов должно быть разведано по категории В.

Группа 3. К этой группе относятся месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых или исключительно невыдержанным содержанием полезных компонентов, на которых в процессе разведки нецелесообразно выявлять запасы категории В. Проектирование горнодобывающих предприятий и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий допускается на базе запасов категории C_1.

На месторождении, вовлекаемом в промышленное освоение неполностью, указанное соотношение запасов различных категорий должно выдерживаться для той его части, на базе которой намечается строительство горнодобывающего предприятия.

Для месторождений коксующихся углей запасы по категориям А и В должны составлять не менее 60% от суммы запасов категорий А, В и C_1, в том числе не менее 30% по категории А.

13. Возможность проектирования и строительства горнодобывающего предприятия при наличии меньших количеств запасов категории А или В против запасов, указанных в пункте 12 настоящей Классификации, устанавливается Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых) при утверждении запасов.

14. На месторождениях (участках), подлежащих промышленному освоению, гидрогеологические и горнотехнические условия их эксплуатации, качество и технология переработки полезного ископаемого во всех случаях должны быть изучены с детальностью, достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия.

Наиболее детально должны быть разведаны участки и горизонты месторождения, намечаемые по предварительным данным для первоочередной отработки.

Наряду с разведкой участка, передаваемого в промышленное освоение, должны быть оценены общие запасы месторождения.

15. При проектировании горнодобывающих предприятий для определения возможных перспектив их развития в дальнейшем (определения наибольшей глубины и площади разработки, выбора способа вскрытия и места заложения шахтных стволов, при определении контуров карьера, зон обрушения, расположения сооружений, подъездных путей и отвалов), а также с целью более полного использования минеральных ресурсов должны учитываться запасы категории C_2 и забалансовые запасы.

16. Соотношение запасов различных категорий на разрабатываемых месторождениях устанавливается в каждом отдельном случае предприятиями, осуществляющими эксплуатацию месторождений, исходя из необходимости обеспечения нормального ведения горно-подготовительных и очистных работ в соответствии с производственными планами предприятий.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Запас полезного ископаемого Q в весовом выражении определяется произведением объема рудного тела или отдельного участка (блока) этого тела на объемный вес:

$$Q = Vd. \tag{65}$$

Запас полезного компонента P выражается произведением веса полезного ископаемого на среднее содержание в нем подсчитываемого компонента:

$$P = QC. \tag{66}$$

Объем тела (или отдельного блока) вычисляется как произведение площади (основания, среднего сечения, проекции на ту или иную плоскость и др.) на среднюю мощность:

$$V = Sm. \tag{67}$$

Таким образом, подсчету запасов предшествуют следующие операции:

1) вычисление площади тела S в пределах разведочного контура;
2) определение средней мощности тела m;
3) определение среднего объемного веса d;
4) определение среднего содержания каждого компонента C.

В третьем разделе, посвященном разведке месторождений, были описаны приемы определения мощности тел полезных ископаемых и контроля этих определений при помощи каротажа.

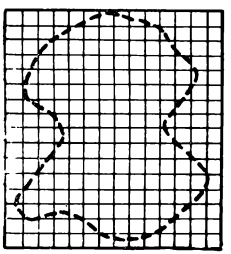


Рис. 117. Палетка для измерения площадей

Площади тел полезного ископаемого. Приемы измерения площадей, в частности с помощью планиметра, подробно рассматриваются в курсе геодезии. Отметим лишь, что для целей подсчета запасов с успехом можно пользоваться палеткой (рис. 117), цена квадратика которой определяется масштабом графики. Все неполные квадраты оцениваются как половина целого квадрата. Когда площади подсчитываемых блоков ограничены прямыми линиями, хорошие результаты дает вычисление их площадей по простейшим геометрическим формулам.

Подсчет запасов должен, разумеется, базироваться на сопоставимых данных о мощностях и площадях подсчитываемых объектов. При вычислении площадей тел полезного ископаемого по горизонтальным и вертикальным разрезам нужно вводить поправку на угол наклона тела к плоскости проекции; вводятся также поправки на угловое и азимутальное искривление скважин.

Для вычисления этих поправок применяются простейшие тригонометрические выражения.

Истинная мощность наклонно залегающего тела равна

$$m_{и} = m_{в} \cdot \cos \alpha = m_{г} \cdot \sin \alpha, \tag{68}$$

где $m_{в}$ — мощность, измеренная по вертикали;
$m_{г}$ — мощность, измеренная по горизонтали;
α — угол падения (наклона) тела.

По данным наклонной разведочной выработки, например буровой скважины, пересекающей тело полезного ископаемого перпендикулярно к его простиранию, истинная мощность определяется по формуле

$$m_{и} = l \cos (\alpha - \beta), \tag{69}$$

где l — мощность тела по наклонной выработке;
β — зенитный угол выработки в месте пересечения тела полезного ископаемого.

Если разведочная выработка (буровая скважина) пересекает тело полезного ископаемого по линии, не перпендикулярной к его простиранию, следует пользоваться формулой

$$m_{и} = l \cos (\alpha - \beta) \cdot \cos \gamma, \tag{70}$$

где γ — угол между азимутом выработки (скважины) и азимутом падения тела полезного ископаемого.

Истинная площадь наклонно залегающего тела полезного ископаемого $S_{и}$ и проекции этой площади на горизонтальную $S_{г}$ и вертикальную $S_{в}$ плоскости связаны соотношениями:

$$\left.\begin{aligned} S_{в} &= S_{и} \cdot \sin \alpha \\ S_{г} &= S_{и} \cdot \cos \alpha \end{aligned}\right\}. \tag{71}$$

Объемы тел находятся из выражения

$$V = S_{и} m = S_{г} m_{в} = S_{в} m_{г}. \tag{72}$$

Объемный вес горных пород — вес единицы объема породы в естественном состоянии — зависит от их минерального состава, пористости и трещиноватости и колеблется в пределах 1,8—2,6 для большинства горных пород и в пределах 2,5—3,5 для руд. На действующем горном предприятии объемный вес полезного ископаемого или горной породы обычно устанавливается взвешиванием значительной массы, вынутой из горной выработки, с возможно более точным замером объема этой выработки.

Наиболее простым лабораторным способом определения объемного веса является последовательное взвешивание штуфа в воздухе и в воде. По данным взвешивания легко вычислить объемный вес по формуле

$$d = \frac{P_1}{P_1 - P_2}, \tag{73}$$

где P_1 — вес штуфа в воздухе;
P_2 — вес штуфа в воде.

Образец пористой или сильно трещиноватой породы перед взвешиванием погружают в расплавленный парафин, чтобы сохранить его естественное состояние при погружении в воду.

Объемный вес полезного ископаемого и горных пород важен для различных горнотехнических расчетов и для подсчета запасов. Точность его определения должна быть в пределах сотых долей единицы.

Пористость горных пород или полезного ископаемого является функцией сложения породы (рыхлые, плотные, крупнозернистые, мелкозернистые) и трещиноватости. Она определяется как отношение объема порового пространства к общему объему образца (или глыбы).

Для определения пористости необходимо знать объемный (d_o) и удельный (d_y) веса исследуемого образца (удельный вес определяется одним из общеизвестных способов). Имея эти данные, пористость легко вычислить по формуле

$$K_п = \left(1 - \frac{d_o}{d_y}\right) \cdot 100\%. \qquad (74)$$

Ниже приводятся средние величины пористости для различных горных пород:

	%		%
Интрузивные породы	0,16	Гипсы	16,8
Кварциты	0,8	Пески	35,0
Известняки	4,8	Глины	45,0
Песчаники	15,9	Гравий	55,5

Влажность, свойственная всем горным породам, в случае значительной величины должна учитываться при подсчетах запасов. Кроме того, определение влажности добываемого полезного ископаемого важно для решения вопросов его транспортировки и складирования.

В ряде случаев, когда полезное ископаемое оказывается обильно насыщенным влагой, необходимо выяснять его природную влажность в разных участках (горизонтах) месторождения для введения поправок к аналитическим данным химических лабораторий.

Влажность определяется немедленно после взятия пробы, так как она подвержена сильным колебаниям в образцах, вынутых из массива (необходимость немедленного определения отпадает, если проба герметически закупорена).

Весовая влажность определяется путем взвешивания образца в естественном состоянии (P') и вторичного взвешивания после подсушивания образца при температуре $+110°$ (P''). Вычисление влажности производится по формуле

$$W = \frac{P' - P''}{P''} \cdot 100\%. \qquad (75)$$

Однако использование этой формулы ведет к значительному завышению фактического значения влажности вследствие того, что величина ее здесь неправильно определяется как отношение потери веса руды при высушивании к весу сухой, а не исходной влажной руды. Например, по Джетыгаринскому силикатно-никелевому месторождению влажность нонтронитовых руд, рассчитанная по приведенной формуле, была установлена в 41,5—62,8%, в то время как фактически она находилась в пределах 29,2—38,6%.

В свою очередь завышение величины влажности ведет к неверному определению объемного веса руды и содержания в ней полезного компонента. В связи с этим по предложению Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых вычисление влажности полезных ископаемых при подсчете запасов должно производиться по формуле

$$W = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \cdot 100\%, \qquad (76)$$

где P_1 — вес образца во влажном состоянии;

P_2 — вес образца после высушивания.

Поправочные коэффициенты. Вообще, применение разного рода коэффициентов при подсчете запасов является нежелательным приемом, всегда указывающим на недостаточность, а иногда и на недоброкачественность исходных данных. Однако при подсчете запасов категории C_1 и особенно C_2, когда материалов для подсчета запасов действительно мало, и в самых исключительных случаях при подсчете запасов категории В приходится прибегать к введению коэффициентов.

В том случае, если опыт детальной разведки и эксплуатации месторождения позволяет обоснованно судить о площади пережимов, пустых, безрудных участков, встречающихся внутри контура тела полезного ископаемого в данных геологических условиях, в подсчет запасов вводится поправочный «коэффициент рудоносности». Под коэффициентом рудоносности понимается отношение длины (или площади) участков тела полезного ископаемого, имеющих промышленную ценность, к суммарной длине (или площади) всей жилы или зоны, вмещающей линзы, в пределах контура подсчитываемого блока, включая части, не имеющие промышленной ценности по мощности или содержанию полезного компонента.

А. П. Прокофьев в своей книге «Практические методы подсчета запасов рудных месторождений» (1953) рассматривает и другие поправочные коэффициенты, которые иногда вводятся в подсчет запасов. Однако необходимо еще раз предостеречь от увлечения этими коэффициентами. Во всех случаях надо внимательно разобраться в причинах, вызывающих необходимость введения того или иного коэффициента, и постараться собрать дополнительные объективные данные, которые позволили бы отказаться от его использования.

Особенно это замечание относится к поправочному коэффициенту определения мощности тел полезных ископаемых. Необходимость введения этого коэффициента всегда указывает на плохое качество исходного материала и влечет за собой снижение категории подсчитываемых запасов.

Значительно чаще поправочный коэффициент применяется при определении объемного веса руд, главным образом на месторождениях, где целесообразность его использования подтверждается многолетними данными эксплуатации. Необходимость применения этого поправочного коэффициента обусловлена тем, что величина объемного веса полезного ископаемого, установленная обычными лабораторными методами, не отражает крупных трещин и других крупных пустот.

Довольно часто поправочные коэффициенты применяются при определении содержания полезного компонента в рудах. Они могут представлять собой прямую поправку к данным химических анализов, если контрольными анализами, выполняемыми в авторитетных лабораториях, доказано наличие в них систематической погрешности устойчивой величины, но чаще эти коэффициенты вводятся в подсчет при необходимости учесть влажность, валунистость, льдистость, разрыхление и намыв (при эксплуатации россыпных месторождений), а также в случае установленной погрешности опробования.

4. ОБОСНОВАНИЕ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов должен быть обоснован целым рядом материалов, к числу которых относятся:

1) геологический очерк, освещающий стратиграфию, литологию, петрографию, тектонику, геоморфологию и металлогению района месторождения. Он является основой для суждения о возможном распространении полезного ископаемого по простиранию и на глубину, о тектонических нарушениях, о гидрогеологических условиях и о генезисе месторождения. Отсутствие или неудовлетворительное качество материалов по геологии района может явиться одной из главных причин неправильного подсчета запасов, особенно перспективных;

2) геологическое описание месторождения, отражающее его основные особенности: форму, размеры, элементы залегания тел полезного ископаемого, минеральный состав, текстуры, типы и сорта полезного ископаемого и распределение их в пространстве. При отсутствии описания месторождения невозможно учесть, насколько правильно и точно подсчитаны запасы;

3) документы, характеризующие степень изученности месторождения: журналы геологической документации горных выработок и буровых скважин, журналы опробования, данные контрольных анализов, данные определения удельного и объемного весов. Эти первичные документы служат основой для составления геологического описания месторождения и подсчета его запасов;

4) формуляры, отражающие весь ход подсчета запасов для каждой отдельной выработки, для каждого блока месторождения. Эти формуляры для каждого способа подсчета запасов имеют свои особенности, но общий принцип их составления сводится к следующему: в формуляр заносятся номера проб, мощности, объемные веса и содержания полезного компонента по данной выработке или блоку; в колонках формуляра указываются также площади влияния выработок и некоторые другие данные; в соседних колонках выписываются произведения величин, используемых для определения среднего взвешенного или линейных запасов по пробам или выработкам; наконец, в итоговых столбцах формуляра указываются запасы полезного ископаемого, запасы полезного компонента по сечению или блоку, средняя мощность, средний объемный вес, среднее содержание полезного компонента.

Единая форма формуляра организует подсчет запасов по месторождению, придает ему необходимое единообразие. По формуляру легко проверить характер исходных данных и технику подсчета, поэтому составление формуляров подсчета запасов является обязательным правилом;

5) графический материал. В состав его входят геологическая (иногда гидрогеологическая) карта и геологические разрезы района, геологическая карта месторождения и отдельных его участков, поперечные и продольные разрезы месторождения в количестве, достаточном для создания полного представления о морфологических особенностях и залегании рудных тел и вмещающих пород, а также погоризонтные планы горных выработок, колонки буровых скважин, поперечные разрезы и разрезы в плоскости залежи с нанесением мощностей и данных опробования, которые служат исходным материалом для оконтуривания месторождения и разбивки его на блоки. По этим планам и разрезам производится определение площадей подсчитываемых участков, поэтому масштаб их должен быть достаточно крупным. В зависимости от типа месторождения масштабы графики, которая непосредственно кладется в основу подсчета, могут меняться. Для крупных угольных месторождений, мало нарушенных, с незначительной изменчивостью полезного ископаемого, вполне удовлетворителен масштаб 1 : 10 000, а в некоторых случаях даже 1 : 25 000. Для изменчивых, непостоянных месторождений золота и редких металлов необходимы планы и разрезы масштабов 1 : 1000 и 1 : 500, а в редких случаях и 1 : 200;

6) общие соображения и расчеты, иллюстрирующие промышленное значение месторождения, а также данные технологических испытаний, заверенные (подписью и печатью) производившими испытания лабораториями или промышленными предприятиями.

Кроме того, во всех случаях, когда это возможно, приводятся сравнительные данные по добыче и переработке руд, позволяющие судить о точности выполненных подсчетов. Дается исчерпывающая характеристика объемов и стоимости произведенных разведочных работ, опробования, указывается стоимость разведки единицы запасов разных категорий и стоимость перевода запасов из одной категории в другую.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО УЧАСТКАМ

Химические анализы проб, определения объемных весов и замеры мощностей в разведочных выработках являются исходным материалом для определения средней мощности, среднего объемного веса и среднего содержания полезных компонентов. Подсчет запасов обычно производится по отдельным участкам (блокам), на которые подразделяется каждое изучаемое тело. Вначале вычисляются средние показатели по отдельным выработкам, а впоследствии по ним подсчитывается среднее содержание полезных компонентов, средний объемный вес и средняя мощность для каждого блока.

Существуют два способа подсчета средних величин: способ среднего арифметического и способ среднего взвешенного. На малоизменчивых месторождениях при большой густоте проб (или выработок), более или менее равномерно распределенных по всему участку, можно использовать способ среднего арифметического:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}, \tag{77}$$

где x — среднее значение показателя (содержание полезного компонента, объемный вес или мощность тела полезного ископаемого);
$x_1, x_2, \ldots, x_n$ — значения того же показателя по отдельным пробам;
n — число измерений (проб).

Среднюю мощность тела полезного ископаемого обычно определяют методом среднего арифметического.

Если мощность или объемный вес тела в разных местах резко различны, способ среднего арифметического может привести к ошибкам, так как он не учитывает неравноценности отдельных измерений, т. е. того обстоятельства, что эти измерения характеризуют части тела различной мощности или различного объема.

Если, например, одна проба характеризующая мощный участок жилы, обнаружила содержание металла, скажем 10%, а другая проба взята по участку жилы, имеющему в 5 раз меньшую мощность, и показала содержание металла, например 2%, то совершенно очевидно, что высчитанное способом среднего арифметического содержание металла во всей жиле, равное в данном случае 6%, не будет соответствовать действительному, потому что первая проба в общем случае должна быть распространена на количество руды, в 5 раз большее, чем вторая проба. Придав первой пробе в 5 раз больший «вес», мы получим среднее взвешенное содержание для всей жилы:

$$x = \frac{10 \cdot 5 + 2 \cdot 1}{5 + 1} = 8{,}66\%,$$

которое будет соответствовать действительному.

Таким образом, неравноценность отдельных измерений компенсируется вычислением среднего значения способом среднего взвешенного по общей формуле

$$x = \frac{x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n}{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}, \tag{78}$$

где $a, \ldots, a_n$ — величины, по которым «взвешиваются» данные измерений.

При резко различных мощностях или объемных весах полезного ископаемого, характеризуемых отдельными пробами, прибегаем к взвешиванию

данных по каждой пробе по мощности (m_1, m_2, m_3,..., m_n), по объемному весу (d_1, d_2, d_3,..., d_n) или по мощности и объемному весу (m_1d_1, m_2d_2,..., m_nd_n).

Таким образом, в наиболее сложных случаях формулы, определяющие средний взвешенный объемный вес ($D_{ср}$) и среднее взвешенное содержание полезного компонента ($C_{ср}$), будут иметь следующий вид:

$$D_{ср} = \frac{d_1m_1 + d_2m_2 + \ldots + d_nm_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}; \tag{79}$$

$$C_{ср} = \frac{C_1d_1m_1 + C_2d_2m_2 + \ldots + C_nd_nm_n}{d_1m_1 + d_2m_2 + \ldots + d_nm_n}, \tag{80}$$

где C_1, C_2, ..., C_n — содержание полезного компонента по каждой пробе.

Конечно, в том случае, если какая-нибудь из величин, могущих вызвать неравноценность отдельных определений, оказывается примерно однообразной на всем участке, она может быть исключена из формулы, и последняя приобретает более простой вид. Например, если мощности тела различны, но объемные веса примерно постоянны, в формулу среднего взвешенного содержания вместо dm подставляется только m.

Особо надо остановиться на включении величины l — длины влияния отдельной пробы — в подсчет среднего содержания. Поскольку каждая проба, особенно в сложных месторождениях, является в значительной мере случайной и, следовательно, не всегда отражает действительное среднее содержание полезного компонента на участке влияния пробы, от взвешивания данных по длине влияния единичных проб следует решительно отказаться.

Надо также отметить, что вычисление среднего объемного веса методом среднего взвешенного и определение объемных весов по отдельным пробам с целью взвешивания по ним среднего содержания применяются очень редко. Обычно колебания величины объемного веса для каждого сорта полезного ископаемого бывают столь невелики, что средний объемный вес сорта вычисляется методом среднего арифметического на основании ограниченного числа определений, произведенных по материалу валовых проб.

Вообще, принцип взвешивания следует применять только в тех случаях, когда среднее определяется по небольшому количеству исходных данных или когда существует четкая корреляционная связь между исходными величинами (например, между мощностью и содержанием какого-либо компонента), а также при подсчете среднего содержания полезного компонента по блокам, ограниченным выработками резко различной длины.

В некоторых случаях, обычно, когда первоначально произведенное разделение на сорта оказывается практически ненужным, возникает необходимость в объединении секционных проб, взятых раздельно на разных участках тела, с целью определения мощности, объемного веса и содержания полезного компонента по всему телу в данном сечении. В этих случаях мощность всего тела определяется как сумма мощностей, измеренных по каждой секционной пробе, а средний объемный вес и среднее содержание полезного компонента, характерные для всего тела, подсчитываются по приведенным выше формулам среднего взвешенного.

По тем же формулам вычисляется средний объемный вес и среднее содержание полезного компонента по скважинам, опробуемым по отдельным интервалам (обычно по подъемам). При колонковом бурении определение среднего содержания усложняется тем, что часть пробы бывает представлена керном, а другая часть — шламом. Чтобы определить действительное

содержание полезного компонента на опробованном интервале C, нужно учесть обе части пробы:

$$C = \frac{C'V_к + C''V_ш}{V_0}, \tag{81}$$

где C' — содержание полезного компонента, установленное по керну;
C'' — содержание полезного компонента, установленное по шламу;
$V_к$ — объем керна;
$V_ш$ — объем шлама;
V_0 — объем скважины.

Объем керна и шлама, а также полный объем скважины на опробованном интервале определяются по формулам:

$$V_0 = \frac{\pi D^2 l}{4}; \tag{82}$$

$$V_к = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot \frac{n}{100}; \tag{83}$$

$$V_ш = V_0 - V_к, \tag{84}$$

где D — диаметр скважины;
d — диаметр керна;
l — длина опробованного участка скважины;
n — линейный выход керна в процентах.

Пользуясь этими формулами, необходимо учитывать, что они выведены исходя из теоретической величины объема шлама. Если вес шлама оказывается значительно больше того, который следует из теоретически вычисленного объема, то, очевидно, произошло осыпание материала из более высоких частей скважины и, следовательно, расчет будет заведомо неверен. При малом выходе керна и явно ненадежном шламе данные по скважине не могут быть использованы для подсчета запасов.

Встречаются пробы, характеризующиеся исключительно высоким содержанием ценного компонента. Обычно это бывает при попадании пробы на гнездо очень богатой руды, имеющее весьма ограниченные размеры. Исключать такие пробы из подсчета среднего содержания нельзя, ибо богатые гнезда влияют на конечную величину среднего содержания компонента в руде и на общую величину запасов. В то же время вводить такие пробы в подсчет среднего содержания по отдельным блокам также было бы неверно, потому что распространяя пробы с исключительно высоким содержанием на полные объемы влияния, соответствующие единичной пробе, мы бы заведомо завысили среднее содержание полезного компонента по данному блоку.

Только в пределах ряда блоков, при общем количестве проб составляющем многие сотни, по закону больших чисел можно принять, что соотношение между пробами с исключительно высоким содержанием и обычными пробами более или менее правильно отражает действительное соотношение объемов обогащенных гнезд и средних руд. Таким образом, можно считать, что упомянутые пробы характерны для всего месторождения в целом, но не для отдельного небольшого блока или участка.

В связи с этим при подсчете среднего содержания полезного компонента по отдельным блокам рекомендуется пробы с исключительно высоким содержанием заменять наиболее богатыми из числа проб, отобранных по данному блоку, но которые все же можно считать обычными, характерными для данного участка. Разницу же нужно «раскидывать» на руды всего месторождения[1].

[1] Мы считаем, что никаких «исключительных» («ураганных») проб вообще не существует и самое понятие «ураганная проба» — исторический пережиток. Только несовершенство наших приемов опробования вынуждает прибегать к искусственным приемам — заменять всевозможными путями исключительные пробы.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

После проведения на месторождении разведочных работ и построения контуров тела полезного ископаемого можно приступать к определению объема тела и отдельных его частей (блоков) и к подсчету запасов полезного ископаемого.

Подсчет объема тела полезного ископаемого, так же как и последующий подсчет запасов, можно произвести либо аналитическим, либо графическим методом. Расхождения между действительным объемом рудного тела и объемом, определенным с помощью интерполяции и экстраполяции, всегда будут во много раз больше, чем те ошибки, которые мы допустим, сведя объем полученного оконтуриванием сложного тела к объему или сумме объемов примерно равновеликих простейших геометрических тел. Поэтому применение сложных математических приемов не оправдывается при подсчете запасов.

Иными словами, подсчет запасов — задача скорее геологическая, чем математическая, и состоит главным образом в том, чтобы как можно правильнее с учетом всех геологических факторов произвести интерполяцию и экстраполяцию контуров. Расхождение между действительным и подсчитанным объемом будет тем больше, чем более изменчива мощность месторождения и чем меньшим количеством выработок оно разведано. То же самое относится и к расхождению между действительными и подсчитанными запасами полезного ископаемого и его компонентов, на которое влияет степень изменчивости объемного веса и содержания компонентов.

В связи с этим при подсчете запасов целесообразно воздерживаться от применения точных аналитических методов, если они сложны, и использовать приближенные аналитические и графические методы вычисления запасов.

Каждый из рассматриваемых ниже способов подсчета запасов представляет собой прием, с помощью которого мы стремимся заменить подсчитываемое тело сложной формы простым, по возможности равновеликим телом, объем которого определяется по элементарным формулам.

Графическое изображение тела полезного ископаемого или его свойств, обычно сопровождаемое приведением формы и распределения запасов полезного ископаемого и его компонента к более простому виду, будем, по предложению П. К. Соболевского, называть геометризацией тела и его свойств.

В зависимости от способов и приемов, применяемых при геометризации, различают несколько способов подсчета запасов, из которых основными являются способ среднего арифметического, способы блоков и способы разрезов. В единичных случаях используются также способы статистический, изогипс и способ ближайшего района. Раньше применялись также способы изолиний и треугольников, однако в настоящее время ими практически не пользуются. Выбор того или иного способа подсчета зависит от формы рудного тела, его размеров и факторов изменчивости, направления пересечения его разведочными выработками, от расположения и густоты выработок, количества имеющихся данных, а также от практических задач подсчета.

Однако не следует преувеличивать роль правильного выбора способа подсчета в получении точных цифр запасов. Опыт показывает, что главными причинами, вызывающими крупные ошибки при подсчете запасов, являются дефекты документации и неправильные геологические представления при интерполяции и особенно при экстраполяции. Можно утверждать, что при

достаточном количестве доброкачественного фактического материала и при правильном понимании геологической обстановки почти любой способ подсчета дает близкие к действительности результаты; подсчеты, выполненные параллельно двумя или тремя способами, показывают в таких случаях незначительные расхождения. Применение параллельного подсчета двумя способами при этих условиях приобретает значение самоконтроля.

2. СПОСОБ СРЕДНЕГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО

Способом среднего арифметического называются упрощенные приемы подсчета запасов, применяемые в тех случаях, когда месторождение разведано скважинами или горными выработками, пересекающими тело полезного ископаемого по мощности. Оконтуривание в этих случаях производится обычным способом. Очень часто строится только внешний контур. Если же для уточнения требуется построить также внутренний контур, междуконтурная полоса делится пополам: часть, прилегающая к внутреннему контуру, подсчитывается по средним данным, принятым для всей части месторождения внутри этого контура, а на часть, прилегающую к наружному контуру, распространяются показатели, принятые для наружного контура. Средняя мощность тела полезного ископаемого и среднее содержание полезного компонента определяются как среднее арифметическое из данных, полученных по всем выработкам в пределах внутреннего контура.

Основным преимуществом способа среднего арифметического является его простота. Он дает возможность быстро «прикинуть» величину запасов для ориентировочного представления о промышленной ценности месторождения и является единственным рациональным способом подсчета при незначительной разведанности месторождения, когда применение других, более сложных способов нецелесообразно. При большом количестве частых, равномерно распределенных выработок или проб способ среднего арифметического дает вполне точные результаты.

К недостаткам этого способа относится малая точность подсчета в случае неправильных, сложных месторождений и при неравномерном распределении разведочных выработок, а также невозможность получения данных о распределении сортов полезного ископаемого в пространстве.

Пример применения способа среднего арифметического. Рассмотрим применение способа среднего арифметического на примере поля шахты № 13 Подмосковного угольного бассейна.

Геологическое строение района представляется в следующем виде. На размытой поверхности упинских известняков, местами сохранившей следы коры выветривания, залегают породы угленосной свиты нижнего карбона мощностью от 15 до 53 *м*. Выше лежат тульские пески и глины с прослоями известняков и иногда угля мощностью 10—25 *м* и алексинские известняки мощностью 8—15 *м*. Породы нижнего карбона покрыты верхнеюрскими глинами и песками мощностью 8—20 *м*, валанжинскими песками и песчаниками мощностью до 20 *м*, аптскими песками мощностью до 15 *м* и четвертичными суглинками и песками мощностью до 10 *м*. Верхнеюрские породы развиты неповсеместно, валанжинские отложения распространены шире и занимают все водораздельные пространства. Аптские пески залегают трансгрессивно на различных горизонтах юры, валанжина или реже непосредственно на отложениях карбона.

Угленосные породы в пределах поля шахты № 13 подразделяются на два комплекса: углисто-глинистый и песчаный. Пласт угля залегает в пределах первого (нижнего) комплекса.

Угольный пласт лежит в общем горизонтально, волнообразно, повторяя в грубых чертах рельеф известнякового фундамента. Абсолютные отметки почвы угольного пласта колеблются от 162 до 187 *м*. Глубина залегания угля — около 60 *м*. Мощность пласта угля достигает 4,16 *м*, средняя мощность — около 2,2 *м*.

В пределах поля шахты № 13 развиты угли крепкие и рыхлые, глинистые. Зольность в большинстве случаев не превышает 45%. Участок поля шахты № 13 охватывает южную часть угольной залежи, которая в этом направлении выклинивается.

Северная граница участка проведена условно между двумя рядами скважин. Вдоль этой границы вскрыты небольшие участки с углем нерабочей

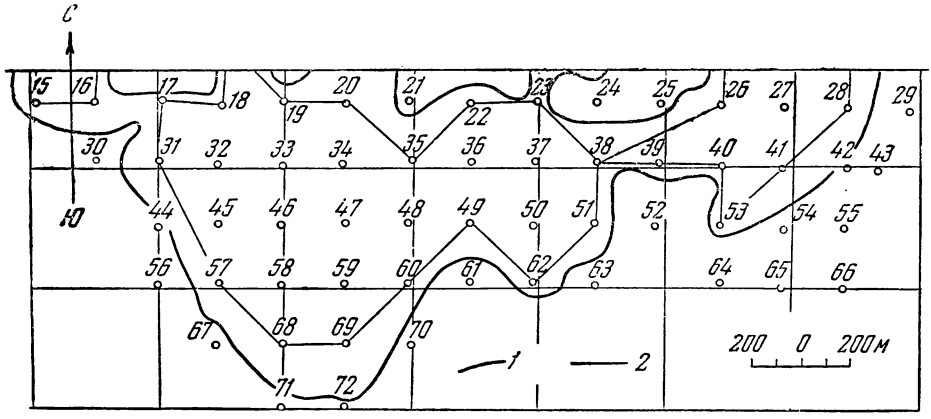


Рис. 118. Схема подсчета запасов способом среднего арифметического в поле шахты № 13 Подмосковного угольного бассейна (по Г. Г. Денисову)

1 — контур пласта мощностью более 1 *м*; *2* — контур, построенный по крайним выработкам

мощности и безугольные. Разведочные работы производились скважинами ручного ударно-вращательного бурения (начальный диаметр 8″, конечный 4 $^1/_2$″) и колонкового бурения. Скважины задавались по более или менее правильной квадратной сети, ориентированной в меридиональном направлении, на расстоянии 250 *м* одна от другой. Промышленный участок залежи оконтурен по мощности 1 *м*. Контур проведен путем интерполяции. Внешний контур проведен посередине между скважинами, пересекшими угольный пласт, и безугольными скважинами.

На рис. 118 изображен план залежи к подсчету запасов по методу среднего арифметического. Мощность залежи на участке, ограниченном контуром, проведенным по крайним скважинам, вычислена как средняя арифметическая из данных всех скважин участка. Для приконтурной полосы мощность вычислена как средняя из средней мощности по крайним скважинам и мощности на промышленном контуре (1 *м*).

3. СПОСОБЫ БЛОКОВ

Способы геологических и эксплуатационных блоков характеризуются технической простотой расчетов, а также, что особенно важно, наибольшими возможностями учета и отражения геологических особенностей подсчитываемых месторождений и методов их разведки. Применение того или иного из этих способов зависит только от разведочной сети — от вида разведочных выработок, их расположения и плотности. Поэтому они обычно применяются совместно для подсчета запасов как различных участков месторождений, так и различных частей одних тех же рудных тел. Графические построения подсчета в основном одинаковы.

Способ геологических блоков состоит в том, что общая площадь тела полезного ископаемого расчленяется на части исходя из различий в вещественном составе или в элементах залегания тела полезного ископаемого на разных участках месторождения. Кроме того, различные подсчетные блоки выделяются по степени разведанности разных участков месторождений с отнесением их к соответствующим категориям запасов.

Способ геологических блоков применяется главным образом в начальных стадиях разведки месторождения, когда имеется еще немного данных по каждому участку. Поэтому обычно выделяются блоки крупных размеров. Чем больше по каждому подсчетному блоку имеется данных о мощности тела полезного ископаемого и о содержании полезных компонентов, тем точнее будут определены запасы. Следовательно, кроме геологических соображений, при выделении подсчетных блоков надо учитывать и расположение различных разведочных выработок с тем, чтобы каждый блок опирался на возможно большее число выработок.

Подсчет запасов в пределах каждого блока ведется способом среднего арифметического или, если исходные данные по разным выработкам сильно различаются,— способом среднего взвешенного. Общие запасы полезного ископаемого и его компонентов определяются суммированием запасов по блокам.

Главным достоинством способа геологических блоков является его простота и скорость. По сравнению со способом среднего арифметического он имеет то преимущество, что позволяет выделять различные типы и сорта полезного ископаемого в пространстве.

Недостаток способа геологических блоков состоит в том, что впоследствии, при подготовке месторождения к эксплуатации, приходится перестраивать все подсчетные блоки применительно к системе разработок и производить полный пересчет запасов.

Пример применения способа геологических блоков. Рассмотрим подсчет запасов жильного полиметаллического месторождения (по материалам Л. В. Зайцева и Р. Х. Рафибейли).

Месторождение расположено на восточном крыле антиклинальной складки, сложенной среднеюрскими вулканогенно-осадочными породами—различными порфиритами и диабазами, чередующимися с туфами, туфопесчаниками и туфобрекчиями. Рудные жилы приурочены к серии близширотных крутопадающих трещин типа сбросов небольшой амплитуды. Существенное значение в структуре месторождения имеют разломы двух видов: крутопадающие типа сбросо-сдвигов (простирание СЗ 300°—СВ 80°, падение под углом 70—90° преимущественно на восток) и пологие (20—30°) типа сдвиго-надвигов, следующие по плоскостям напластования вулканогенно-осадочных пород (рис. 119). Амплитуды перемещений по этим нарушениям колеблются от 5—10 до 30 *м*.

Общее количество жил 25, из них 15 имеют промышленное значение. Из числа последних детально разведаны четыре жилы. Протяженность главных жил достигает 1000—1500 *м*, мощность 0,25—2,0 *м* (в среднем 0,5—0,85 *м*).

Рудные жилы сложены галенитом, сфалеритом, кварцем и кальцитом с незначительной примесью халькопирита и пирита. Наряду со свинцом и цинком в рудах содержатся золото, серебро и другие элементы. Распределение оруденения неравномерное, однако границы богатых и бедных руд по простиранию отбиваются довольно четко, что позволяет на участках, разведанных погоризонтными штольнями, выделить рудные столбы. Коэффициент рудоносности в среднем по месторождению равен 0,5, а в контурах подсчетных блоков 0,59—0,96. По соотношению содержания свинца и цинка условно выделяются существенно свинцовые, существенно цинковые и смешанные цинково-свинцовые руды; последние распространены наиболее широко. Содержание свинца в рудах колеблется от 1 до 50% (среднее 5—8%), цинка — от 0,5 до 35% (среднее 3,5—4,5%). Основное количество запасов месторождения (80%) сосредоточено в трех наиболее крупных жилах.

Разведка рудных жил с поверхности осуществлялась поперечными канавами, расположенными на расстоянии 20—30 *м* одна от другой, и частично шурфами, на глубину — серией штолен, пройденных по простиранию жил. Расстояния между горизонтами штолен по вертикали колеблются от 25

до 80 *м* в зависимости от рельефа и тектоники (рис. 120). Ниже горизонтов штолен и на участках, труднодоступных для горных работ, жилы разведаны редкой сетью буровых скважин с расстоянием между ними около 100 *м*.

Опробование жил в горных выработках производилось на всю мощность поперечными бороздами сечением 10×5 *см*. Расстояние между бороздами в штольнях составляет 1 *м*. Обработка проб производилась по формуле $Q = Kd^2$ при $K = 0{,}5$.

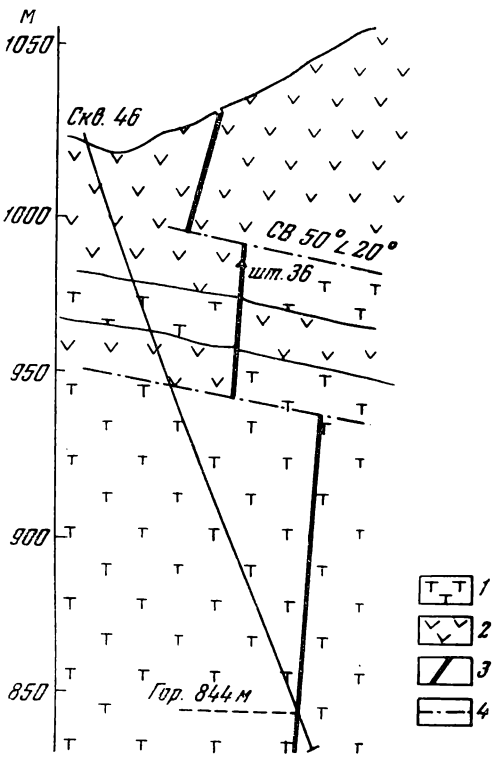


Рис. 119. Геологический разрез через одну из жил полиметаллического месторождения

1 — туфы, туфопесчаники, туфобрекчии; *2* — порфириты, диабазовые порфириты; *3* — рудная жила; *4* — дизъюнктивные нарушения

Подсчет запасов по жилам выполнен способом геологических блоков. Бортовое содержание свинца в рудах принято равным 1,2% (или 2,5% по сумме свинца и цинка) при мощности, равной 0,8 *м*, и среднем содержании свинца по блоку не менее 3%. При мощности жилы менее 0,8 *м* бортовое содержание свинца соответственно повышается. Интервалы жил с некондиционным содержанием свинца длиной до 3 *м* включались в подсчет наравне с кондиционными, интервалы длиной 4—20 *м* учитывались с помощью коэффициента рудоносности, интервалы длиной свыше 20 *м* из подсчета запасов исключались. Коэффициент рудоносности вычислялся как отношение суммарной длины интервалов жил с кондиционным содержанием свинца к общей длине жилы, вскрытой выработкой.

Средние значения мощностей и содержания компонентов определялись по 5000 проб. Содержание свинца и цинка во всех случаях взвешивалось по мощности, так как обычно малой мощности соответствует высокое содержание. Пробы с высоким содержанием свинца и цинка (25—30%), как характерные для месторождения, учитывались наравне с рядовыми.

Для блоков категории В, заключенных между двумя горизонтами штолен, мощность и содержание компонентов вычислялись по всем пробам из выработок, оконтуривающих блок, по способу среднего взвешенного.

Для блоков категории C_1, оконтуренных штольней и рядом скважин, мощность и содержание определялись как средние арифметические между средними величинами по штольне и скважинам. По скважинам среднее содержание вычислялось как среднее взвешенное по мощности.

Объемный вес, определенный по 304 образцам, оказался равным для руд с различным содержанием полезных компонентов 2,61—6,0 (средний 3,45).

Категоризация запасов произведена следующим образом (см. рис. 120): к категории В отнесены запасы блоков, заключенных между горизонтами штолен; к категории C_1 — запасы блоков, ограниченных горизонтом штольни и рядом буровых скважин (или поверхностных выработок), а также блоков, оконтуренных скважинами при расстоянии между ними не более 150 *м*; к категории C_2 — запасы в блоках в пределах известной протяженности жил, подтвержденные единичными пробами.

Настоящий пример приведен не только для иллюстрации применения принятых способов оконтуривания геологических блоков, но и для характеристики недостатков, обычно встречаемых при таком оконтуривании.

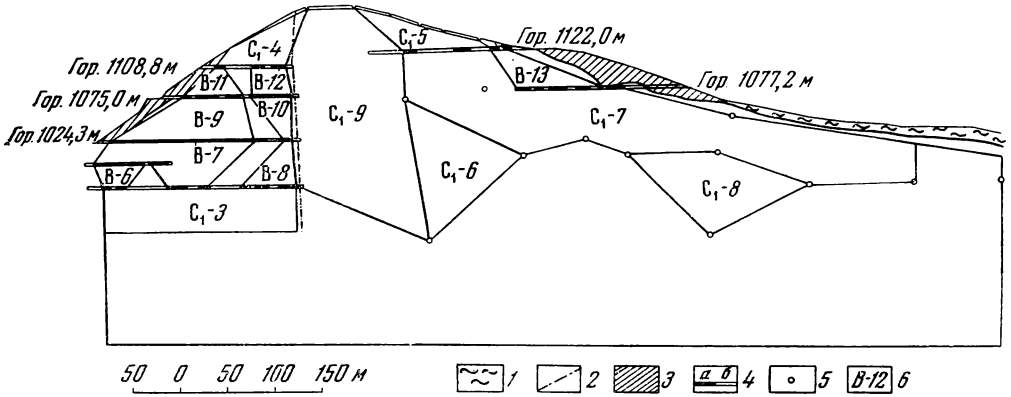


Рис. 120. Проекция на вертикальную плоскость полиметаллической жилы с построением блоков подсчета запасов

1 — четвертичные отложения; *2* — дизъюнктивные нарушения; *3* — отработанные участки жилы; *4* — интервалы штолен с кондиционным (*а*) и некондиционным (*б*) содержанием свинца и цинка; *5* — точки пересечения жилы скважинами колонкового бурения; *6* — категории запасов и номера подсчетных блоков

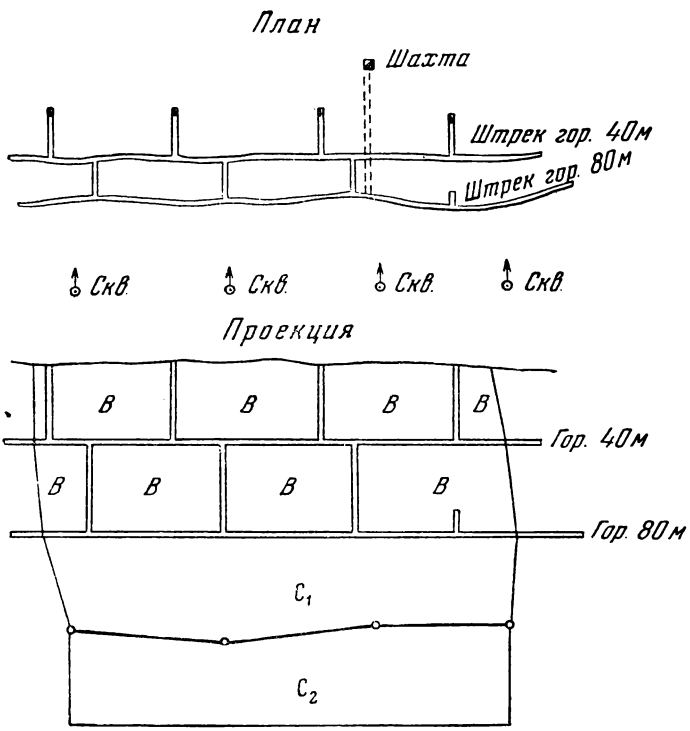


Рис. 121. План горных выработок по золоторудной жиле и проекция ее на вертикальную плоскость с построением блоков подсчета запасов

Главным недостатком является неполный учет геологических особенностей месторождения и в связи с этим известная формальность в прове-

дении контуров, основанном только на фактических данных существующих выработок. В приведенном примере формальность (негеологичность) приемов оконтуривания блоков проявилась в двух направлениях.

Во-первых, не сделано попытки выяснить геологические условия залегания обогащенных участков рудных тел. Ничего не известно о геологических факторах, которые могли определять места скоплений и морфологию (например, склонение) обогащенных участков. Поэтому контуры блоков обогащенных частей жил целиком определяются только данными разведочных выработок.

Во-вторых, не учтены геологические, естественные границы блоков. На геологическом профиле месторождения (см. рис. 119) показаны смещения жил по пологим срывам; все главные срывы следовало спроектировать на плоскость блокировки и подсчета запасов с тем, чтобы учесть возможность удвоения рудных тел на одних участках и образования пустых окон — на других.

Способ эксплуатационных блоков применяется при подсчетах запасов на конечных стадиях разведки, когда разведочные выработки уже очерчивают контуры отдельных эксплуатационных участков (блоков) с трех или четырех сторон (рис. 121), причем изученность по оконтуривающим выработкам примерно одинакова.

Объем тела в пределах оконтуренного блока равен

$$V = S\frac{m_1L_1+m_2L_2+m_3L_3+m_4L_4}{L_1+L_2+L_3+L_4}, \qquad (85)$$

где S — площадь блока;

$m_1, \ldots, m_4$ — средняя мощность тела по выработке, оконтуривающей блок с одной из сторон;

$L_1, \ldots, L_4$ — длина выработки.

Запасы руды

$$Q = V\frac{d_1m_1L_1+d_2m_2L_2+d_3m_3L_3+d_4m_4L_4}{m_1L_1+m_2L_2+m_3L_3+m_4L_4}, \qquad (86)$$

где d — средний объемный вес полезного ископаемого по выработке, оконтуривающей блок с одной стороны. Обычно он является единым для всего блока и даже для нескольких блоков.

Запасы полезного компонента

$$P = Q\frac{C_1d_1m_1L_1+C_2d_2m_2L_2+C_3d_3m_3L_3+C_4d_4m_4L_4}{d_1m_1L_1+d_2m_2L_2+d_3m_3L_3+d_4m_4L_4}, \qquad (87)$$

где C — среднее содержание полезного компонента по выработке, оконтуривающей блок с одной из сторон.

Если блок оконтурен только с трех сторон, приведенные формулы сохраняют свою структуру, но теряют последнее слагаемое в числителе и знаменателе.

4. СПОСОБЫ РАЗРЕЗОВ

Способ параллельных сечений. По этому способу через разведочные выработки, расположенные примерно по параллельным линиям или на одних горизонтах, строятся соответственно вертикальные или горизонтальные разрезы (сечения). На некоторых месторождениях расположение выработок позволяет применять подсчет и по вертикальным и по горизонтальным сечениям. В таких случаях предпочтение отдается той системе,

которая больше отвечает требованиям эксплуатации. Если месторождение разрабатывается по горизонтам, почти всегда удобнее выполнять подсчет по горизонтальным сечениям. Всякого рода наклонные сечения не рекомендуются, потому что данные по ним трудно практически использовать.

Разрезы расчленяют тело на блоки, причем два крайних блока с одной стороны ограничиваются плоскостью разреза, а с остальных сторон — неправильной поверхностью тела. Запас по этим блокам, заключенный между внутренним и внешним контурами, подсчитывается отдельно и обычно относится к более низкой категории.

Подсчету запасов по блокам и по всему телу полезного ископаемого предшествует подсчет по отдельным сечениям, заключающийся в определении запаса в ленте рудной залежи, толщина которой принимается равной единице (1 *м*), а площадь вычисляется исходя из фактической конфигурации тела в плоскости сечения (рис. 122).

Объем ленты залежи в каждом сечении V^{I} определяется как произведение площади тела полезного ископаемого в этом сечении S^{I} на единицу. Площадь S^{I} обычно измеряется планиметром.

Среднее содержание компонента в сечении определяется или способом среднего арифметического или, если это необходимо, способом среднего взвешенного:

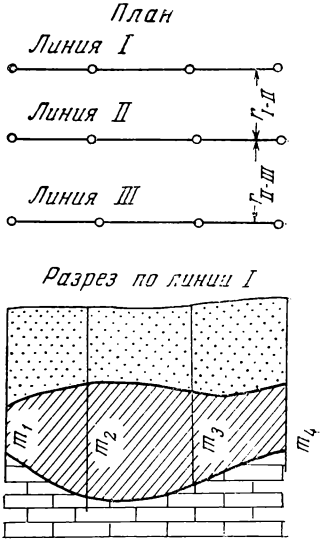


Рис. 122. Схема к подсчету запасов способом параллельных сечений

$$C^{\text{I}} = \frac{C_1 m_1 + C_2 m_2 + \ldots + C_n m_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}, \tag{88}$$

где $m_1, m_2, \ldots, m_n$ — мощность тела в каждой данной выработке.

Запасы руды и полезного компонента в сечении залежи соответственно равны

$$Q^{\text{I}} = V^{\text{I}} D^{\text{I}}; \tag{89}$$

$$P^{\text{I}} = V^{\text{I}} D^{\text{I}} C^{\text{I}}, \tag{90}$$

где D^{I} — средний объемный вес по сечению.

Величина D^{I} определяется как среднее арифметическое или, когда различия значительны, как среднее взвешенное:

$$D^{\text{I}} = \frac{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \ldots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}. \tag{91}$$

Объем, а также запасы полезного ископаемого и его компонента между двумя параллельными сечениями находятся как произведение полусуммы запасов, заключенных в обеих лентах, ограничивающих подсчитываемый

блок, на расстояние между ними:

$$V_1 = r\frac{V^{\text{I}}+V^{\text{II}}}{2}; \tag{92}$$

$$Q_1 = r\frac{Q^{\text{I}}+Q^{\text{II}}}{2}; \tag{93}$$

$$P_1 = r\frac{P^{\text{I}}+P^{\text{II}}}{2}, \tag{94}$$

где r — расстояние между сечениями.

Применимость этих формул ограничивается теми случаями, когда объемы (запасы) двух соседних сечений различаются между собой не более чем на 40%. В противном случае подсчет объема (запасов) блока, ограниченного двумя сечениями, должен производиться по формуле усеченной пирамиды:

$$V_1 = \frac{1}{3}r\left(V^{\text{I}}+V^{\text{II}}+\sqrt{V^{\text{I}}V^{\text{II}}}\right); \tag{95}$$

$$Q_1 = \frac{1}{3}r\left(Q^{\text{I}}+Q^{\text{II}}+\sqrt{Q^{\text{I}}Q^{\text{II}}}\right); \tag{96}$$

$$P_1 = \frac{1}{3}r\left(P^{\text{I}}+P^{\text{II}}+\sqrt{P^{\text{I}}P^{\text{II}}}\right). \tag{97}$$

На россыпных месторождениях широко применяется следующий вариант рассматриваемого способа подсчета. Объемы (запасы), подсчитанные по разведочной линии, т. е. в пределах сечения, распространяются на ширину, равную полусумме расстояния до соседних линий, в одну и другую сторону. Этот вариант менее правильно отражает действительное распределение запасов в пространстве и может применяться только в случае сравнительно небольшой разницы в объемах (запасах) между соседними сечениями.

Принципиально аналогичен подсчет запасов по блокам, заключенным между внутренним и внешним контурами. В этом случае площадь тела в плоскости сечения, ограниченного с одной стороны выработкой, а с другой стороны — точкой выклинивания (или условной границей минимальной промышленной мощности), определяется исходя из мощности тела в крайней выработке, мощности тела на внешнем контуре и расстояния экстраполяции. Объем ленты залежи толщиной 1 *м* в плоскости сечения будет, очевидно, так же как и в ранее рассмотренном случае, численно равен площади этого сечения. Запас полезного ископаемого (и компонента) в сечении подсчитывается как произведение объема на объемный вес (и на содержание) по единственной выработке, ограничивающей сечение.

Иногда в целях осторожности, если для этого есть геологические основания, учитывая, что при выклинивании тела содержание полезного компонента (и соответственно объемный вес) довольно быстро уменьшается, данные по выработке уменьшают на 25—50%.

Описанный способ применяется в случае расположения выработок и скважин по параллельным разведочным линиям, а также когда месторождение пересечено по простиранию выработками на нескольких горизонтах.

Способ параллельных горизонтальных сечений незаменим при подсчете запасов месторождений неправильной формы — труб, неправильных и изометричных метасоматических тел.

Способ близкопараллельных сечений. Если разрезы по месторождению не параллельны, а сходятся под некоторым углом, для подсчета запасов могут быть применены следующие формулы:

1. Если угол между сечениями не превышает 10°, объем блока равен

$$V = \frac{H'+H''}{2}\left(\frac{S'+S''}{2}\right), \tag{98}$$

где H' и H'' — перпендикуляры, опущенные из центров тяжести сечений на противоположный профиль (рис. 123); таких перпендикуляров между двумя сечениями, очевидно, будет два;
S' и S'' — площади сечений тела полезного ископаемого на профилях.

Среднее содержание полезного компонента и средний объемный вес по блоку определяются по формулам

$$C = \frac{C' + C''}{2}; \tag{99}$$

$$d = \frac{d' + d''}{2}, \tag{100}$$

где C' и C'' — среднее содержание компонента по сечениям S' и S'';
d' и d'' — средние объемные веса по этим сечениям.

2. Если угол между сечениями более 10°, то, по А. С. Золотареву,

$$V = \frac{\alpha}{\sin \alpha} \cdot \frac{H' + H''}{2} \left(\frac{S' + S''}{2} \right), \tag{101}$$

где α — угол между сечениями в радианах.

Приведенные формулы применимы при условии, что S' и S'' различаются не более чем в 4—6 раз, а значения $d' - d''$ и $C' - C''$ приблизительно одинаковы; в противном случае применяются более сложные формулы, которые можно найти в работе А. С. Золотарева (1936).

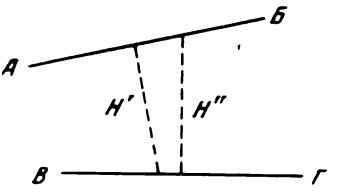


Рис. 123. Схема к подсчету запасов способом близкопараллельных сечений

Пример применения способа вертикальных сечений (Белорецкое месторождение)[1]. Район месторождения сложен осадочными отложениями ордовик-силурийского возраста и залегающими на них со стратиграфическим несогласием эффузивно-осадочными породами среднего девона. Породы собраны в складки, метаморфизованы и прорваны варисскими интрузиями калбинского цикла.

Рудноскарновая зона, имеющая форму пластообразной залежи, приурочена к одному из горизонтов мраморизованных известняков с прослоями роговиков среди среднедевонских эффузивно-осадочных отложений. Наибольшая концентрация магнетита в пределах зоны отмечается в ее лежачем и висячем боках, где выделяются два рудных тела, разделенных прослоем безрудных и слабооруденелых скарнов (рис. 124 и 125).

Рудные тела имеют форму уплощенных линз размером по простиранию 1360 и 1040 *м*, по падению 510 и 300 *м* и по мощности 20 и 22 *м*. Выклинивания рудных тел по падению не установлено.

Руды характеризуются средним содержанием железа валового 33,9%, серы 0,23%, кремнезёма 26,5%, глинозёма 2,75% и оснований 17,2%. Они удовлетворительно обогащаются на магнитных сепараторах (извлечение 81%) и хорошо агломерируются. Суммарные запасы руд — около 120 млн. *т*, в том числе категорий В и C_1 — 90 млн. *т*.

Разведка месторождения производилась в две стадии. В стадию предварительной разведки рудные тела были вскрыты с поверхности серией параллельных канав, пройденных в среднем через 40 *м*, и пересечены на глубине единичными скважинами. Детальная разведка месторождения осуществлялась путем построения вертикальных разрезов по данным колонковых скважин глубиной до 450 *м*. Расстояние между резрезами в среднем 200 *м*, между скважинами по падению рудного тела — от 40 до 240 *м*.

[1] Излагается по материалам геологов Алтайской экспедиции Е. Н. Коганова, Е. И. Володиной и др.

На месторождении проведена детальная магнитометрическая съемка масштаба 1 : 2000 (сеть 20×10 *м*). Рудные тела выделяются четкой аномалией интенсивностью до 10—20 тыс. гамм, хорошо увязывающейся с данными геологоразведочных работ.

Опробование рудных тел в канавах произведено бороздовым способом; сечение борозд $10 \times 3 \div 5$ *см*, длина секций около 2 *м*. Длина керновых проб принималась равной мощности рудных интервалов, но не более 3 *м*.

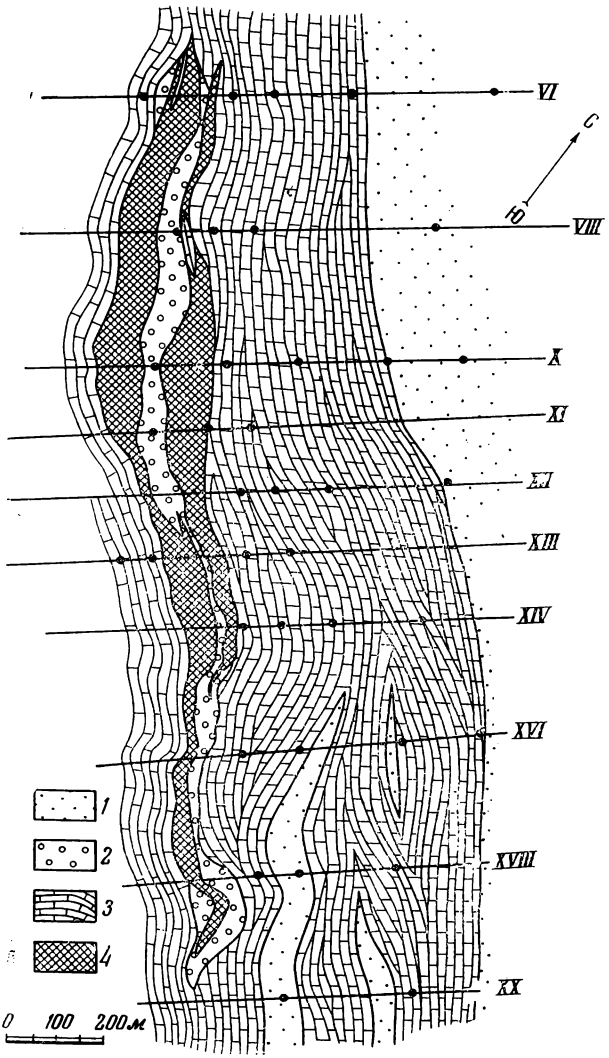


Рис. 124. Геологический план Белорецкого месторождения

1 — ороговикованные песчаники и роговики; *2* — скарны; *3* — мраморизованные известняки с прослоями роговиков; *4* — магнетитовые руды. Римскими цифрами обозначены номера разведочных разрезов

Подсчет запасов выполнен способом вертикальных параллельных сечений с опорой на один разрез, т.е. путем перемножения площади сечения на полусумму расстояний до двух смежных сечений.

Минимальное содержание железа при подсчете принято равным 25%. Отдельно подсчитаны и отнесены к забалансовым запасы руд с содержанием железа 20—25%. Некондиционные прослои, а также прослои вмещающих пород мощностью до 2 *м* включались в подсчет балансовых запасов, если среднее содержание по выработке с учетом этих прослоев удовлетворяло требованиям кондиций. Минимальная мощность промышленных руд принималась равной 2 *м*. Подсчет произведен на основании 1350 рядовых и 65 групповых химических анализов.

Измерение площадей по сечениям выполнено планиметром, двукратным обводом каждого контура; все измерения проконтролированы вторым исполнителем. Объемный вес определен на основании 506 измерений, по которым был составлен график зависимости объемного веса от содержания железа в руде. Среднее содержание железа по скважинам в пределах отдельных рудных пересечений определялось как среднее взвешенное по длине проб, а по сечению (раздельно для каждой категории)— как среднее-взвешенное по длине опробованных интервалов.

Оконтуривание блоков и категоризация запасов производились следующим образом. Запасы категории В выделялись только в жестком контуре разведочных выработок. Для категории C_1 допускались интерполяция контура рудного тела с выклиниванием его, как правило, на половине расстоя-

яния между разрезами и экстраполяция за пределы крайней скважины на 100 *м*. Возможность экстраполяции обоснована сохранением мощности рудных тел на глубине. К категории C_2 отнесены запасы блоков, примыкающих к блокам категории C_1 по падению; экстраполяция контуров запасов

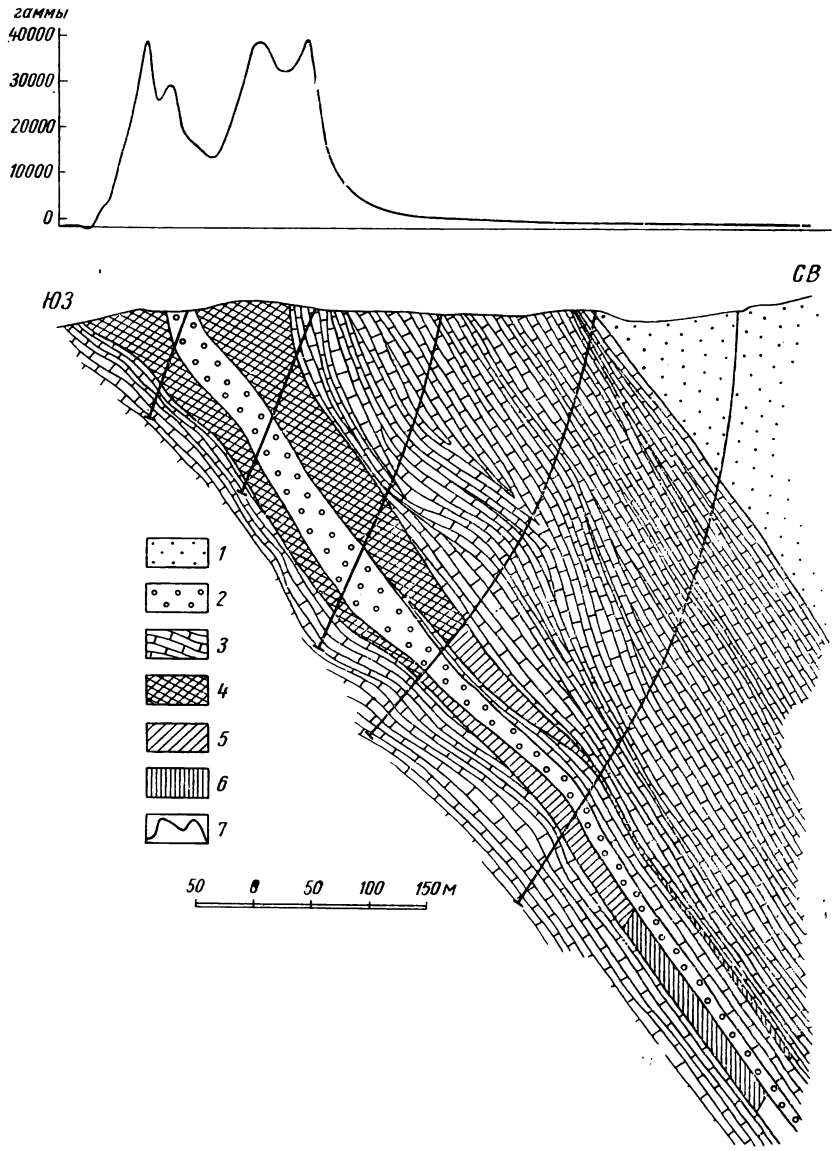


Рис. 125. Геологический разрез по линии *X* Белорецкого месторождения

1 — ороговикованные песчаники и роговики; *2* — скарны; *3* — мраморизованные известняки с прослоями роговиков; *4* — магнетитовые руды в сечениях блоков категории В; *5* — то же категории C_1; *6* — то же категории C_2; *7* — кривая магнитометрической съемки по линии разреза

категории C_2 по падению допускалась до 200 *м*. Среднее содержание железа в блоках категории C_2 принималось равным содержанию его в примыкающих блоках категории C_1, если оно не превышало среднего содержания по нижнему пересечению. В противном случае для блоков категории C_2 среднее содержание железа принималось равным среднему содержанию его по нижнему пересечению.

Выклинивание контуров балансовых и забалансовых запасов руд, а также линз пустых пород по падению и простиранию производилось в основном на половине расстояния между смежными выработками или разведочными разрезами. Кроме того, применялась отстройка контуров из расчета плавного выклинивания рудных тел и типов руд, причем для балансовых запасов минимальная истинная мощность принималась равной 2 *м*. При меньшей мощности запасы относились к забалансовым.

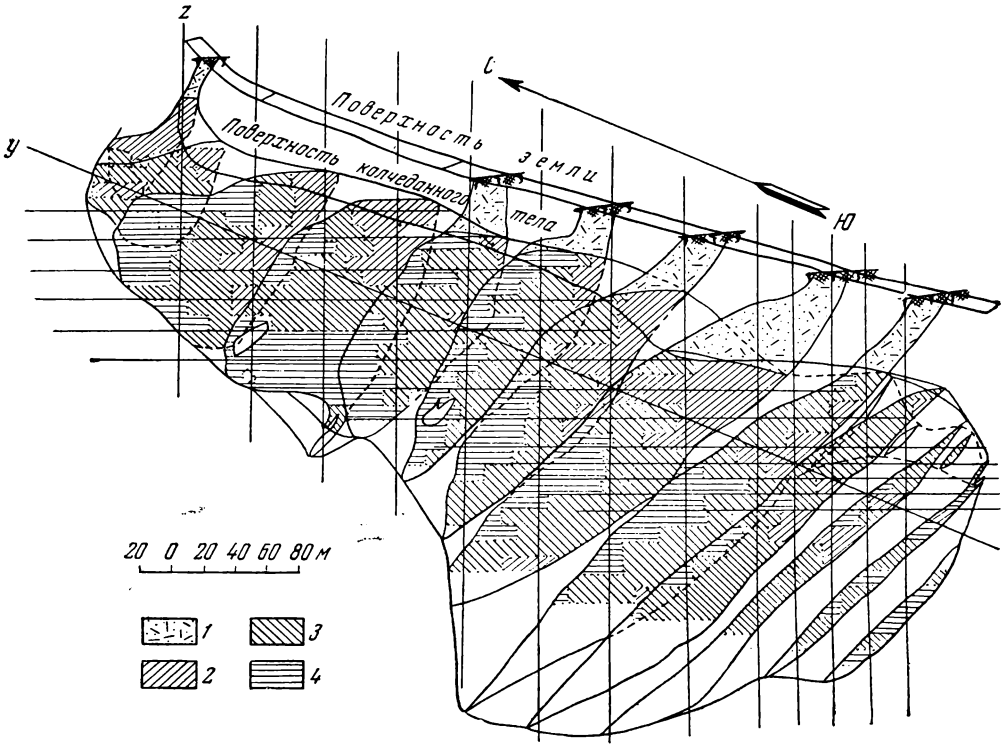


Рис. 126. Схема к подсчету запасов по месторождению медистого колчедана
1 — железная шляпа. Содержание меди (в %): *2* — больше 2,5; *3* — меньше 2,5; *4* — меньше 1,0

Примеры применения способа горизонтальных сечений. Этот способ рассмотрен ниже на примере месторождений медистых колчеданов и полиметаллов.

1. Медноколчеданное месторождение. Месторождение приурочено к покрову девонских эффузивов, протягивающемуся в меридиональном направлении, шириной 8—9 *км*. Западная часть покрова сложена спилитами и диабазами, примыкающими к рудным телам и сменяющимися на востоке кератофирами.

Залежи колчеданных руд связаны с зоной тектонических нарушений, протягивающейся в северо-северо-восточном направлении и характеризующейся присутствием полос брекчированных пород, падающих согласно с рудным телом. На рис. 126 рудное тело месторождения, имеющее форму линзы, изображено в аксонометрической косоугольной проекции. Проекция изометрическая, показатели искажения по всем трем координатным осям равны 1.

Рудное тело изображено в виде ряда параллельных разрезов, построенных по координатам. Расстояние между разрезами в центральной и северной частях линзы 50 *м*, в южной части 25 *м*. Угол между координатными осями *x* и *z* равен 90°, между осями *x* и *y* 150°.

Граница между рудами с различным содержанием меди несколько условна, так как проведена в соответствии с подсчетом запасов по горизонталь-

ным сечениям, графической основой которого служили планы 10-метровых горизонтальных слоев (между горизонтами 435—425 *м*, 425—415 *м* и т. д.) с изолиниями среднего содержания меди в пределах каждого слоя.

Разведочные работы заключались в проходке дудок, которыми прослежена железная шляпа с поверхности, и колонковых скважин глубиной от 50 до 366 *м*, пересекших рудное тело на различных горизонтах по вертикали (максимальная глубина пересечения 215 *м*). Скважины бурились вертикально и наклонно под углом 45—80°. Начальный диаметр скважин 145—115 *мм*, конечный 75—45 *мм*.

Буровые скважины расположены по линиям, проведенным в общем вкрест простирания рудного тела, но не строго параллельно. В некоторых случаях угол между сходящимися линиями достигает 15—20°. Расстояние между отдельными профилями колеблется от 30 до 60 *м*, между скважинами в различных профилях — от 20 до 100 *м*.Нижняя граница линзы определяется в северной части оконтуривающими скважинами, в южной части — намечающимся по разрезам выклиниванием рудного тела.

Запасы подсчитаны по методу горизонтальных параллельных сечений, на которых построены изолинии содержания меди. Горизонтальные сечения в масштабе 1 : 1000 построены через 10 *м*, начиная от горизонта 435 *м*. Объем руды в каждом слое вычислен по формуле трапеций. Верхняя граница распространения сульфидных руд принята по данным выработок.

На погоризонтные планы спроектированы точки пересечения рудного тела буровыми скважинами в 10-метровом слое выше каждого горизонта, за исключением горизонта +435 *м*, для которого учитывается 5-метровый слой. Наклонные скважины спроектированы по точкам, находящимся в серединах их отрезков в данном слое. По данным опробования скважин для интервалов, соответствующих каждому слою, вычислены средние содержания меди, по которым на погоризонтных планах проведены изолинии через 0,5 или 1% Cu. Среднее содержание меди по каждому горизонту определялось при помощи ромбической палетки с расстоянием между центрами элементарных площадок, равным 10 *мм*.

Распределение естественных сортов руд в пределах линзы нашло отражение и в подсчете запасов. Раздельно подсчитаны запасы маломедистых руд висячего бока и интенсивно обогащенных медью руд лежачего бока. Для части залежи, расположенной выше основной запроектированной эксплуатационной штольни (горизонт +375 *м*), выделение богатых руд произведено по блокам со средним содержанием меди выше 1%; для нижней части линзы границей, разделяющей оба сорта руд, служит изолиния содержания меди 1%. Запасы серы подсчитаны в тех же горизонтальных слоях.

Средняя площадь рудного тела в горизонтальном сечении, приходящаяся на одну скважину, для части залежи, расположенной выше горизонта +375 *м*, колеблется от 1360 до 1700 *м*^{2}, а между горизонтами +375 и +275 *м* — от 1800 до 3930 *м*^{2}. Горизонты +265 и +255 *м* имеют только по одному подсечению, ниже контуры рудного тела построены путем экстраполяции.

2. Полиметаллическое месторождение. Район месторождения слагают метаморфические роговообманково-эпидотовые и кварцево-слюдистые сланцы. Простирание сланцевой полосы СВ 50—60°, падение юго-западное под углом 60—90°. Толщу метаморфических пород прорывают граниты, среди которых различают: а) древние каледонские плагиограниты, б) более молодые аляскитовые граниты и в) небольшой шток гранофира, относящийся к типу малых интрузий варисского возраста.

Тектонические нарушения наблюдаются в виде разломов двух основных направлений: северо-восточного и меридионального. Первые, более древние, служили путями проникновения жильных интрузивных пород, вторые смещают жильные породы. Интрузия гранофиров контролируется одним из разломов северо-восточного направления, проходящим в роговообманково-эпидотовых сланцах.

Оруденение связано с гранофиром. Гидротермальные растворы окварцовывали, замещали гранофир и до некоторой степени вмещающие породы. Гранофировый шток неправильной формы вытянут в северо-восточном направлении. На верхних горизонтах оруденение охватывает не только гранофир, но и сланцевую толщу. Сланцы здесь сильно смяты и частично метасоматически замещены рудой. Глубже, на горизонте штольни № 2, залежь представлена исключительно оруденелым гранофиром, контакт которого с вмещающими породами в большинстве случаев неясный — в виде инъекции гранофира в сланцы, образующей сеть секущих прожилков.

Промышленное оруденение приурочено к юго-восточной части штока. Длина промышленных рудных тел на различных горизонтах колеблется от 40 до 70 *м*, ширина достигает 40—50 *м*. В состав руды входят галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, арсенопирит, магнетит, касситерит, пирротин, марказит, вюртцит, станнин, различные модификации кварца, флюорит и кальцит.

Руды встречаются сплошные и вкрапленные. В верхней части месторождения наблюдается повышенное содержание свинца и цинка, связанное в известной степени с наличием гнезд сплошных руд, иногда почти целиком состоящих из галенита и сфалерита. Намечается также обогащение северо-восточного и юго-западного флангов штока. В нижней части его развиты преимущественно равномерновкрапленные руды. Основную массу руд составляют первичные сульфидные руды.

Верхние горизонты месторождения вскрыты двумя штольнями (№ 1 и № 2), расположенными в 40 *м* одна над другой, с рассечками из них, пройденными, как правило, через 20 *м* по длине штольни и оконтуривающими площади промышленного оруденения. С горизонта штольни № 1 пробиты три восстающих, также с рассечками, подтвердившими наличие оруденения выше штольни на 10—15 *м*.

Для разведки нижней части месторождения применено колонковое бурение. Две скважины первого ряда пересекли рудное тело на горизонте 2480—2490 *м* (30—20 *м* ниже штольни № 2), две скважины второго ряда — на горизонте 2450 *м*. Наиболее глубокое пересечение (на горизонте 2400 *м*) произведено скважиной, вскрывшей рудное тело в северо-восточной маломощной его части.

Скважины диаметром (по рудной зоне) 85—55 *мм*, глубиной до 250 *м*, бурились наклонно, под углом 50—65° к горизонту. Искривления скважин замерены. Разность между начальным и конечным углами наклона достигает 18°.

Запасы подсчитаны по способу параллельных горизонтальных сечений (рис. 127). Объем блока между двумя горизонтами вычислен как произведение полусуммы оснований на расстояние между ними, а в тех случаях, когда площади различаются больше, чем вдвое,— по формуле усеченной пирамиды. Среднее содержание металлов по выработкам вычислено как среднее взвешенное по длине выработок, а по блокам — как среднее взвешенное по площадям промышленных руд на соответствующих горизонтах. Среднее содержание металлов по скважинам установлено как среднее взвешенное по интервалам проходки.

5. ПРОЧИЕ МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА

В единичных случаях в последние годы для подсчета запасов применялись методы: статистический, изогипс и ближайшего района; способы треугольников и изолиний уже не использовались, не говоря уже о нескольких приемах, которые или давно устарели, или никогда не имели практического применения.

При статистическом способе по данным разведки или эксплуатации подсчитывается выход полезного ископаемого с единицы площади, распространяемый обычно на всю минерализованную площадь. Таким пу-

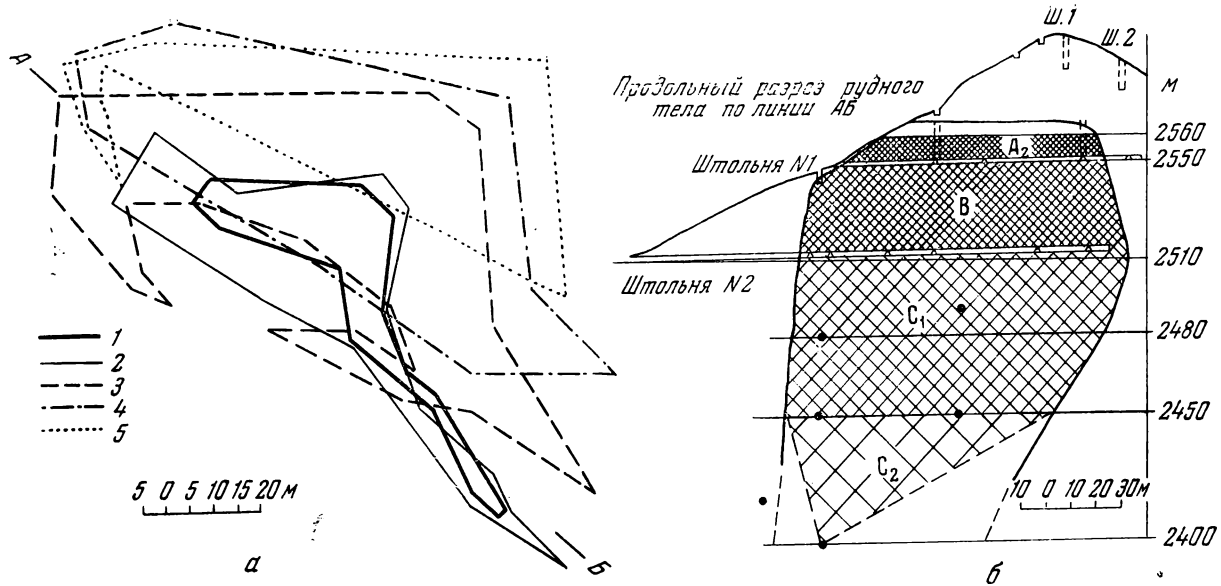


Рис. 127. Схема к подсчету запасов по полиметаллическому месторождению

а — совмещенный план контуров рудного тела на горизонтах от 2560 до 2450 *м*; *б* — схема категоризации запасов в проекции на вертикальную плоскость

1 — промышленный контур рудного тела на горизонте 2560 *м*; *2* — то же на горизонте 2550 *м*; *3* — то же на горизонте 2510 *м*; *4* — то же на горизонте 2480 *м*; *5* — то же на горизонте 2450 *м*

тем определяется запас полезного ископаемого на 1 *м* углубки, который экстраполируется на предполагаемую глубину минерализации. Этим способом были подсчитаны запасы пьезооптического кварца некоторых месторождений.

Метод изогипс, часто называемый методом В. И. Баумана, применяется для подсчета запасов выдержанных по мощности дислоцированных пластов каменного угля. Поверхность пласта изображается в плане в виде системы изогипс. Очевидно, объем участка, заключенного между двумя изогипсами, равен произведению его площади на мощность, которая определяется по разведочным (или эксплуатационным) выработкам как среднее арифметическое. Общие запасы вычисляются умножением суммы объемов таких участков на объемный вес угля.

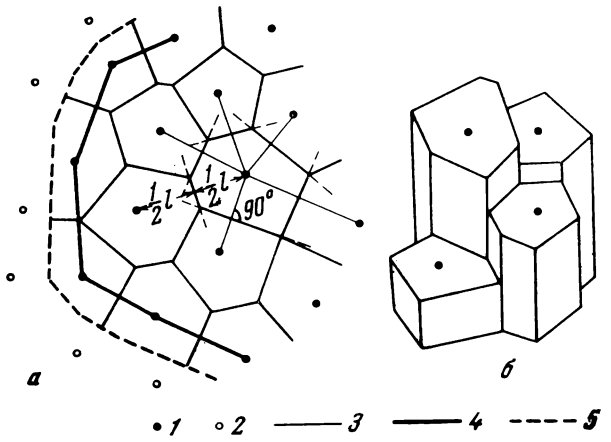


Рис. 128. Подсчет запасов по способу ближайшего района

а — часть подсчетного плана с указанием способа построения многоугольника на примере одной выработки: *1*—выработки, вскрывшие полезное ископаемое; *2*— безрудные выработки; *3* — контуры подсчетных многоугольников; *4* — внутренний контур подсчета; *5* — внешний контур подсчета

б — разбивка рудного тела на сомкнутые призмы в аксонометрической проекции

Метод ближайшего района, часто именуемый методом А. К. Болдырева, несмотря на свою простоту, имеет много недостатков и поэтому весьма редко используется для подсчета запасов рудных и нерудных месторождений.

По этому способу месторождение разбивается на ряд многогранных призм, соответствующих числу выработок, с таким расчетом, чтобы к каждой из последних отошел ближайший, тяготеющий к ней участок. Мощность, объемный вес и содержание компонентов для всей призмы принимаются по данным этой выработки. Высотой каждой призмы является мощность рудного тела в выработке, а основанием — построенный многоугольник (см. рис. 128).

Разбивка тела на многогранники производится только в пределах контуров, установленных разведкой. Границы сортов, линии нулевого контура и контуры промышленной руды не могут быть определены построением многоугольников и должны быть проведены по данным разведки.

Для построения многоугольников каждую выработку соединяют прямыми линиями со всеми ближайшими выработками и из середины соединительных линий восстанавливают перпендикуляры до взаимного пересечения (рис. 128). В результате получается многоугольник, любая точка внутри которого ближе к данной разведочной выработке, чем ко всем другим.

Запасы подсчитывают по каждой призме, а общие запасы разведуемого месторождения определяют как сумму запасов всех призм.

Метод треугольников является сугубо формальным и к тому же весьма трудоемким. При подсчете запасов этим способом проекцию контура рудного тела в плане с нанесенными выработками разбивают на треугольники путем соединения выработок прямыми линиями. В пространстве получается серия треугольных призм, усеченных непараллельно основанию. Ребрами этих призм служат разведочные выработки. Общий запас руды и металла определяется суммированием запасов всех призм.

Изолинии (мощности, содержания и т. д.) очень широко используются в геологоразведочном деле как весьма ценный метод изображения,

нередко позволяющий заранее предвидеть некоторые геологические явления. Но для подсчета запасов метод изолиний практически не используется главным образом вследствие его трудоемкости, особенно в применении к многокомпонентным месторождениям. Метод практически непригоден для подсчета запасов по данным предварительной разведки (редкая сеть — мало данных), а также для тектонически нарушенных месторождений или месторождений, весьма выдержанных по мощности и содержанию полезных компонентов.

Способы построения изолиний общеизвестны и объяснения не требуют. Формулы подсчета запасов с помощью изолиний так же широко известны, как и объемная палетка П. К. Соболевского, применяемая для разнообразных целей.

6. О ТОЧНОСТИ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Расхождение между действительными и подсчитанными запасами полезного ископаемого в недрах обусловливается, с одной стороны, степенью изученности месторождения, с другой — погрешностями, неизбежными при выполнении разведочных работ.

Погрешности подразделяются на две группы:

1) неизбежные технические погрешности (погрешности, связанные с ошибочными данными и приемами, здесь не рассматриваются, так как при правильной методике геологоразведочных работ их не должно быть; по существу весь настоящий курс имеет целью помочь избежать таких погрешностей);

2) так называемые погрешности аналогий.

Следует отметить, что расхождение между действительными и подсчитанными запасами нередко может быть весьма значительным. В связи с этим принято для упрощения вычислений при подсчете запасов, в том числе высоких категорий, все цифры чисел после трех первых заменять нулями. Допускаемая при этом погрешность (0,1—1 %) практически не влияет на точность подсчета запасов.

Технические погрешности

Технические погрешности могут быть: а) случайные и б) систематические.

Как уже указывалось, случайные погрешности вызываются отклонениями единичных определений тех или иных величин от действительного значения этих величин. При большом количестве измерений они взаимно компенсируются, потому что вероятность отклонения от действительной величины в ту и другую сторону одинакова. Поэтому практически эти погрешности не оказывают существенного влияния на точность определения запасов.

Систематические погрешности обычно связаны с неустранимыми недостатками метода или технического приема. Учет их возможен путем контроля наблюдений другим методом (например, при бурении — проходкой сопряженных горных выработок с целью определения поправочного коэффициента к данным скважин).

Систематические погрешности, как уже отмечалось, обладают способностью постоянно преувеличивать или постоянно преуменьшать действительные размеры наблюдаемых величин. В этом заключается их чрезвычайная опасность. Поэтому, если имеются подозрения на наличие систематических погрешностей, величина которых не установлена контрольными методами, категория запасов снижается, а иногда подсчет даже полностью бракуется.

Погрешность замера расстояний и площадей на чертежах обусловливается погрешностью самого графического

материала, т. е. зависит от точности нанесения на планы и разрезы положенных в основу данных, и является случайной. Ощутимой, систематической погрешностью можно считать погрешность от сокращения или удлинения чертежной бумаги или репродукции.

Кроме того, погрешность замера обусловливается погрешностью процесса измерения и в этой части обычно случайна. Она может колебаться при более или менее крупных масштабах графических материалов от десятых долей процента до 10% для единичного измерения. Так, например, при измерении линии длиной 100 *м* на плане масштаба 1 : 1000 с точностью до 1 *мм* погрешность измерения будет не более $\pm 1\%$; при измерении линии той же длины на плане масштаба 1 : 10 000 погрешность будет достигать $\pm 10\%$. При измерении площадей погрешность единичного определения обычно не превышает $\pm 5\%$ и является, как правило, случайной.

Таким образом, технические погрешности, если они случайные, при правильной работе не будут достигать опасных размеров, так как даже единичные определения редко имеют погрешность, превышающую $\pm 10\%$. Массовые определения, на которых базируется подсчет запасов, будут иметь погрешность во много раз меньшую. Значительно более опасные систематические погрешности при внимательном отношении к делу обычно могут быть вскрыты, проверены и устранены.

Погрешность замера мощностей при горных работах обычно является случайной; она может иметь и положительный и отрицательный знак. Величина погрешности при непосредственном измерении мощности в обнажении или в выработке незначительна и редко выходит за пределы $\pm 10\%$. Точность замера рулеткой составляет 0,01 *м*. Для тел с мощностью, например, от 0,05 до 0,5 *м* погрешность единичного измерения может составить $\pm 20\%$ в первом и $\pm 2\%$ во втором случае. Но так как эта погрешность является случайной, средняя мощность тела на некотором интервале будет определена со значительно меньшей погрешностью

Иная картина создается при бурении, где погрешность часто бывает систематической. При неблагоприятных условиях погрешности замера мощностей по скважинам колонкового бурения выходят за пределы 30—40%, на угольных месторождениях погрешности иногда превышали 50%, а на рудных месторождениях зарегистрировано много случаев полного пропуска сравнительно тонких жил. (С применением каротажа скважин погрешность замера мощностей снижается до 0,05 *м*. При этом погрешность переходит в случайную и при большом количестве замеров сводится к очень небольшой величине.)

Систематические погрешности определения мощностей (и расстояний) могут быть связаны также с искривлением скважин.

Погрешность опробования. Оговоримся, что речь здесь идет только о погрешности отдельных проб. Вопрос о распространении этих погрешностей на то или иное расстояние, равно как и о погрешности распространения данных измерения мощностей, будет рассмотрен ниже, так как все это — погрешности аналогии.

1. Погрешности отбора проб. Кроме обычных, практически несущественных случайных погрешностей, иногда отбор проб сопровождается систематической погрешностью, приводящей к разубоживанию или обогащению проб. Например, при наличии в руде участков, имеющих различную твердость, обычно в пробу попадает непропорционально большое количество мягкого материала за счет недобора твердого. Так, при опробовании золоторудных месторождений, когда золото тяготеет к ослабленным (трещиноватым)участкам, связанная с этим обстоятельством систематическая погрешность достигает 20—30% (в сторону завышения).

2. Погрешность обработки проб является, как правило, случайной. Она зависит от принятой схемы и технических приемов обработки. Вполне приемлемой схемой будет та, в основу которой положена точность, равная точности нормальной работы химической лаборатории.

3. Погрешность работы химической лаборатории слагается из двух погрешностей: погрешности взятия от пробы химической навески и погрешности метода анализа. Первая погрешность чаще всего случайная; величина ее, как правило, очень незначительна. В отдельных случаях она, как наблюдалось при опытах с медноколчеданными рудами, равна половине общей погрешности нормальной работы химической лаборатории. Вторая погрешность обычно случайная, но нередко бывает и систематической и в этом случае чрезвычайно опасна, в особенности на убогих месторождениях.

Случайная погрешность единичного анализа в зависимости от характера полезного ископаемого и процентного содержания компонента колеблется в весьма широких пределах (см. раздел «Опробование»).

4. Погрешность определения объемного веса и влажности в зависимости от метода определения обычно колеблется от 2 до 5%, но иногда достигает и больших размеров. Она может быть и систематической, и случайной.

Погрешности аналогий

Погрешность интерполяции обусловлена тем, что при всякой интерполяции данных между точками наблюдений допускается, что форма и свойства тела изменяются по определенному закону. Чаще всего принимается, что изменение происходит равномерно и непрерывно и математически может быть выражено уравнением прямой. Эти допущения, как правило, только приближаются к истине, но мы вынуждены ограничиваться ими, так как фактические изменения формы и свойств тела в промежутках между точками наблюдений почти всегда неизвестны.

Погрешность интерполяции подвержена довольно резким колебаниям, и величина ее зависит от характера месторождения, а также от густоты и равномерности разведочной и опробовательской сети. Под характером месторождения в данном случае подразумевается характер изменчивости мощностей и содержания полезных и вредных компонентов в различных направлениях. Для определения погрешности интерполяции могут быть использованы два способа: 1) контроль фактической выемкой полезного ископаемого из подсчитанного участка и 2) математический анализ данных методами вариационной статистики.

При правильной организации работ первый способ нередко позволяет определить погрешность интерполяции со значительной степенью точности — не только для группы блоков, но и для отдельных блоков.

Второй способ состоит в определении средних погрешностей определения мощностей и содержаний для подсчитываемых блоков. Определение этих погрешностей может в соответствующих условиях дать некоторое указание на возможное расхождение между действительными средними значениями мощности и содержания и средними величинами, принимаемыми в подсчете. Однако более или менее точное определение погрешности интерполяции методами вариационной статистики для всего многообразия типов месторождений полезных ископаемых в настоящее время невозможно, так как вопрос этот требует специальной разработки.

Погрешность интерполяции является погрешностью распространения средних значений мощности, объемного веса и содержания, установленных по выработкам, на оконтуренный ими блок.

Данные по ряду жильных месторождений показывают, что при подсчете запасов блока нормальных размеров, оконтуренного с двух (а тем более с трех-четырех) сторон горными выработками, в случае, если тело не выходит за пределы сечения выработок, погрешность определения средней мощности по выработкам обычно не превышает $\pm 15\%$, а на выдержанных по мощности месторождениях часто снижается до первых единиц процентов. В мощных телах с изменчивой на коротких расстояниях мощностью, когда среднее значение последней определяется по немногим ортам, средняя погрешность иногда может достигать $\pm 25\%$.

Переходя к вопросу о погрешности определения среднего содержания компонентов, отметим, что колебания содержания обычно гораздо значительнее колебаний мощности. Поэтому погрешность определения среднего содержания по выработкам может достигать больших величин, а при недостаточной густоте сети проб данные вообще могут оказаться непригодными.

На простых месторождениях погрешность распространения средних значений мощности и содержания, вычисленных по отдельным выработкам, на оконтуриваемый ими блок будет небольшой, практически несущественной. На сложных месторождениях, отличающихся непостоянством мощностей и содержаний, с большим коэффициентом вариации, указанная ошибка может быть весьма значительной.

В совокупности те и другие погрешности интерполяции приводят к расхождениям между подсчитанными запасами и действительными. При этом, естественно, по отдельным блокам расхождения будут достигать значительной величины и иметь положительный и отрицательный знаки, а по всему месторождению или большой группе блоков они будут в некоторой мере взаимно уравновешиваться и составлять значительно меньшую величину.

Погрешность экстраполяции, вообще говоря, трудно представить в цифровом выражении. Она может быть очень значительной.

Укажем на главнейшие проблемы, связанные с подсчетом запасов и требующие разрешения на основе специальных исследований.

Закономерности изменений форм и свойств месторождений. Группировка месторождений по промышленным типам (см. раздел первый) является началом исследований в этой области. В дальнейшем предстоит не только уточнить описательную характеристику закономерностей изменения форм и свойств залежей полезных ископаемых, но и по возможности найти численное выражение этих закономерностей.

К этой проблеме примыкает конкретная задача — разработка методов учета при подсчете запасов металлов так называемых исключительных проб.

С каждым годом промышленность все настоятельнее требует определения достоверности подсчитанных в недрах запасов в численном выражении. Решение этой проблемы не только уточнит классификацию запасов, но и внесет ясность в степень риска промышленного использования разведанных запасов.

Классификация запасов месторождений полезных ископаемых имеет большое народнохозяйственное значение. Она является организующим и направляющим началом разведки недр. По мере роста производительных сил страны требования к классификации запасов меняются. Эта проблема должна быть постоянным объектом систематических исследований.

Комплексность подсчета запасов. Выше уже неоднократно отмечалось, что на современном уровне развития техники извлечение разнообразных сопутствующих полезных компонентов при добыче и переработке основного добываемого сырья представляет важную народнохозяйственную проблему. Описанный выше пример успешной переработки мансфельдских сланцев в Германской Демократической Республике показывает, что ценность сопутствующих компонентов в ряде случаев может превышать ценность основного полезного ископаемого. Поэтому разведка, опробование и подсчет запасов должны всегда вестись комплексно с целью определения запасов всех содержащихся в полезном ископаемом компонентов.

Контроль подсчета запасов по данным эксплуатации. Во всех случаях, когда подсчет запасов производится по эксплуатируемому месторождению, требуется представление всех сведений о добыче полезного ископаемого, потерях и размерах разубоживания с анализом

точности подсчитанных геологических запасов в контурах произведенных эксплуатационных работ.

Экономические данные. В настоящее время введено правило об обязательном представлении в ГКЗ полных сведений об объемах и стоимости выполненных детальных геологосъемочных, поисковых и разведочных работ на территории месторождения с определением стоимости разведки единицы запасов основного ценного компонента и стоимости перевода запасов в более высокие категории. Накопление этих важных данных уже в ближайшее время даст в руки геологов-разведчиков достаточно объективный критерий для оценки экономичности и, следовательно, методической правильности проведенных разведочных работ.

ГЛАВА III

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ[1]

1. ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ЭКСПЕРТИЗАХ

Во втором и третьем разделах книги кратко описаны упрощенные подходы к оценке месторождений и указаны экономические параметры, необходимые для надежного сравнения месторождений и выдвижения их для детальной разведки или проектирования горных предприятий.

Предполагается, что эксперт для проверки и систематизации сведений о месторождении, кроме основного, последнего отчета, изучает фондовые материалы, материалы проектирующих и эксплуатирующих организаций и с особым вниманием относится к промышленным условиям (кондициям) и их расчету. Вопрос о кондициях будет рассмотрен ниже, а сейчас перейдем к анализу достоверности основных сведений о месторождении.

При оценке месторождений необходимо углубленно проанализировать достоверность данных по четырем главным группам вопросов: 1) геологическим, 2) горнотехническим, 3) технологическим и 4) экономическим.

Естественно, что главная задача геолога-эксперта заключается в анализе достоверности подсчитанных запасов руд и металлов. Для этой цели прежде всего необходимо проверить правильность расчета и применения промышленных условий (кондиций), обычно вычисляемых для разведки методом вариантов. С этим вопросом неразрывно связан и вопрос о перспективах месторождения на флангах и на глубине, определяющих обоснованность подсчета предполагаемых запасов. Сугубого внимания требует внутреннее строение рудного тела, особенно изменчивость форм и качества рудных тел и непрерывность их в контуре подсчета, а также увязка этих данных с количеством и типом разведочных работ.

При экспертизе запасов проверяются достоверность химических и прочих анализов, вычисленных корреляционных зависимостей, графоаналитических расчетов, а также технические погрешности разведки: погрешности замера мощностей, опробования и т. д. Анализ достоверности запасов завершается предложением наиболее достоверных цифр.

Желательно цифры запасов как руды, так и металлов выражать в виде пределов — минимального и максимального. Очевидно, что чем меньше будет разность между пределами, тем выше следует оценивать достоверность подсчитанных запасов и к тем более высоким категориям можно эти запасы относить.

Содержание различных этапов оценки уже упоминалось выше. К важнейшим моментам ее относятся: 1) выяснение технической (горнотехнической и технологической) возможности использования месторождения в промышленных целях; 2) определение промышленной ценности руды; 3) уста-

[1] Глава написана по материалам, подготовленным В. В. Померанцевым.

новление профиля предприятия и темпов его развития (состав предприятия, промышленная продукция, годовая производительность основных цехов, темпы развития и последовательность освоения бедных руд); 4) определение объемов промышленной продукции и ее видов; 5) определение капитальных затрат и себестоимости и анализ эффективности капитальных затрат (главным образом — путем сравнения с аналогичными предприятиями). В этой работе наряду с геологами большое участие принимают горные инженеры, технологи и особенно горные экономисты.

В результате всего цикла работ должно быть установлено народнохозяйственное значение месторождения, в чем по существу и заключается итоговая оценка. Перед этим экспертизой устанавливаются наиболее достоверные размеры запасов, рекомендуется профиль предприятия с главнейшими технико-экономическими показателями. После этого устанавливается роль предприятия в экономике района и в балансе металлов страны. Наконец, высказываются предложения о порядке и формах дальнейшего освоения месторождения.

В качестве иллюстрации изложенного заимствуем из работы В. В. Померанцева (1957_2) анализ месторождения с прожилково-вкрапленным типом медных руд.

Прежде всего для этого типа руд легко может быть изучено $\bar{n}=\Phi$ (З), т. е. среднее содержание металла ($\bar{n}$) как функция переменных запасов (З). Для решения этой задачи нужно вычислить запасы при различных минимумах процентного содержания металла в рудах, например для меди в такой последовательности: 0,2; 0,4; 0,8; 1,0; 1,2% и т. д. Эти минимумы можно называть бортовыми содержаниями первого приближения ($n_б$).

Таким образом получится последовательный ряд значений $n_б$, вычисленных величин З и соответствующих им значений $\bar{n}$:

$$n_{б_1},\ n_{б_2},\ n_{б_3},\ \ldots,\ n_{б_n}$$
$$З_1,\ З_2,\ З_3,\ \ldots,\ З_n$$
$$\bar{n}_1,\ \bar{n}_2,\ \bar{n}_3,\ \ldots,\ \bar{n}_n$$

По этим данным легко построить кривую зависимости среднего содержания $\bar{n}$ от запасов З. Такие кривые (рис. 129), построенные для двух месторождений, отражают степень интенсивности оруденения. Пологая кривая свидетельствует о большей устойчивости оруденения, т. е. о более благоприятном типе руд. В дальнейшем эти кривые облегчают решение многих вопросов оценки месторождения.

Так, если требуется установить зависимость переменной промышленной ценности руд (Ц$_р$) от переменных запасов (З), можно воспользоваться формулой

$$Ц_р = \frac{1-у}{100}\sum_1^k Ц_{м_i}\bar{n}_i\bar{И}_i, \qquad (102)$$

где Ц$_м$ — плановая цена 1 m металла в конечном промышленном продукте в руб.;

$\bar{n}$ — среднее содержание металла в руде в %;

$\bar{И}$ — суммарный коэффициент извлечения;

у — коэффициент разубоживания.

Переменные величины средних процентных содержаний металла ($\bar{n}_i$) находят по графику функции (см. рис. 129), задаваясь значениями запасов. Коэффициенты извлечения металла в концентрат ($\bar{И}_i$) обычно зависят от среднего содержания компонента в руде; характер этой зависимости определяют опытным путем (или принимают по аналогии). Наконец, переменные значения коэффициента разубоживания (у), для маломощных тел зави-

сящие от мощности и устойчивости руд и пород, также находят опытным путем или берут по аналогии. Обычно его значение колеблется в пределах 0,1—0,3.

Результаты расчета переменных значений промышленной ценности руды в зависимости от переменных запасов изображают в форме кривой (рис. 130).

Годовой доход предприятия (П) равен

$$П = (Ц_р - С)\,A, \qquad (103)$$

где С — себестоимость добычи и переработки 1 m руды;
A — годовая производительность по руде.

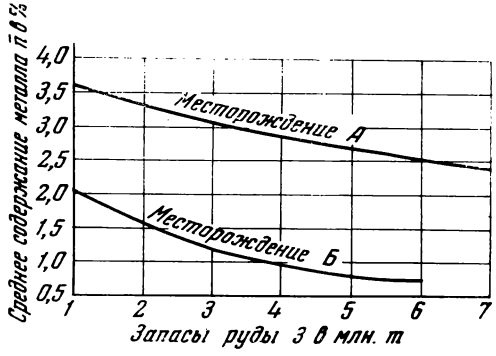


Рис. 129. Зависимость среднего содержания металла от переменных запасов вкрапленных руд двух месторождений (по В. В. Померанцеву)

С помощью кривой (рис. 131) через уравнение годовой производительности, определяемой величиной запасов, можно рассчитать кривую зависимости себестоимости от переменных запасов (рис. 132).

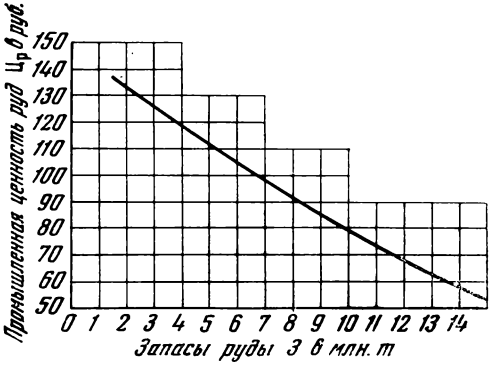


Рис. 130. Зависимость промышленной ценности руды от переменных запасов (по В. В. Померанцеву)

Имея данные о переменных $Ц_р = Ф(З)$ и $С = Ф(З)$, легко построить кривую зависимости дохода от переменных запасов руды (рис. 133). Для установления предела рентабельных запасов нужно найти зависимость между переменными запасами месторождения и переменными кондиционными минимальными средними содержаниями, т. е. $\bar{n}_{мин} = Ф(З)$. Для этого в формулу

$$\bar{n}_{мин} = \frac{С}{Ц_м И\,(1 - у)} \cdot 100\%, \qquad (104)$$

где С — минимальная стоимость добычи и переработки 1 m руды;
$Ц_м$ — плановая цена металла в промышленном продукте;
И — коэффициент извлечения металла при переработке;
у — коэффициент разубоживания,

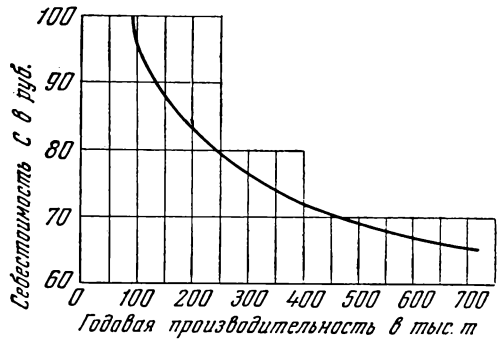


Рис. 131. Зависимость себестоимости добычи и переработки руды от годовой производительности рудника (по В. В. Померанцеву)

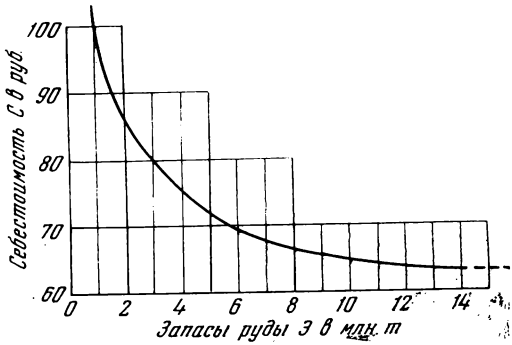


Рис. 132. Зависимость себестоимости добычи и переработки руды от переменных запасов (по В. В. Померанцеву)

подставляем значения С для различных запасов. Получаем ряд:

$$C_1, \quad C_2, \quad C_3, \ \ldots, \quad C_n$$
$$\bar{n}_{мин_1}, \ \bar{n}_{мин_2}, \ \bar{n}_{мин_3}, \ \ldots, \ \bar{n}_{мин_n}$$
$$З_1, \quad З_2, \quad З_3, \ \ldots, \quad З_n$$

Графическое изображение этого ряда и сравнение его с найденной функцией $\bar{n}=Ф$ (З) дает возможность построить кривую (рис. 134), выражающую зависимость средних и средних минимальных содержаний от переменных запасов. На рассматриваемом месторождении фактические средние превышают минимальные и только при запасах, равных приблизительно 12 млн. m, наступает предел рентабельности.

Рентабельность — важный, но не главный оценочный показатель; для народного хозяйства важнее металл, а не доход. В связи с этим возникает необходимость в нахождении зависимости годового выхода металла (Т) от переменных запасов: Т=Ф(З).

На основании всего изложенного можно написать

$$T_i = \frac{A_i \bar{n}_i И_i (1 - у_i)}{100}. \qquad (105)$$

Для исследуемого месторождения результаты вычислений по этой формуле изображены на рис. 135. Максимальный годовой выход металла соответствует запасам, равным примерно 11 млн. *т* руды с содержанием 1,8% меди. Наконец, совмещение кривых (рис. 135 и 133) дает два макси-

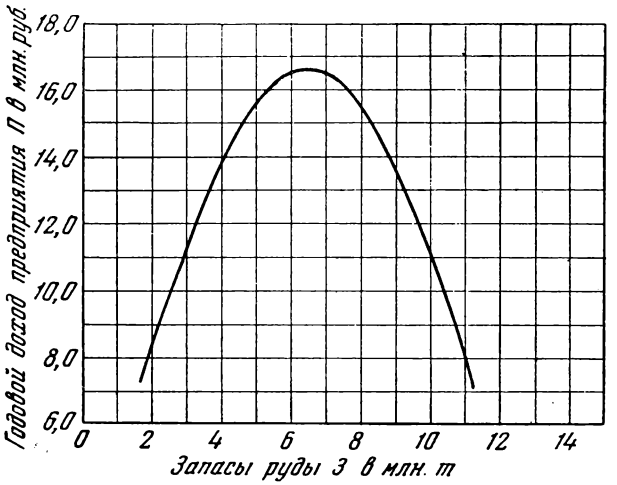


Рис. 133. Зависимость дохода от переменных запасов руды (по В. В. Померанцеву)

мума: один в районе запасов 6,5 млн. *т*, отвечающий максимальной рентабельности, и второй, соответствующий максимальному выходу промышленного продукта. Эти кривые объединены на рис. 136, и здесь же показана

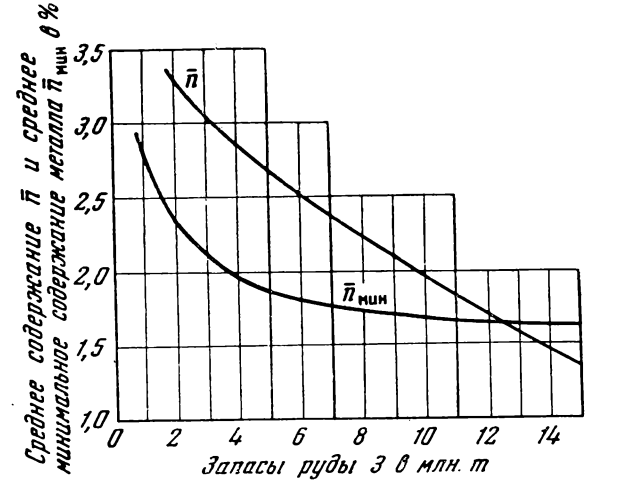


Рис. 134. Зависимость средних и средних минимальных содержаний металла от переменных запасов (по В. В. Померанцеву)

результативная кривая, по которой определяется оптимум двух результатов — для запасов 8,5 млн. *т* руды. Этому оптимуму отвечают: среднее содержание меди в руде 2,3%; годовая производительность рудника 660 тыс. *т* руды; выход металла 12,3 тыс. *т*; годовой доход 14,8 млн. руб.

Применимость оценочных формул В. В. Померанцева подтверждается данными спроектированных и эксплуатируемых месторождений. Использование их помогает решению вопросов наиболее рационального использования месторождения в соответствии с планом развития народного хозяйства.

Оценка месторождений с постоянными запасами руд (выдержанным средним содержанием) значительно легче и проще по сравнению с приведенным примером.

В работе В. В. Померанцева учтены комплексные руды. При новых требованиях к редким и рассеянным элементам почти каждая руда пред-

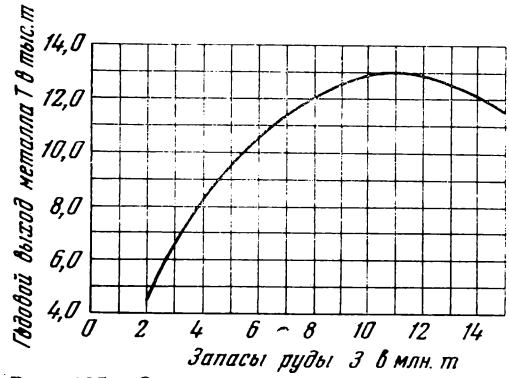


Рис. 135. Зависимость годового выхода металла от переменных запасов (по В. В. Померанцеву)

ставляет собой комплекс элементов, подчас с неустановившимися потребностями и стоимостью.

Исходной величиной для оценки месторождений является цена металлов, опубликованная на данный год (или период). Но, как подчеркивает С. А. Первушин, наряду с ценой полезного ископаемого во всех случаях нужно

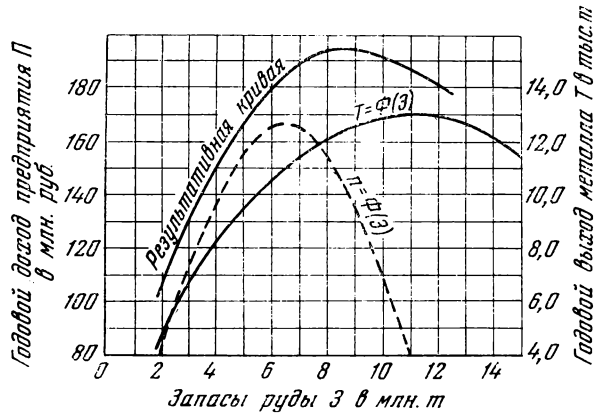


Рис. 136. Определение оптимальной величины запасов по кривым П = Ф (З) и Т = Ф(З) (по В. В. По меранцеву)

учигывать баланс данного сырья в СССР и районный план добычи этого сырья. Вполне понятно, что при оценке месторождений остродефицитного сырья нужно считаться не только с ценой металла, но и с государственной потребностью в нем.

Необходимость учета районного плана видна из такого простого примера: при оценке месторождений нефелиновых сиенитов приходится учитывать, что из них получают не только глинозем, но и содопродукты, и цемент; если с этим не считаться, то можно ожидать перепроизводства в районном масштабе некоторых слаботранспортабельных продуктов.

Из всего этого вытекает, что геолог-разведчик может только представить материал для оценки месторождений или сводные оценочные соображения, но окончательное слово всегда принадлежит Совнархозу или Госплану.

2. ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ, УГОЛЬНЫХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотренные в книге В. В. Померанцева (1957_2) основные положения оценки месторождений цветных металлов применимы и к прочим полезным ископаемым. При оценке любых видов минерального сырья необходимо в геологической части устанавливать достоверность сведений о месторождении и прежде всего достоверность разведочных запасов. Горнотехническая и технологическая части оценки сводятся к определению степени добываемости полезного ископаемого, а также степени его технической пригодности для промышленного использования. Экономическая часть оценки заключается в установлении эффективности разработки месторождения.

Остаются общими для всех полезных ископаемых и измерители ценности (параметры) месторождений: размер запасов, предполагаемая производительность горнопромышленного предприятия, технологические показатели, себестоимость, капитальные вложения, их эффективность и рентабельность разработки месторождения. Но, очевидно, значения и методика получения этих показателей будут различными в зависимости от особенностей оцениваемого полезного ископаемого.

Железорудные месторождения. Если для рудных месторождений цветных металлов минимальное среднее содержание можно определять по минимальной себестоимости добычи и обогащения руды и стоимости металла в концентрате или в конечном продукте, то для железных руд, требующих обогащения, должна учитываться себестоимость агломерационного передела и отпускная цена агломерата.

Н. Г. Тюренков предлагает вычислять минимальное среднее содержание железа (α) в магнетитовых рудах по эмпирической формуле

$$\alpha \geqslant \frac{66{,}7\,(C_д + C_о)}{Ц_а - C_а}, \qquad (106)$$

где $C_д$ — себестоимость добычи 1 *т* руды;
$C_о$ — себестоимость обогащения 1 *т* руды;
$Ц_а$ — отпускная цена 1 *т* агломерата;
$C_а$ — себестоимость агломерационного передела.

При оценке железорудных месторождений следует прежде всего учитывать основные свойства, определяющие технологию переработки руд. Магнетитовые и гематитовые руды не требуют обогащения при содержании железа не менее 50%, а сидеритовые — при содержании 25—35%. Это различие объясняется самоплавкостью последних. Самоплавкость руд возникает при отношении суммы содержаний окиси кальция и магния к сумме содержаний кремнекислоты и глинозема, близком к единице. Поэтому при оценке железных руд необходимо обращать особое внимание на содержание и состав нерудных шлакообразующих компонентов.

Руды, не требующие обогащения, обычно перерабатываются в доменном или мартеновском процессах. Для доменных руд минимальное содержание железа колеблется в пределах 25—50%, а для мартеновских нижний предел содержания устанавливается в 52%.

Успешное развитие технологии обогащения позволяет вовлекать в производство бедные руды. Обогащение железных руд не только повышает содержание железа в концентратах, но и дает возможность раздельно извлекать полезные компоненты из комплексных руд. Минимальное содержание железа в обогащаемых рудах колеблется в пределах 16—46%. Полезные и вредные примеси, встречаемые в железных рудах, указывались в начале книги.

Наряду со специфическими особенностями оценки железорудных месторождений по сравнению с оценкой месторождений руд цветных металлов существует и ряд общих методических решений.

Так, годовая производительность тех и других рудников может определяться по одним и тем же формулам и графикам. При ориентировочных оценках железорудных месторождений годовую производительность будущего рудника по руде ($A_р$) при подземном способе добычи можно определять по формуле В. В. Померанцева:

$$A_р = k\sqrt{З}, \tag{107}$$

где k — коэффициент, зависящий от величины запасов руды (З):

При	$З < 1$ млн. $т$	$k = 100$
»	$З = 1-5$ » »	$k = 150$
»	$З = 5-10$ » »	$k = 200$
»	$З = 10-40$ » »	$k = 250-300$

Для открытых горных работ годовая производительность по горной массе ($A_{г.м}$) определяется формулой

$$A_{г.м} = 42П - 1 \cdot 10^{-5}П^2 \text{ тонн}, \tag{108}$$

где П — средняя горизонтальная площадь карьера в $м^2$.

Себестоимость добычи 1 $т$ руды или горной массы (С) может быть определена так же, как и для месторождений цветных металлов, по формулам вида

$$С = а + \frac{б}{A}, \tag{109}$$

где а и б — эмпирические коэффициенты.

Так, по В. В. Померанцеву, цеховая себестоимость добычи открытым способом 1 $т$ горной массы для железорудных карьеров с годовой производительностью до 1 млн. $т$ равна

$$С_I = 7 + \frac{0{,}8 \cdot 10^6}{A_{г.м}},$$

а для карьеров с годовой производительностью от 1 до 40 млн. $т$

$$С_{II} = 2{,}5 + \frac{5 \cdot 10^6}{A_{г.м}}.$$

Угольные месторождения. Оценка месторождений угля прежде всего должна учитывать требования промышленности, относящиеся, с одной стороны, к геолого-горнотехническим условиям залегания угольных пластов, а с другой — к качеству угля. Первые условия определяют способы и целесообразность разработки угольных месторождений, а вторые — возможность и направление использования угля в промышленности.

Геолого-горнотехнические условия, обусловливающие возможность разработки угольных месторождений, слагаются из общеизвестных характеристик: глубины залегания, угла падения и мощности пластов, крепости и устойчивости угля и вмещающих пород, водообильности и т. д. Полнота и достоверность этих характеристик должна определить способы и системы разработки месторождения.

Один из основных оценочных показателей — суточная производительность шахты D — может быть вычислен по следующей формуле (см. работу Зворыкина и др., 1954):

$$D = -1000 \pm \sqrt{1000^2 + \frac{Z}{3}}, \tag{110}$$

где Z — промышленные запасы шахтного поля.

При вычислении суточной производительности шахты по этой формуле очевидно, нужно принимать положительное значение величины D.

Приведенная формула по идее аналогична формуле В. В. Померанцева для вычисления годовой производительности рудника по запасам руды цветных металлов: $A=k\sqrt{3}$. Различие между этими формулами отражает специфические особенности разработки рудных и угольных месторождений.

Вопросы качества углей, важные для оценки месторождений, рассматривались в начале книги.

Найденные В. В. Померанцевым общие закономерности подходят, конечно, и к месторождениям неметаллических полезных ископаемых. Специфические особенности последних влияют на подбор коэффициентов в формулах.

Многие виды неметаллических полезных ископаемых имеют очень сложную технологию. Есть такие полезные ископаемые, например асбест или слюда, для которых важны не только физические свойства минералов (определяющие их ценные промышленные свойства) и процентное содержание минералов в рудах, но также соотношение и распределение в месторождениях различных сортов полезных минералов, определяемых в данном случае их размерами.

Оценка месторождений неметаллических полезных ископаемых часто требует таких обширных технологических познаний, какими, как правило, геологи-разведчики не обладают. В этих вопросах удовлетворительно ориентируются лишь те геологи, которые много лет работают над изучением и разведкой одного-двух видов неметаллов.

Подавляющее большинство месторождений строительных материалов характеризуется чрезвычайно простым геологическим строением, и оценка их при разведке требует знания лишь основных положений технологии.

3. КОНДИЦИИ

Проблема разработки промышленных условий (кондиций), при которых рудопроявления могут считаться промышленными месторождениями, возникает на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная от поисков и кончая рудничной геологией. На последней стадии кондиции нужны, чтобы различать балансовые руды, забалансовые и «пустые» породы (в которых оруденение ниже извлекаемого минимума). Установление кондиций не только предохраняет производство от излишних потерь в недрах, но и предотвращает перерасход средств на разведку, добычу и переработку пустых пород.

По утвержденной 11 апреля 1958 г. Госпланом СССР инструкции, «в зависимости от типа месторождения и предполагаемого способа его отработки в кондициях на рудоминеральное сырье устанавливается:

а) бортовое (минимальное) содержание полезных компонентов, при котором производится оконтуривание балансовых запасов залежи, пласта или рудного тела;

б) минимальное промышленное содержание полезных компонентов по подсчетным блокам, горизонтам или участкам, включенным в число балансовых запасов, и другие показатели, характеризующие качество сырья;

в) нижний предел содержания полезных компонентов для оконтуривания и отнесения запасов к забалансовым;

г) максимально допустимое среднее содержание вредных примесей и предел их максимального содержания в пробе, включаемой в расчет среднего содержания вредных примесей;

д) требование о выделении отдельных типов или сортов полезных ископаемых исходя из технологических свойств, определяющих различные спо-

собы их переработки. В необходимых случаях устанавливается минимальный выход товарной продукции;

е) перечень попутных компонентов, запасы которых подлежат подсчету, минимальное содержание и порядок их учета (во всех балансовых запасах или в зависимости от содержания попутных компонентов в определенных типах или сортах полезного ископаемого);

ж) допустимый коэффициент рудоносности для сложных месторождений с неравномерно перемежающимся распределением содержания полезных компонентов и мощности полезных ископаемых;

з) минимальная мощность полезного ископаемого в пласте, залежи, линзе и жиле, а для отдельных случаев минимальный метропроцент (произведение мощности на содержание), включаемые в подсчет балансовых и забалансовых запасов;

и) максимально допустимая мощность пустых пород или прослоев, некондиционных по содержанию полезных компонентов, находящихся внутри контуров, включаемых в подсчет балансовых запасов;

к) возможная глубина отработки открытым способом, максимально допустимое соотношение мощностей или объемов вскрышных пород и полезного ископаемого».

«Для угольных месторождений в кондициях устанавливается: минимальная мощность пласта и максимальное содержание золы, а в отдельных случаях — содержание серы, влаги (в рабочем топливе), выход первичной смолы, спекаемость углей и другие показатели, определяющие возможность их использования в различных отраслях промышленности.

Для месторождений горючих сланцев в кондициях устанавливаются: минимальная мощность пласта, содержание золы и наименьшая теплотворная способность, а в отдельных случаях, в зависимости от назначения сланцев,— содержание серы и выход первичной смолы».

В инструкции Госплана СССР предусматриваются также кондиции на жидкие полезные ископаемые (нефть и минеральные воды), поиски и разведка которых не рассматриваются в этой книге, а только упоминаются для понимания комплексных геологоразведочных работ.

Рассмотрим главнейшие кондиции, относящиеся к месторождениям цветных металлов: минимальное среднее содержание и связанное с ним бортовое содержание, зависимость минимального среднего содержания от мощности рудных тел, нижний предел содержания полезных компонентов для оконтуривания забалансовых запасов и максимальный размер пустых пород, допустимый для включения их в рудную массу.

Предприятия по добыче руд цветных металлов (и многих других полезных ископаемых) обычно состоят из двух ведущих отделов: горного и обогатительного. Среднее содержание ценного компонента в руде для рентабельных предприятий не должно выходить за установленные пределы минимального среднего содержания. Без доказательств понятно, что величина этого среднего определяется технологией и экономикой добычи и переработки руд. В число основных показателей работы предприятия входят ценность промышленной продукции ($Ц_м$), измеряемая отпускной государственной ценой металла, и ее себестоимость (С).

При одинаковой размерности (например, в рублях за тонну) отношение их в процентах

$$\frac{С}{Ц_м} \cdot 100 = \bar{n} \qquad (111)$$

представляет собой среднее содержание металла без учета потерь при добыче и переработке. Если учесть минимальную себестоимость ($С_{мин}$) и планируемый чистый доход (д), то получим минимальное среднее содержание в руде

$$\bar{n}_{мин} = \frac{С_{мин} + д}{Ц_м} \cdot 100\%, \qquad (112)$$

а с учетом разубоживания и потерь

$$\bar{n}_{\text{мин}} = \frac{C_{\text{мин}+\text{д}}}{Ц_{\text{м}} И(1-у)} \cdot 100\%, \qquad (113)$$

где И — коэффициент извлечения;
у — коэффициент разубоживания.

Для ориентировочного нахождения минимального среднего содержания можно предварительно установить средние значения коэффициентов извлечения и разубоживания, а также цены полезных компонентов и по ним построить специальные графики-номограммы.

В книге В. В. Померанцева (1957$_1$) такие графики-номограммы построены для меди, молибдена, свинца, цинка и олова. Здесь приведен только один из них — для меди (рис. 137). По нему при заданной стоимости добычи и переработки можно найти минимальное среднее содержание (и наоборот). При этом по горизонтальной оси графика можно определить прибыль (+) или необходимую дотацию (—) в рублях на каждую тонну руды (p). Например, если себестоимость составляет 65 руб., то минимальное среднее содержание металла для безубыточной работы должно быть равно 1,7% (см. рис. 137). Это — расчет для монометаллической, в данном случае медной руды.

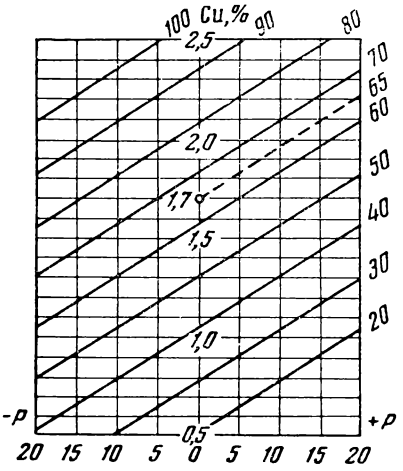


Рис. 137. Номограмма для определения минимального среднего содержания меди в монометаллической руде (по В. В. Померанцеву)

Вычисление минимального содержания в комплексных рудах производится путем пересчета на условную монометаллическую руду с помощью переходных коэффициентов.

В табл. 33 приведены переходные коэффициенты для пересчета на условную медь. Если среднее минимальное содержание меди в рудах 2%,

Таблица 33

Переходные коэффициенты для некоторых металлов

Металл	Марка концентрата	Цена металла в концентрате в *руб/т*	Коэффициент извлечения	Переходный коэффициент
Медь	КМ-1	4 700	0,9	1,0
Молибден	КМ-2	122 000	0,7	20,0
Свинец	КС-0	5 300	0,9	1,1
Цинк	КЦ-1	1 500	0,8	0,3
Олово	40%	75 000	0,8	14,2

то для одного молибдена оно будет равно $\frac{2}{20} = 0{,}1\%$, а для свинца $\frac{2}{1{,}1} = 1{,}8\%$. Если в руде содержится, например, 0,6% Cu, 1% Pb, 2% Zn, то в пересчете на условную медь получим: $0{,}6 \cdot 1{,}0 + 1{,}0 \cdot 1{,}1 + 2{,}0 \cdot 0{,}3 = 2{,}3\%$. Что касается вредных примесей, то нужно пользоваться техническими характеристиками продукции цветной металлургии (прейскуранты цен) и других отраслей промышленности. Для многих полезных ископаемых, особенно для редких и рассеянных элементов, переходные коэффициенты не рассчитаны.

С понятием о минимальном среднем содержании связано понятие о так называемом бортовом содержании компонента (содержание на контуре рудного тела). Оно вызывает очень большие споры. Иногда контур рудного

тела определяют только по бортовому содержанию. Конечно, такая методика довольно проста, особенно для геолога-разведчика, принимающего бортовое содержание по аналогии. Если рудное тело имеет четкие геологические границы, а среднее содержание компонента в рудах не ниже среднего минимального, то вопрос о бортовом содержании вообще не возникает. Но если хотя бы внутри рудного тела имеются участки со средним содержанием и выше и ниже минимального промышленного, возникает задача нахождения промышленного контура.

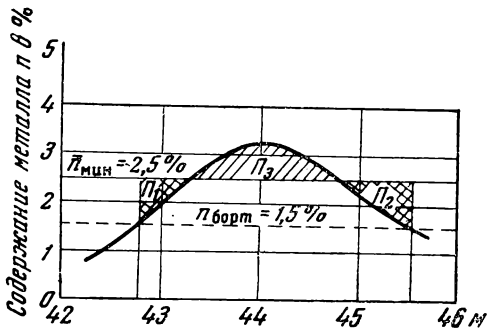


Рис. 138. Пример определения бортового содержания (по В. В. Померанцеву)

Для определения бортового содержания нужно учитывать два фактора: 1) минимальное содержание металла и 2) фактическое распределение металла внутри рудного тела. Минимальное промышленное содержание, как ясно из предыдущего,— понятие технико-экономическое, а бортовое содержание — пространственно-геологическое. Вполне понятно, что контурное, или бортовое, содержание есть какая-то функция минимального среднего.

Определение границ легче всего делать графически. Для этого нужно построить кривую фактических содержаний металла по выработке и нанести на график линию минимального среднего содержания. Если кривая фактических содержаний ляжет выше линии минимального содержания, то бортовые содержания надо брать по крайним пробам. Это — случай совпадения геологических и промышленных границ.

Если же кривые фактических содержаний пересекутся линией минимального среднего содержания (рис. 138), то нужно достичь примерного соблюдения равенства $П_1 + П_2 = П_3$; тогда ординаты, ограничивающие площади $П_1$ и $П_2$, будут отвечать бортовым содержаниям.

Все эти рассуждения построены на допущении, что мощность рудного тела не меньше выемочной мощности.

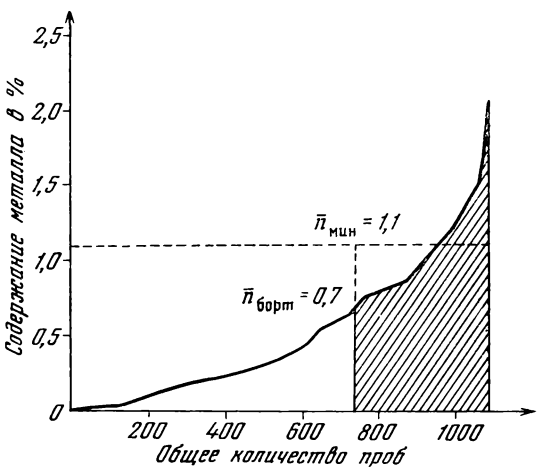


Рис. 139. График зависимости между содержанием полезного компонента в пробах и количеством проб (по А. П. Прокофьеву)

В заключение опишем статистический метод определения бортового содержания, предложенный А. П. Прокофьевым (1953). Сущность метода становится ясной при рассмотрении графического варианта решения задачи (см. рис. 139).

Все пробы разбиваются на классы по процентному содержанию металла. Положение каждого класса на графике определяется точкой пересечения ординаты, равной среднему содержанию компонента в этом классе, и абсциссы, соответствующей сумме проб во всех предыдущих классах плюс количество проб в данном классе. По этим точкам строится так называемая кумулятивная кривая. Наложим на нее прямую, параллельную оси абсцисс,

на уровне ординаты, равной минимальному среднему содержанию. Тогда площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс, будет разделена на две части: одна — выше уровня минимального среднего содержания, другая — ниже.

Для обеспечения требуемого минимального содержания, очевидно, можно площадь над уровнем минимального среднего содержания уравновесить некоторой площадью под этим уровнем. Подобрав такую площадь, по крайней левой ее ординате определяют необходимое бортовое содержание (на рис. 139, заимствованном из книги А. П. Прокофьева, оно равно 0,7% при минимальном среднем, равном 1,1%).

Вопрос о бортовом содержании очень сложен. Но предложенные В. В. Померанцевым методы оконтуривания тел полезных ископаемых трудны для геолога-разведчика. На отдельных месторождениях геолог может сделать подсчет запасов по трем-четырем изолиниям, оконтуривающим рудные тела при различных содержаниях, и тогда среднее содержание в оконтуренных рудах будет различным; проектная организация выбирает из них то, что ей нужно. В других случаях геолог-разведчик может «прикинуть», какая примерно изолиния обеспечит минимальное промышленное содержание (это будет «бортовое содержание первого приближения»), и после этого сделать подсчет запасов. Одним словом, геологу-разведчику во время разведки и подсчета запасов трудно отказаться от использования бортового содержания. Нужно искать какое-то практическое решение, которое могло бы облегчить геологу-разведчику оконтуривание рудных тел. Пока же приходится пользоваться указанным здесь способом.

Для тонких жил и прожилков с изменчивой мощностью необходима либо раздельная выемка жильной массы и пустой породы, либо сортировка. При расчете минимального среднего содержания надо различать: а) жилы, резко отличающиеся от вмещающих нерудоносных пород, и б) жилы, залегающие в породах, несущих вкрапленное оруденение.

Расчеты минимального среднего содержания для этих случаев сделаны А. В. Левицким, формулы которого отражают изменения минимальных средних содержаний в зависимости от изменения мощности рудной жилы. Минимальную выемочную мощность обычно можно считать равной 0,8 *м*, и при расчете себестоимости добычи нужно учитывать (по В. В. Померанцеву) коэффициент K:

Мощность жилы в м	K
0,8	1,0
0,6	1,1
0,4	1,2
0,2	1,5

Следовательно, например при мощности жилы 0,6 *м* себестоимость добычи $C_{0,6}=1,1\ C_{0,8}$, где $C_{0,8}$ — себестоимость добычи при мощности жилы 0,8 *м*.

Предельно извлекаемое содержание должно быть включено в основной перечень промышленных условий (кондиций) хотя бы потому, что оно в настоящее время определяет очень важное понятие «пустой породы».

Общий контур, включающий руды с «предельно извлекаемым содержанием» (термин В. В. Померанцева) и охватывающий балансовые и забалансовые руды, проводится, конечно, в месторождениях убогих вкрапленных руд; для месторождений с отчетливыми резкими границами рудных тел такой контур обычно не нужен. Внутри контура руд с предельно извлекаемым содержанием может быть одно или несколько рудных тел с промышленными рудами.

«Предельно извлекаемое содержание» металла в руде фактически уже не извлекается из этого типа руды и очень часто равно содержанию

металла в хвостах обогатительной фабрики. Определение предельно извлекаемого содержания — проблема технологическая и требует учета многих факторов (состава руд, их комплексности, вредных компонентов и др.), которые устанавливаются специалистами-обогатителями; геолог-разведчик должен получать эти данные от проектных организаций, совнархозов и др. Знание предельно извлекаемого содержания помогает нахождению обоснованных границ рудопроявления. В качестве примера можно указать, что для мономинеральных медных руд предельно извлекаемое содержание меди равно 0,2%, в то время как для медно-свинцово-цинковых руд оно понижается до 0,05%. Для молибденовых монометаллических руд предельно извлекаемое содержание молибдена равно 0,015%, а для меднопорфировых руд — 0,003% Мо и т. д.

С понятием предельно извлекаемого содержания связан вопрос о предельной (максимальной) мощности прослойка пустой породы, включаемой в руду. Для различных типов месторождений эта мощность различна; конечно, прежде всего она не может превышать мощности руды и должна быть прямо связана с системой отработки. При высокопроизводительных системах разработки (подэтажные штреки, этажное обрушение) можно ориентироваться на следующие цифры:

Суммарная мощность рудных тел в м	*Предельная мощность прослойка в м*
10	2
15	3
20	4
25	5

Ясно, что пустая порода вместе с рудой должна обеспечивать получение руд с минимальным средним содержанием.

В практике ГКЗ часто предельная мощность пустого прослойка принимается равной 3 *м*, но обосновать цифру предельной мощности пустых пород может только проектная организация или весьма квалифицированный экспертный коллектив.

Анализируя совокупность промышленных условий, В. В. Померанцев пришел к важному и справедливому выводу о необходимости рассматривать все эти условия только в границах определенного пространства и времени. Очень много рудных тел (число подобных месторождений, вовлекаемых в промышленность, с каждым годом растет) отличается неравномерностью распределения и прерывистостью минерализации. В таких условиях на обогатительную фабрику не может все время поступать руда одинакового качества, как бы ни регулировалась добыча из различных блоков. Подобные природные условия необходимо учитывать и при подсчете запасов.

Например, имеется жила с многочисленными рудными столбами, но влияние этих столбов начинает сказываться только с глубины 100 *м*. Ниже этой глубины даже вместе с рядовой рудой, залегающей между столбами, среднее содержание металла в рудах значительно превышает минимальное промышленное. От поверхности до глубины 100 *м* рудные столбы почти не проявляются и вся рудная масса характеризуется содержанием значительно ниже минимального. Если же подсчитать верхние и нижние участки «на круг», то вся рудная масса будет удовлетворять минимальному среднему содержанию. Совершенно ясно, что минерализация до глубины 100 *м* является непромышленной и этот верхний объем не нужно включать в запасы. Если принять эксплуатационный этаж равным 50 *м*, то в данном случае разработку можно начинать только с 3-го этажа.

Следовательно, в кондициях должен быть принят какой-то п р е д е л ь н ы й о б ъ е м, в котором можно смешивать бедные и богатые руды до получения минимального среднего. Какой же это объем? Это тот объем руд, который можно отработать не более чем за год; один год является узаконенным плановым интервалом (в отдельных случаях можно брать пол-

года или квартал). В общем можно сказать, что чем ценнее металл, чем важнее он для народного хозяйства, тем меньшим должен быть предельный объем. Этот предельный объем, в котором шихтуются руды до минимального среднего содержания, является очень важным промышленным условием; этот объем (в $м^3$) легко установить, зная годовую добычу и площадь месторождения.

Бедные, забалансовые руды В. В. Померанцев (1957_1) предлагает включать в общий контур промышленных запасов при следующих условиях: 1) если они входят в установленный максимальный объем руды; 2) если они по горнотехническим условиям не могут быть добыты раздельно от богатых; 3) если оставление их в недрах ухудшает технико-экономические показатели отработки; 4) если они в виде отдельных тел находятся в висячем боку месторождения и безвозвратно теряются при обработке. При спорности вопроса о включении бедных руд в промышленный контур необходимо иметь заключение проектной организации.

Решение вопроса о включении бедных руд в контур промышленных запасов подвергается наибольшей критике со стороны оппонентов. Сомнения касаются проблемы включения бедных руд (до предельно извлекаемого содержания, по В. В. Померанцеву) для получения минимального содержания за счет богатых. Опасность грубых ошибок здесь может возникнуть только в том случае, если в месторождении имеются два типа руд: богатые и очень бедные. В этом случае, в зависимости от количества и качества богатых руд, на одном месторождении может извлекаться много крайне бедных руд, в то время как на другом (при малом количестве богатых руд) в недрах могут погибнуть руды с содержанием немного ниже минимального среднего.

Но, во-первых, месторождения, где имеются только две категории руд — богатые и бедные, без переходных разностей, крайне редки (для меди, например, можно назвать только редкие месторождения скарнового типа). Во-вторых, В. В. Померанцев перечисляет четыре условия, когда бедные руды можно отрабатывать. Наконец, в-третьих, все оппоненты согласны с тем, что часть руд с содержанием ниже промышленного минимума нужно отрабатывать при наличии богатых (с содержанием выше промышленного минимума) руд, в противном случае работа часто будет напоминать хищничество.

Следовательно, разногласия вызывает лишь та «точка», до которой нужно доходить при отработке руд с содержанием ниже промышленного минимума. Найти эту «точку» нелегко, учитывая разницу в экономических условиях различных месторождений (легче всего это сделать для золотой промышленности).

Выполнение одного из промышленных условий, а именно соблюдения предельного объема, дает гарантию, что в орбиту использованной рудной массы не может попасть много бедных руд. Кроме того, в рудную массу не должны включаться в сколько-нибудь значительных количествах и забалансовые руды.

В заключение приведем краткий пример расчета основных промышленных условий (кондиций) применительно к крупному штокверковому месторождению молибденовых руд.

Рудное поле слагают варисские среднезернистые, местами порфировидные, биотитовые граниты. Молибденовое оруденение приурочено в основном к гидротермально измененным гранитам и образует мощный штокверк. Площадь штокверка в плане составляет примерно 1 $км^2$. По данным предварительной разведки, руды прослеживаются до глубины 300 $м$, причем мощность зоны окисления незначительна (10—15 $м$). Руды и породы устойчивы, крепость (по М. М. Протодьяконову) $f=12$—15. Объемный вес руд и пород 2,5 $т/м^3$.

Содержание сульфидного молибдена колеблется от 0,001 до 0,2%. Предварительные технологические испытания показали возможность получения кондиционных 48-процентных молибденовых концентратов с извле-

чением в них молибдена из руды, равным 75—80%. Условия залегания штокверковых руд позволяют применить высокоэффективный открытый способ разработки. Общие географические и экономические условия района месторождения благоприятны для организации крупного горнообогатительного предприятия.

Расчет кондиций начнем с вычисления возможных вариантов запасов, задавшись для этой цели бортовыми содержаниями «первого приближения», равными 0,020; 0,025; 0,030% Мо. По укрупненным расчетам запасы руды получились равными соответственно 216; 187; 175 млн. *т* при средних содержаниях $\bar{n}$, равных 0,055; 0,060; 0,070%.

Для найденных вариантов запасов по рекомендации проектной организации (в данном случае формулой $A=k\sqrt{З}$ мы не пользуемся) могут быть приняты величины годовой производительности рудника (A), равные 6; 5; 4 млн. *т* руды и соответствующие им значения себестоимости добычи и переработки руды, равные 37,0; 41,5; 50,0 руб. Эти величины себестоимости вычислены для добычи руды открытым способом при переработке руды методом флотации на концентраты с содержанием молибдена 48%. По действующим оптовым ценам стоимость 1 *т* такого концентрата равна 62 200 руб. (в пересчете на концентрат с содержанием металла 51%) и стоимость металла ($Ц_м$) в концентрате — 122 тыс. руб.

Для найденных вариантов запасов минимальные средние содержания молибдена в руде могут быть рассчитаны по формуле

$$\bar{n}_{мин}=\frac{С_{мин}\cdot 100^3}{Ц_м(100-у)И}, \qquad (114)$$

в которой минимальная себестоимость ($С_{мин}$) с учетом планового дохода принимается равной найденным ранее вариантам себестоимости добычи и переработки руды. Показатели разубоживания (у) и извлечения (И) могут быть взяты по аналогии с лучшими показателями действующих предприятий с учетом результатов технологического испытания руд. Для нашего случая у=5% для всех вариантов, а извлечение металла в концентрат в зависимости от среднего содержания равно: $\bar{n}$=0,070%, И=80%; $\bar{n}$==0,060%, И=77%; $\bar{n}$=0,055%, И=73%.

Итак, при запасах руды, равных 175 млн. *т*, минимальное среднее содержание равно

$$\bar{n}_{мин}=\frac{50\cdot 100^3}{122\cdot 10^3(100-5)\cdot 80}=0{,}054\%.$$

Для других вариантов запасов $\bar{n}_{мин}$ получается равным соответственно 0,046 и 0,044%.

Обычно при окончательном подсчете запасов рекомендуется оптимальная величина запасов и соответствующие им бортовое и минимальное среднее содержания. Для этой цели следует продолжить технико-экономический анализ вариантов.

Прежде всего рассчитаем выходы металла Т для различных значений годовой производительности:

$$Т=A\bar{n}(100-у)И\cdot 100^{-3}. \qquad (115)$$

При запасах, равных 175 млн. *т* руды, и годовой производительности 4 млн. *т* выход металла в концентрат составит

$$Т_1=4\cdot 10^6\cdot 0{,}070\,(100-5)\cdot 80\cdot 100^{-3}=2128\ т.$$

Аналогично для вариантов запасов 187 и 216 млн. *т* получим соответственно 2194 и 2288 *т* металла в год.

Далее рассчитаем себестоимость металла в концентрате ($С_{мт}$), для чего предварительно определим годовые эксплуатационные расходы ($Э_г$):

$$Э_г=С_{мт}A_г. \qquad (116)$$

При запасах, равных 175 млн. *т*,

$$Э_{г_1} = 50 \cdot 4 \cdot 10^6 = 200 \text{ млн. руб.},$$

а для вариантов запасов 187 и 216 млн. *т* величина $Э_г$ составляет соответственно 207 и 222 млн. руб.

Себестоимость 1 *т* металла ($С_{мт}$) при запасах в 175 млн. *т* получится равной

$$С_{мт_1} = -\frac{Э_{г_1}}{T_1} = \frac{200 \cdot 10^6}{2128} = 94{,}0 \text{ тыс. руб.}$$

и аналогично для других вариантов запасов — 94,3 и 97,0 тыс. руб.

При относительном равенстве себестоимости металла в различных вариантах для определения оптимальных размеров запасов необходимо вычислить себестоимость дополнительного металла, получаемого из бедных руд при переходе от меньших запасов руды к большим. Увеличение годового выхода металла (ΔT) при переходе от запасов, равных 175 млн. *т*, к запасам в 187 млн. *т* составляет

$$\Delta T_1 = 2194 - 2128 = 66 \ т$$

и при переходе от запасов в 187 млн. *т* к запасам в 216 млн. *т*

$$\Delta T_2 = 2288 - 2194 = 94 \ т.$$

Этим приращениям выходов металла соответствуют увеличения годовых эксплуатационных расходов ($\Delta Э_г$), равные в первом случае

$$\Delta Э_{г_1} = 207 - 200 = 7 \text{ млн. руб.}$$

и во втором случае

$$\Delta Э_{г_2} = 222 - 207 = 15 \text{ млн. руб.}$$

Следовательно, себестоимость дополнительного металла ($С\Delta T$) в первом случае составит

$$С\Delta T_1 = 7 \cdot 10^6 : 66 = 106 \text{ тыс. руб.}$$

и во втором случае

$$С\Delta T_2 = 15 \cdot 10^6 : 94 = 160 \text{ тыс. руб.}$$

Сравнивая эти результаты с ценой 1 *т* металла, равной 122 тыс. руб., убеждаемся в допустимости увеличения запасов с 175 млн. *т* до 187 млн. *т*, так как в этом случае $С\Delta T < 122$ тыс. руб. Но при увеличении запасов за счет бедных руд до 216 млн. *т* себестоимость дополнительного металла существенно превзойдет действующую цену металла (на 31%).

Итак, по стоимостным показателям можно считать оптимальными запасы, равные 187 млн. *т*. Этим запасам соответствуют бортовое содержание 0,025% и минимальное среднее 0,046%. Если от директивных и планирующих органов нет никаких специальных указаний по вопросу потребности народного хозяйства в данном металле, то на этом задачу выбора оптимальных запасов и соответствующих им кондиций по промышленному минимуму содержаний в первом приближении можно считать решенной.

Дальнейшее уточнение величины бортового содержания должно производиться на основании конкретного распределения металла в недрах и минимального среднего содержания в соответствии с указаниями, сделанными выше.

Во избежание недопустимого разубоживания бедными рудами применение минимального среднего содержания должно ограничиваться предельным (максимальным) размером расчетного блока. Для рассматриваемого случая величина расчетного блока в связи с высокой ценностью молибдена может быть ограничена полугодовой производительностью рудника. Для оптимальных запасов в 187 млн. *т* эта производительность равна 2,5 млн. *т* или 1 млн. $м^3$. Пространственно этот объем может быть представлен блоком

размером $15 \times 150 \times 500$ *м*, где первый множитель определяется высотой уступа, второй — шириной фронта очистных работ на уступе и третий — длиной этого фронта.

4. О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СТРАНАХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ЛАГЕРЯ

Для стран народной демократии, так же как для Советского Союза, характерен народнохозяйственный подход к решению вопросов, связанных с запасами полезных ископаемых. Это объясняется плановой природой хозяйства во всех странах социалистического лагеря.

Так, в действующей классификации запасов ГДР говорится: «Содержащиеся в недрах запасы твердых полезных ископаемых разделяются по их пригодности для народнохозяйственного использования».

В инструкции Председателя Центрального геологического управления Польской Народной Республики дается такое определение месторождения: «Месторождением полезного ископаемого называется такое природное скопление последнего, которое может быть подвергнуто эксплуатации с определенной пользой для народного хозяйства».

В качестве примера рационального подхода к оценке месторождений можно упомянуть о двух видах промышленных минимумов, применяемых при расчете кондиции в ГДР: 1) промышленное минимальное содержание (industrielle Minimalgehalt) и 2) геологическое предельное содержание (geologische Schwellengehalt).

В инструкции ГДР для меднорудных месторождений указанные промышленные минимумы определяются следующим образом:

1) промышленное минимальное содержание — это утвержденная промышленностью самая нижняя граница для среднего содержания добытой руды; это — нижняя граница среднего содержания дневной, сменной, месячной и т. д. добычи, ниже которой хозяйственная переработка руды в данное время невозможна;

2) геологическое предельное содержание руды — это установленная геологом для каждого блока, части месторождения и т. д. или для всего месторождения граница содержания, которая отделяет балансовые запасы от забалансовых.

В странах народной демократии, как и в Советском Союзе, придают большое значение единству геологических, технологических и экономических показателей при оценке месторождения.

Польский профессор В. Бобровский предлагает учитывать влияние геологических условий на рентабельность разработки месторождений полезных ископаемых с помощью формул

$$\left.\begin{array}{l} MSWK = Mm + Nn + Aa + \varepsilon \\ \text{или} \\ K = \dfrac{Mm + Nn + Aa + \varepsilon}{MSW} \end{array}\right\}, \qquad (117)$$

где M — запасы руды в $м^3$ или $т$;
S — коэффициент добычи, учитывающий потери;
W — цена единицы полезного ископаемого;
K — экономический коэффициент;
m — стоимость добычи единицы руды;
N — объем вскрыши в $м^3$ или $т$;
n — стоимость единицы вскрыши;
A — количество воды, подлежащей откачке, в $м^3$;
a — стоимость откачки 1 $м^3$ воды;
ε — прочие расходы, связанные с эксплуатацией.

Для подземного способа разработки эта формула будет иметь вид:

$$K' = \frac{Mm' + Uu + Aa + Pp + g}{MSW}, \qquad (118)$$

где m' — стоимость добычи руды подземным способом;
U — объем вскрывающих месторождение выработок в $м^3$;
u — стоимость единицы этих объемов;
P — объем подготовительных выработок;
p — стоимость единицы этих объемов;
g — прочие затраты.

Если $K' < K$, то разработка должна вестись подземным способом, если $K' > K$, —то открытым.

При анализе классификации запасов в СССР часто дискутируется вопрос о достоверности запасов и целесообразности численного выражения этой достоверности. В странах народной демократии этому вопросу уделяется большое внимание.

Так, в Венгерской Народной Республике приняты следующие численные выражения достоверности запасов каждой категории: A_1 ±10%; A_2 ±20%; B ±35%; C_1 ±50%; C_2 ±100%. В Болгарской Народной Республике достоверность одноименных категорий запасов оценивается несколько иначе: A_1 ±10%; A_2 ±15÷20%; B ±30%; C ±50%.

Известный ученый ГДР Г. Ре предлагает следующее деление запасов по достоверности: вполне достоверные (absolut sicher) ±5%; достоверные (sicher) ±20%; вероятные (wahrscheinlich) ±40%; возможные обоснованные (möglich angedeutet) ±60%; возможные прогнозные (möglich vermutet)— от плюс 80—1000 до минус 95%.

5. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАНАХ

В капиталистической системе хозяйства, основанной на частной собственности на средства производства, землю и недра при индивидуальной форме присвоения, главнейшим фактором оценки считается прибыльность разработки месторождения полезного ископаемого. Не случайно один из первых геологов-оценщиков в США Хувер говорил в 1909 г.: «Оценка месторождения заключается в установлении прибыли от его разработки, остальное — чад и дым».

Основное содержание и метод оценки месторождений видны из самого определения понятия руды, принятого на Западе:

«Руда — это порода, содержащая металл, которую можно с выгодой разрабатывать в данном месте и в данное время» (Риккард, 1913 г.);

«Руда — это агрегат металлсодержащих веществ и жильной породы, из которого можно с выгодой извлекать один или несколько металлов» (Бэтман, 1950 г.).

Под оценкой месторождения в капиталистических странах нередко понимают определение его цены.

Основная формула, выражающая стоимость рудника, дана Хосколдом еще в 1877 г.:

$$P \cdot v = \frac{A}{\frac{r}{(1+r)^n - 1} + r'}, \qquad (119)$$

где $P \cdot v$ (*present value*) — современная стоимость рудника;
A — чистая годовая прибыль;
r — нормальный процент прибыли;
r' — норма риска в %;
n — срок разработки рудника в годах.

Эта формула определяет капитализированную прибыль, которую можно получить от эксплуатации месторождения, с учетом нормы прибыли

и возможного риска. Формула Хосколда нашла широкое применение при оценке месторождений капиталистических стран, и по существу позднейшие оценочные формулы весьма близки к этой.

Основную идею Хосколда, но в другой форме, проводил в 1911 г. Бринсмейд, формулой которого в 20-х годах пользовались и советские инженеры. Уравнение Бринсмейда имеет вид:

$$(b+t)(C+W)R+\frac{Crt(1+r)^t}{(1+r)^t-1}=Qu+p; \qquad (120)$$

здесь b — число лет, через которые рудник достигает устойчивой годовой производительности в y тонн;

t — число лет работы рудника;

$C=g+M+P+S$, где g — покупная цена предприятия; M — стоимость горноподготовительных работ и горного оборудования; P — стоимость оборудования фабрики, завода; S — сумма остальных капитальных затрат;

W — оборотный капитал;

R — проценты на весь затрачиваемый капитал;

r — проценты на ежегодное погашение;

$Q=a+mx+nz=yt$, где a — «действительные» запасы; x — «вероятные»; z — «возможные»; m — коэффициент для перевода вероятных запасов в действительные; n — коэффициент для перевода возможных запасов в действительные;

u — средняя за время эксплуатации месторождения чистая прибыль на тонну руды;

p — ликвидационная стоимость предприятия.

Эта формула давно известна в советской литературе, но В. В. Померанцев (1957_2), анализируя ее вывод, впервые показал, что расчетные запасы руд месторождения определяются суммированием запасов различных категорий с использованием специальных переводных коэффициентов (m и n). Основная идея формулы Бринсмейда заключается, однако, все в том же: ценность месторождения определяется прибылью от его разработки.

При исчислении прибыли от эксплуатации месторождения исходят из рыночной цены металла, причем обычно берут среднюю цифру за 20—30 лет (за исключением военных лет).

Целесообразно упомянуть здесь изданную в 1940 г. работу Форрестера, который подробно останавливается на расчетах, определяющих промышленные границы руд. При этих расчетах он учитывает: климат, топографию, степень доступности месторождения, геологические и горнотехнические условия, технологические условия обогащения и переработки руд, а также экономические факторы: условия труда, наличие рабочей силы, способы снабжения и т. п. В конечном счете все эти факторы находят свое выражение в себестоимости добычи и переработки руд. Автор дает ряд справок о себестоимости добычи руд при различных способах разработок, при обогащении руды методами флотации, цианирования, гравитации и магнитной сепарации. Кроме того, Форрестер приводит простейшие способы определения минимального среднего содержания.

Современную ценность месторождения Форрестер рекомендует определять по несколько видоизмененной формуле Хосколда:

$$P\cdot v=\frac{A}{(1+r)^n}+\frac{S}{(1+r)^n}, \qquad (121)$$

где S — ликвидационная стоимость оборудования и прочие капиталы, остающиеся после прекращения деятельности рудника;
остальные обозначения те же, что в формуле (119).

Капиталистическим методам расчета минимального среднего содержания в комплексных рудах посвящена опубликованная в 1954 г. статья Д. Мэсона.

Анализ работ, посвященных оценке месторождений в капиталистических странах, позволяет сделать вывод о том, что при капиталистической системе хозяйства основой оценки является удовлетворение конъюнктурных частнособственнических интересов без учета народнохозяйственного значения того или иного месторождения. В противоположность сравнительной оценке, принятой в Советском Союзе, капиталистическую оценку месторождений полезных ископаемых нередко называют абсолютной, так как она решает вопрос с точки зрения получения «абсолютной» прибыли и не рассматривает целесообразности выбора и отработки наиболее пригодных месторождений. Характерно, что в капиталистических странах распространена теория о рациональности первоочередной отработки богатых руд. Что же касается эксплуатации месторождений в колониях и полуколониях, то она часто носит откровенно хищнический характер.

Однако прогрессирующее истощение богатых руд вынуждает капиталистов начинать разработку и бедных руд; кроме того, начинают раздаваться голоса специалистов, предостерегающих от хищнической эксплуатации месторождений. Так, Л. Карлейль в своих статьях 1953 и 1954 гг. обосновывает рациональность совместной отработки богатых и бедных руд и доказывает необоснованность формулы Хосколда. Г. Янс (ФРГ) говорит о необходимости включения в число промышленных месторождений и таких, которые не дают прибыли. Кроме того, автор называет ряд причин, которые могут заставить эксплуатировать нерентабельные месторождения. Но все это не меняет, конечно, природы капиталистической оценки, которая не способна учитывать всю совокупность народнохозяйственных интересов.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

С момента, когда месторождение начинает эксплуатироваться, характер деятельности геолога-разведчика существенно изменяется. Круг вопросов, решаемых геологом, по сравнению с предшествующими стадиями разведки расширяется, а геологические исследования становятся более углубленными и детальными. Поэтому на практике уже давно определился специфический характер работы геологов по обслуживанию действующих горных предприятий и выделился комплекс проблем и вопросов, решаемых ими в период эксплуатации месторождения. В учении о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых на базе этих проблем возникли специальные разделы: «Рудничная геология», «Шахтная геология», «Промысловая геология». Наиболее сложные вопросы приходится решать геологу при эксплуатации месторождений цветных, редких, драгоценных металлов и нефти, поэтому наибольшее внимание сосредоточивается на рудничной и промысловой геологии.

Рудничная, шахтная и промысловая геология имеют свои особенности, но в то же время объединены общностью целей, стоящих перед каждым геологом, обслуживающим действующее горное предприятие. Главные цели могут быть сформулированы так:

1) продление жизни горного предприятия по возможности без снижения его производственной мощности;

2) повседневная помощь в эксплуатации месторождения с целью повышения ее технической и экономической эффективности.

Первая цель достигается главным образом путем углубленного геологического изучения месторождения с полным использованием разведочных и эксплуатационных выработок. При этом часто удается обнаружить не замеченные ранее слепые тела полезного ископаемого: параллельные залежи, отдельные карманы и гнезда, а также части тел, смещенные по тектоническим нарушениям; все это увеличивает резервы предприятия и продлевает его существование.

Достижение второй цели требует от рудничного геолога ясного понимания запросов и нужд эксплуатации.

Кроме того, рудничный геолог может и должен вести научные исследования для выяснения генетических особенностей месторождения. Условия для таких исследований на действующем горном предприятии всегда наилучшие. Каждый рудник (шахта, промысел) представляет для геолога огромную лабораторию, где ежедневно можно получать новые факты и производить наблюдения, недоступные геологам, занимающимся поисками и предварительной разведкой полезных ископаемых. Безусловно, все получаемые данные, позволяющие решать научно-теоретические вопросы, важны не только для широких научных обобщений, но прежде всего для эффективной работы самого горного предприятия.

Не следует думать, что геолог, живущий проблемами данного эксплуатируемого месторождения, не должен заниматься общими геологическими вопросами, касающимися рудного поля или района в целом. Наоборот,

тем успешнее будет деятельность рудничного геолога, чем лучше им поняты геологическое строение и геологическая история всего района.

В настоящем разделе освещаются только те вопросы, которые возникают при геологическом обслуживании действующего горного предприятия.

Для решения перечисленных задач геолог на действующем горном предприятии осуществляет три вида работ:

1) ведет эксплуатационную разведку месторождения на основе его углубленного геолого-минералогического изучения;

2) проводит мероприятия, направленные на оказание помощи горному цеху в производстве и рационализации процесса добычи;

3) выполняет исследования для цеха, перерабатывающего полезное ископаемое, и организует помощь этому цеху в рационализации технологического процесса переработки.

ГЛАВА I

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА

1. ЗАДАЧИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ[1]

Эксплуатационная разведка отличается от предшествующих стадий разведки наибольшей детальностью и соответственно наиболее достоверными результатами. На этой стадии, как уже отмечалось, значительно возрастают и плотность разведочной сети, и частота опробования, и число других различных наблюдений и исследований.

Эксплуатационная разведка отличается от предшествующих стадий разведки не только количественно, но и качественно. В стадии эксплуатационной разведки исследования направляют в большинстве случаев исходя уже из известного,—из того, что выяснено детальной разведкой и ведущимися эксплуатационными работами в отношении формы тел, их геологической позиции и качества полезного ископаемого.

В связи с этим возникают две специфические задачи эксплуатационной разведки: уточнение данных предшествующей разведки и контроль процесса добычи полезного ископаемого.

В результате уточнения данных предшествующей разведки могут подвергнуться исправлению контуры тела полезного ископаемого, выявиться новые данные о содержании металлов в рудах на отдельных участках месторождения, дифференцироваться физико-механические свойства вмещающих горных пород и полезного ископаемого по отдельным небольшим участкам, детализироваться гидрогеологические условия в различных частях месторождения. На основании всего этого уточняется количество запасов полезного ископаемого по сортам и может подвергнуться корректировке проект разработки месторождения.

Контроль процесса добычи полезного ископаемого состоит в наблюдении за его выемкой и использованием всего комплекса полезных компонентов, заключенных в минеральном сырье. В связи с этим выясняются два главных вопроса, касающихся процесса добычи,— величина потерь и степень разубоживания. Кроме того, должны вестись непрерывные минералогические и другие исследования полезного ископаемого, позволяющие правильно решить вопросы комплексного использования добываемого минерального сырья. Помощь горному цеху и цеху по переработке полезного ископаемого со стороны рудничного геолога возможна только на основе тщательного контроля добычи полезного ископаемого, осуществляемого

---

[1] Здесь подчеркивается роль эксплуатационной разведки в общей увязке с учением о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Трактовка «Рудничной геологии», как указывалось во «Введении», должна быть более широкой.

геологической службой на действующем горном предприятии в процессе эксплуатационной разведки.

Однако решение названных двух задач еще не обеспечивает продления жизни горного предприятия, продолжительность которой определяется запасами полезного ископаемого. Поэтому третьей практической задачей рудничного геолога и повседневной его заботой является приращение запасов полезного ископаемого. Эта задача должна решаться прежде всего путем тщательного геологического изучения всего пространства, занимаемого месторождением, а также путем поисково-разведочных работ в прилегающем к месторождению районе.

Второй путь ведет к открытию новых месторождений, разведка которых является самостоятельной проблемой и поэтому часто осуществляется специальными геологоразведочными партиями, в порядке, изложенном в первых разделах книги. Поэтому здесь следует лишь отметить, что если данное горное предприятие не может своими силами организовать поисково-разведочные работы в районе, то оно в лице руководителя геологической службы должно быть хотя бы инициатором этих работ с привлечением других специализированных геологических и геофизических организаций.

Тщательное изучение пространства, занимаемого эксплуатируемым месторождением, является обязанностью геологической службы действующего горного предприятия; нередко оно приводит к существенному увеличению запасов полезного ископаемого.

Почти всегда после детальной разведки месторождения некоторые его участки обладают запасами категории C_2, которые не учитываются при проектировании добычи. Кроме того, на стадиях, предшествующих эксплуатационной разведке, могут быть пропущены небольшие тела полезного ископаемого вследствие меньшей плотности разведочной сети и широкого использования бурения, часто дающего неточные результаты. Поэтому приращение запасов полезного ископаемого в период эксплуатационной разведки в пределах участка месторождения осуществляется, во-первых, путем перевода запасов из низших категорий в высшие и, во-вторых, путем обнаружения новых залежей, не учтенных в предшествующие стадии разведки.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

Важной особенностью эксплуатационной разведки является возможность и целесообразность использования одних и тех же горных выработок как для целей разведки, так и для целей эксплуатации месторождения. Поэтому основным средством эксплуатационной разведки твердых полезных ископаемых являются различные подземные горные выработки.

Для того чтобы разведка была экономичной, следует всячески избегать проходки таких горноразведочных выработок, которые не могут быть использованы при эксплуатации. Правда, бывают случаи, когда горные выработки не приносят ожидаемых результатов вследствие резкого изменения качества полезного ископаемого или отсутствия предполагаемой смещенной части залежи, параллельной жилы и т. п. Но при достаточно тщательном геологическом изучении месторождения такие случаи встречаются сравнительно редко.

Если для предварительной и даже для детальной разведки проходка выработок, связывающих отдельные разведочные сечения (горизонты), обычно далеко не обязательна, так как в большинстве случаев допустима интерполяция между разведочными разрезами на значительных расстояниях, то в период эксплуатационной разведки, при подсчетах запасов по категории А, всегда проходятся выработки, связывающие отдельные горизонты, подгоризонты (рис. 140) и оконтуривающие со всех сторон

эксплуатационные блоки в теле полезного ископаемого (рис. 141). Все эти выработки, необходимые для эксплуатации (для доставки руды, вентиляции и т. п.), начинают свое существование как разведочные: подвергаются соответствующей документации, опробованию и используются для необходимых гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений.

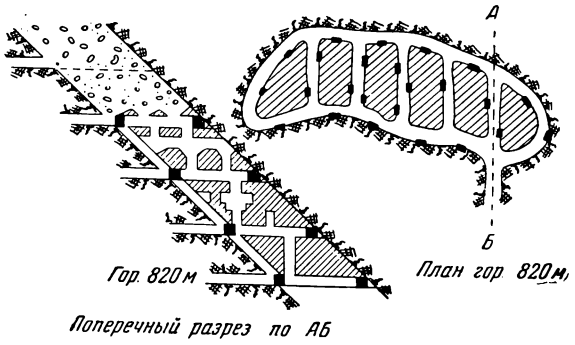


Рис. 140. Схема горных выработок, проходимых при разработке крутопадающей линзы (по А. В. Бричкину)

Большое значение для эксплуатационной разведки имеют очистные выработки. Обнажая и вскрывая большие участки месторождения полезного ископаемого (или боковых пород), они дают наиболее обширные и цен-

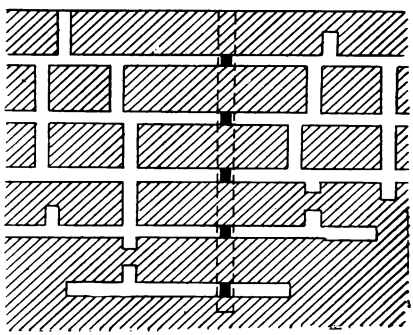


Рис. 141. Система подготовительных выработок, используемых для эксплуатационной разведки (продольная проекция жилы на вертикальную плоскость) (по А. В. Бричкину)

ные сведения о нем. Хотя эти выработки и нельзя назвать средством разведки, поскольку в их пределах уже нечего разведывать, тем не менее они проливают свет на сопредельные, смежные части месторождения. Кроме того, очистные выработки используются рудничным геологом для контроля процесса добычи полезного ископаемого. В связи с этим в очистных выработках ведутся соответствующие наблюдения, осуществляются документация и опробование, если принятая система разработки позволяет проникнуть в отработанные пространства.

Буровые скважины в целях эксплуатационной разведки твердых полезных ископаемых применяются реже и имеют главным образом вспомогательное значение (вентиляция, опробование). Бывает полезно перед проходкой горной подготовительной выработки «прощупать» намеченный участок серией мелких буровых скважин. В случаях потери смещен-

ной части тела полезного ископаемого во избежание лишних затрат на «бросовые» горные выработки целесообразно предварительно провести поисковое подземное бурение. Довольно широко используются мелкие буровые скважины в качестве разведочных выработок на уступах карьеров при открытых разработках. Здесь они часто служат для опробования, а затем — для закладки взрывматериалов и, таким образом, служат одновременно целям эксплуатации месторождения.

Основными буровыми агрегатами, используемыми в процессе эксплуатационной разведки, являются станки типа ГП-1 и НЗ-2 для бурения мелких колонковых скважин, а также ударно-канатные самоходные агрегаты УА-75. Первые чаще применяются в подземных выработках при разведке жильных зон и трубообразных рудных тел с прихотливым распределением полезных компонентов, когда необходимо получить керн. Ударно-канатные станки обычно применяются при открытых разработках крупных и сравнительно однородных тел полезных ископаемых.

Иногда бывает удобно использовать перфораторные молотки тяжелого типа. В Криворожье на разведочных работах нашли применение перфораторы КЦМ-4 и КС-50, в которых вместо обычных буровых головок навинчивались толстостенные коронки с небольшой колонковой трубой.

В тех случаях, когда на некотором участке тела полезного ископаемого неизбежна проходка горных выработок, бурить на этом участке опережающие скважины в процессе эксплуатационной разведки не следует. Исключением являются лишь некоторые сложные случаи весьма неблагоприятных условий эксплуатации, когда возможны катастрофические прорывы в выработку подземных вод или газа. В этих случаях в передовом забое бурится горизонтальная скважина (обычно станком ГП-1, на глубину 75—100 *м*), через которую отводится угрожающая вода или газ.

Геофизические измерения в стадии эксплуатационной разведки твердых полезных ископаемых применяются редко и главным образом как средства приближенного оконтуривания залежи между двумя разведочными выработками. Здесь может использоваться метод заряженного тела и ондометрия. Для опробования и документации некоторых полезных ископаемых целесообразно также применять методы радиометрии. Конечно, широко используется каротаж (см. раздел третий).

Наряду с геофизическими методами следует развивать применение люминесцентного анализа.

3. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

На долю рудничного (шахтного) геолога выпадает прежде всего проверка всех данных детальной разведки в процессе вскрытия и подготовки месторождения к эксплуатации. И в большинстве случаев она приносит множество новых сведений и о формах, и о качестве, и об изменениях элементов залегания тел полезного ископаемого. Иногда эти данные настолько изменяют первоначальное представление о месторождении, что возникает необходимость в исправлении или дополнении проекта его разработки. Таким образом, в процессе проверки данных предшествующих стадий разведки, благодаря более детальным исследованиям месторождения в стадии эксплуатационной разведки, уточняются формы тела полезного ископаемого, границы между различными сортами руд, качественная характеристика этих сортов и горнотехнические условия эксплуатации: крепость и устойчивость полезного ископаемого и вмещающих пород, обводненность участка и другие важные для данного месторождения вопросы.

Главной особенностью геологической работы на горных предприятиях является использование важных деталей, которые не могли быть выяснены в предшествующие стадии разведки. Эти детали (например, ориентировка

и состав тектонических глинок, важные пересечения структурных элементов и др.) нужно суметь заметить и использовать для углубленных наблюдений за рудным телом.

Выше уже приводилась схема фиксации и разведки рудных столбов. Но все типы столбов и структурные детали хорошо выясняются только при эксплуатационной разведке.

Внутри всех или некоторых форм рудных тел (пластов, жил, рудных зон, труб, штокверков и т. д.) могут в дорудное или внутрирудное время существовать благоприятные структурные участки, обусловливающие образование столбов.

Изучение структуры рудного столба — это изучение структурных деталей на фоне структуры рудных тел; оно позволяет объяснить образование и предсказать появление участков большей мощности или повышенной концентрации металлов. С глубиной и по простиранию рудные столбы могут выклиниваться и вновь появляться, в то время как рудное тело продолжается.

Рудные столбы часто образуются и в более поздние моменты минерализации, например на участках, где поздние трещины пересекают главный канал минерализации.

При изучении рудных столбов, как и вообще при изучении минерализации, нужно учитывать две основные стороны единого процесса: структурную и физико-химическую. Для одних столбов главное значение имеют структуры, для других — физико-химическая обстановка, обусловленная составом и характером растворов, а также составом и характером вмещающих пород.

Выявленные основные типы рудных столбов, связанные с деталями структур, приведены в табл. 34.

Таблица 34

Структурное положение рудных ловушек	Примеры месторождений
1. Участки приоткрывания при относительном движении боков трещин	Степняк (Казахстан), Андреевское (Хакасия)
2. Участки пересечения трещин	Явленское (Восточное Забайкалье), Кан-Сай (Карамазар)
3. Участки сопряжения трещин	Благодатское, Смирновское, Акатуевское и др. (Восточное Забайкалье)
4. Участки внутриминерализационных открытых швов	Дарасунское (Восточное Забайкалье)
5. Участки отделения оперяющих трещин от главного канала	Каразаргинское (Восточное Забайкалье)
6. Участки раскрытия старых трещин или межпластовых контактов вблизи плоскостей движения	Квайса (Кавказ), Берикуль (Западная Сибирь)
7. Участки «расширения» трещин при переходах в более хрупкие породы	Ононское (Восточное Забайкалье)
8. Участки «экранирования» трещинами, сбросами и непроницаемыми породами	Хайдаркан (Средняя Азия)
9. Участки разветвления трещин	Восточный Коунрад (Казахстан)
10. Участки приоткрывания в складках волочения	Брич-Мулла (Средняя Азия)
11. Участки перехода каналов в зоны дробления	Осиновский шток (Восточное Забайкалье)
12. Участки куполовидных осложнений в шарнирных и крыльевых зонах складок	Кадамжай (Средняя Азия)
13. Участки пересечения трещинами «благоприятных» пород	Западное Каразаргинское (Восточное Забайкалье)
14. Участки пересечения трещинами контактов пород, различных по физическим свойствам	Чикой (Забайкалье)

Материал о рудных столбах, в основном связанных с физико-химическими процессами образования рудных тел, еще не систематизирован, хотя многие столбы, например метасоматически образовавшиеся в известняках, играют существенную роль.

Важной задачей является сбор сведений о выклинивании эндогенных рудных тел с глубиной. Кроме общегеологических соображений об их

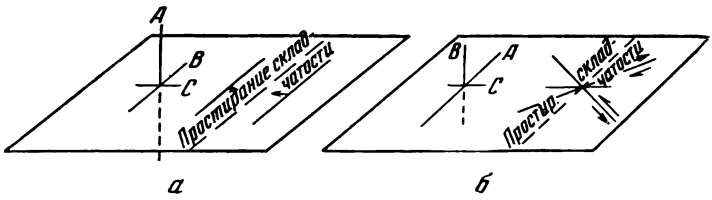


Рис. 142. Положение главных осей деформации и трещин (по А. В. Пэку)

а — ось *А* вертикальна; *б* — ось *А* параллельна простиранию складки

выклинивании, существует статистическая регистрация наблюдений, говорящая о том, что любая изменчивость (по форме и качеству) рудного тела с глубиной является признаком возможного скорого выклинивания тела или ухудшения минерализации. К сожалению, признаки выклинивания, собранные в различных рудных провинциях мира, опять-таки не проанализированы и не обобщены.

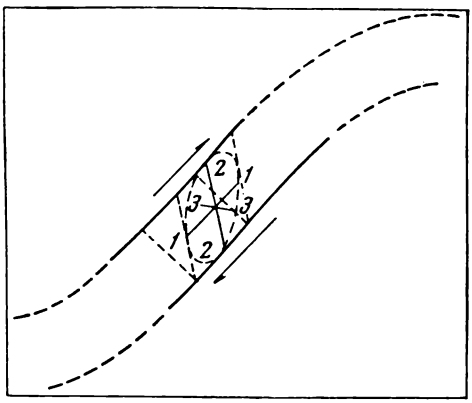


Рис. 143. Схема деформации пласта при складчатом его изгибе (по А. В. Пэку)

Из кратких сведений о структурах рудных столбов видно, что ведущее значение при изучении деталей формы и условий залегания подавляющего большинства месторождений полезных ископаемых имеет установление тектонических дислокаций, предопределивших или изменивших формы залежей. Особую роль играет трещинная тектоника, представленная дорудными, внутрирудными и послерудными нарушениями различного рода.

А. В. Пэк (1947) рекомендует различать:

1) трещины, генетически связанные со складчатостью;

2) трещины, наложенные на складчатость впоследствии.

Среди первых различаются подчиненные общему плану деформации две системы сколовых трещин (рис. 142) и часто возникающие трещины разрыва, перпендикулярные к максимальному удлинению по оси *А* эллипсоида деформации. Поэтому при изучении закономерностей структуры какого-либо участка необходимо стремиться к определению положения в пространстве эллипсоида деформации.

Кроме систем трещин, связанных с общим планом деформации, развиваются менее крупные трещинные нарушения, связанные с отдельными складками. При изгибании пачки пластов происходит проскальзывание их по отношению друг к другу (рис. 143). При этом могут образоваться две системы трещин скалывания (сланцеватости) и трещины разрыва. Такие трещины являются элементами деформации только данного пласта; в соседнем пласте они могут иметь несколько иное положение или даже отсутствовать. Таким образом, сланцеватость, развитая в отдельных пластах, составляет некоторый угол со слоистостью и примерно параллельна осевой плоскости складки.

При разведке эндогенных месторождений всегда важно отличать нарушения дорудные (рис. 144), внутрирудные и послерудные (рис. 145). Признаками послерудных движений являются: рудная брекчия, обломки руды, перемещенные вдоль сброса, истертый рудный материал в составе тектонической глинки, изгибы рудного тела в сторону движений по нарушению.

Доказательством дорудного характера нарушений могут служить (главным образом по Хьюлину):

1) изменение минерализации и морфологии в жиле по обе стороны от нарушения без следов послерудных движений по нарушению;

2) колено, образуемое жилой при подходе к нарушению;

3) рудные прожилки, прорезающие тектоническую глинку;

4) заполнение зоны нарушения в части, прилегающей к жиле, ненарушенным рудным материалом;

5) наличие рудных жил вдоль секущего нарушения.

Некоторые из этих признаков показаны на зарисовках жил золоторудных месторождений (см. рис. 144).

Одна из основных задач изучения послерудных нарушений заключается в определении направления и величины относительного смещения по ним. Самым достоверным способом определения смещения по трещине является непосредственное наблюдение смещения слоев горных пород, даек или других структурных элементов. Трещины, расположенные под острым углом к плоскости основного нарушения и оперяющие это нарушение, иногда помогают установить направление перемещения (рис. 146). Ориентировка линии перемещения и направление перемещения часто определяются по бороздам скольжения, которые, имея клиновидную форму и ступенчатость, указывают на перемещение в сторону выклинивания борозд (рис. 147).

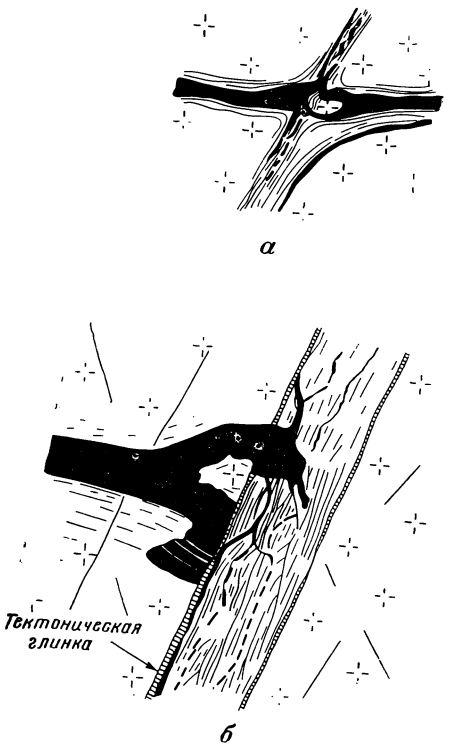


Рис. 144. Характер жилы у дорудной трещины (по Т. М. Кайковой)

а—дорудная трещина малой мощности с тектонической глинкой и прожилками кварца вдоль трещины; *б* — мощная дорудная зона нарушений с ветвистыми прожилками кварца и кальцита

Важной геологической деталью является жильная глинка (*gouge*). Эта глинка образуется в результате трения между породами, слагающими стенки трещины. Толщина слоя глинки колеблется от десятых долей миллиметра до нескольких метров.

Глинка мощностью от 5 *мм* до первых сантиметров может быть представлена тонким истертым материалом. При мощности в несколько десятков сантиметров и выше глинка трения обычно представляет собой довольно грубую раздробленную массу пород, в которой содержится значительное количество истертого материала и сравнительно крупных, частично окатанных обломков пород. Масса эта слоистая, и слои загнуты в сторону движения.

Глинка любого из описанных типов играет очень существенную роль при анализе движения в плоскости трещины. Так, в гранодиоритах Бьютт (Монтана, США) жильная глинка является основным элементом, используемым для доказательства перемещения по трещинам. Здесь создалось целое учение о жильной глинке, помогающей не только расшифровать дви-

жение, но и определить его амплитуду. В Бьютт считают, что мощность глинки пропорциональна амплитуде перемещения, и поэтому картируют глинку на планах и зарисовках в особом масштабе. Эту точку зрения поддерживают и другие рудничные геологи США.

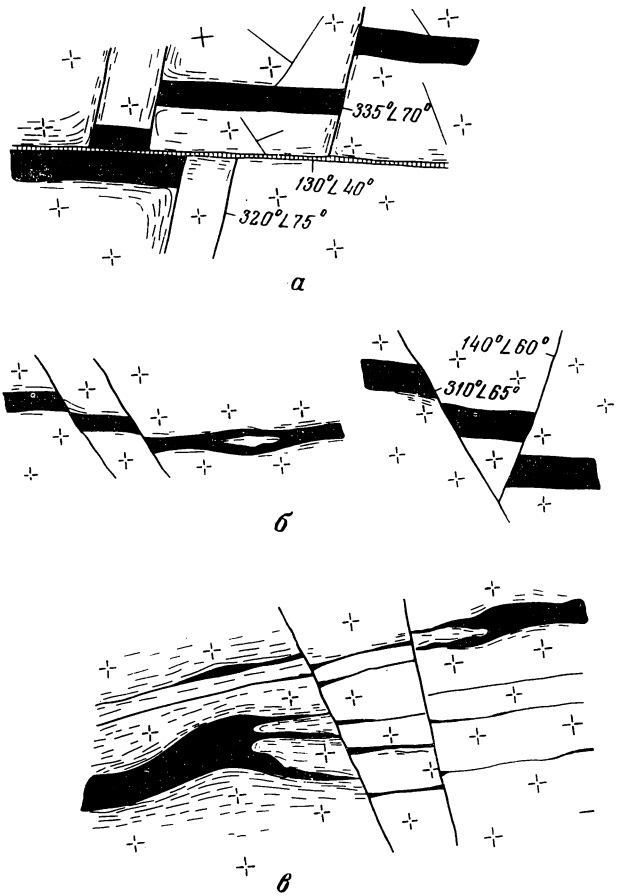


Рис. 145. Послерудные нарушения жил
(по Т. М. Кайковой)
а — смещение жилы типа сброса; *б*, *в* — обычный характер послерудных нарушений

Особенно важно изучение глинки в рудных жилах, залегающих среди изверженных пород, где почти нет других критериев для определения направления и амплитуды смещения. Микроскопическое изучение глинки помогает решить вопрос о том, истерта ли только боковая порода, или движение происходило после или во время минерализации. В последнем случае в истертом материале глинки наблюдаются рудные и жильные минералы. Нередко глинка обнаруживается внутри рудной массы и состоит исключительно из рудных и жильных минералов. Определению направления движения по сбросу помогает ориентировка слоистости в глинке.

Таким образом, жильная глинка помогает расшифровке структуры в ее историческом развитии и должна исследоваться в природной обстановке: а) по условиям залегания, б) по степени истертости материала, в) по мощности и г) по минеральному составу.

Жильную глинку легко перепутать с глинкой, образующейся в результате гипергенных процессов или путем отложения из нисходящих вод, или путем воздействия кислых вод на полевые шпаты. Нисходящие воды

нередко просачиваются по зальбандам жилы, т. е. как раз в тех местах, где чаще всего присутствует глинка трения.

Глинка трения развивается не только в трещинах скалывания, но и между отдельными пластами при межпластовых передвижках.

Глинка трения интересна как с геологической точки зрения, так и с чисто технической. При наличии глинки в зальбандах руда легко отделяется от боковых пород и не «приваривается» к боковой породе.

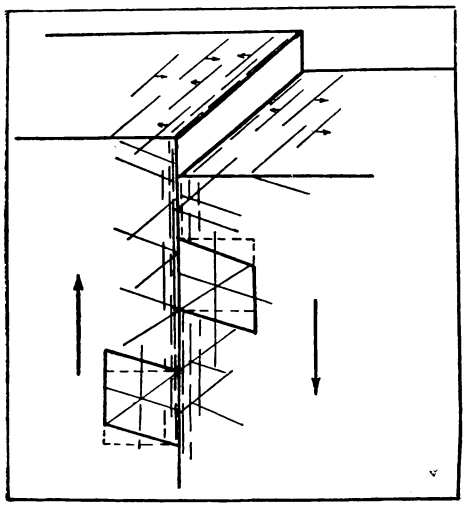


Рис. 146. Образование системы трещин при перемещении блоков горных пород (по А. В. Пэку)

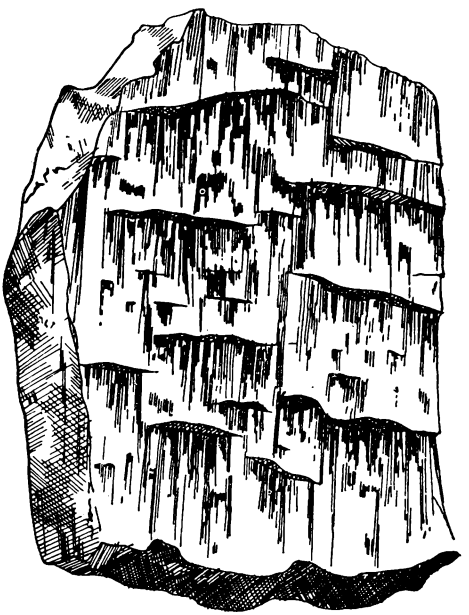


Рис. 147. Зеркало скольжения в кварце (по В. В. Богдановичу)

Параллельно с изучением глинок должны изучаться самые поверхности ограничения жилы или сброса, принимавшие участие в движении.

Большое значение имеют наблюдения над дайками изверженных пород в процессе эксплуатационной разведки рудных месторождений. Дайковые структуры по положению их во времени и в пространстве ближе всего стоят ко многим рудоносным структурам. Можно наблюдать различные соотношения даек и залежей полезного ископаемого. Березовское золоторудное месторождение является классическим примером локализации рудных жил в дайках. Нередко отмечаются пересечения рудных жил дайками (рис. 148) или, наоборот, дайки пересекаются рудными жилами (рис. 149). Местами можно наблюдать пересечение даек рудной жилой, которая в свою очередь пересекается дайками другого типа.

В некоторых районах ассоциации рудных жил с дайками проявляются отчетливо и последние служат признаком рудоносности. Наиболее интересны те структурные соотношения, где жильные трещины являются эпигенетическими по отношению к дайкам. Если протяженные жилы, эпигенетические по отношению к дайкам, строго следуют их направлению (на контактах или в теле самих даек), то оруденение можно считать надежным, распространяющимся на значительные глубины (Березовское месторождение, Морнинг-Стар в Австралии).

Менее сложный комплекс вопросов возникает при эксплуатационной разведке угольных и подобных им простых по форме месторождений. Важнейшее значение здесь имеет изучение тектонических нарушений, влияющих на морфологию угольных пластов. В процессе складчатости угольное вещество ведет себя как пластическая подвижная масса. Поэтому особого

внимания требуют складчатые деформации угленосной толщи, которые приводят к увеличению мощности пласта в шарнирных перегибах и почти полным пережимам в некоторых участках на крыльях складки.

Изменчивость мощности угольного пласта нередко определяется размывом его в прошлые геологические периоды, часто вскоре после сформирования. Поэтому при эксплуатационной разведке ведутся тщательные наблюдения за кровлей пласта.

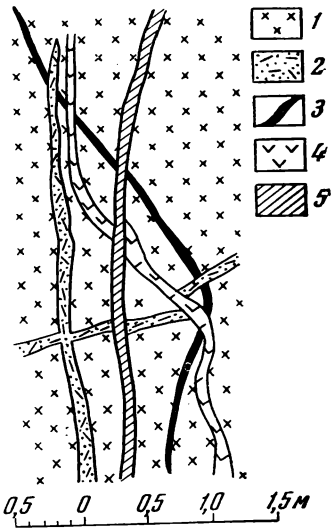


Рис. 148. Пересечение рудной жилы дайками (по Н. И. Бородаевскому)
1 — гранит; *2* — пегматит; *3* — золотоносная кварцевая жила; *4* — лампрофир; *5* —аплит

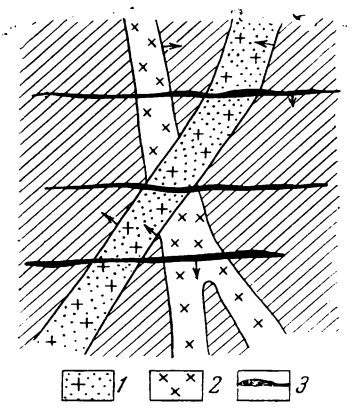


Рис. 149. Пересечение даек рудными жилами (по Н. И. Бородаевскому)
1 — гранит-порфир; *2* — плагиосиенит; *3* — золотоносные кварцевые жилы

Наряду с наблюдениями за кровлей и почвой пласта выясняется характер его выклинивания (рис. 150), проливающий свет на генезис месторождения и имеющий большое значение для оценки промышленных перспектив ближайшего участка угольного месторождения.

При изучении деталей форм и элементов залегания тел полезных ископаемых в период эксплуатационной разведки необычайно возрастает роль исследования контактов между залежью и вмещающими породами, а также между различными типами и сортами полезного ископаемого внутри залежи. Дело в том, что для правильной и эффективной эксплуатации месторождения нужны сведения не об интерполированных и экстраполированных границах тела полезного ископаемого, а о фактических его контурах, которые во многих случаях существенно отличаются от прямолинейных границ, проводимых в результате подсчета запасов даже после детальной разведки месторождения.

Полнотой оконтуривания залежи при эксплуатационной разведке определяется и полнота ее обработки. Неправильное определение контуров залежи ведет к оставлению и безвозвратной потере части полезного ископаемого (в случае преуменьшения размера залежи) или к излишним затратам сил и средств на добычу пустой породы (в случае его преувеличения). Поэтому рудничный (шахтный) геолог должен прежде всего стремиться по возможности полностью проследить контакты каждого тела полезного ископаемого. При четких контактах эта задача сравнительно легко решается с помощью густой сети разведочных и подготовительных горных выработок. Хотя и здесь бывают многочисленные осложнения, обусловленные

причудливыми формами контактов сложных, ветвящихся жил и залежей (рис. 151—153).

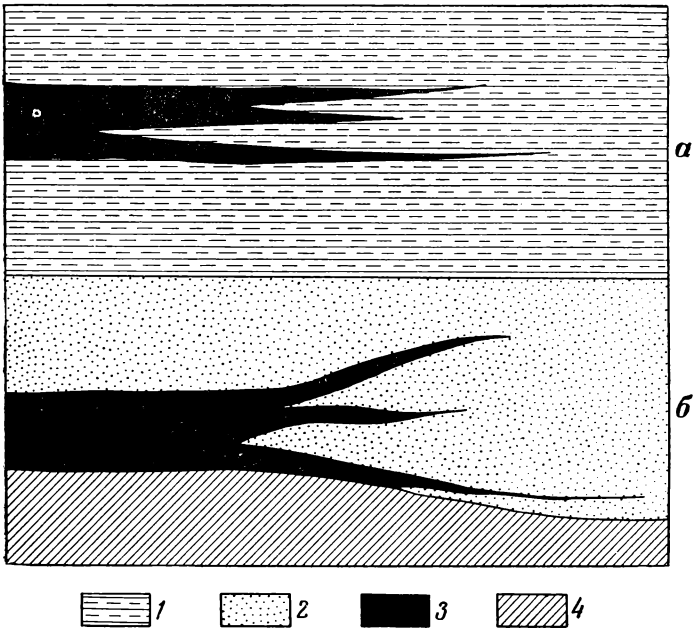


Рис. 150. Виды выклинивания угольных пластов в глинистых породах и песчаниках (по П. В. Васильеву)
1— глины; *2* — песчаники; *3* — уголь; *4* — глинистые сланцы

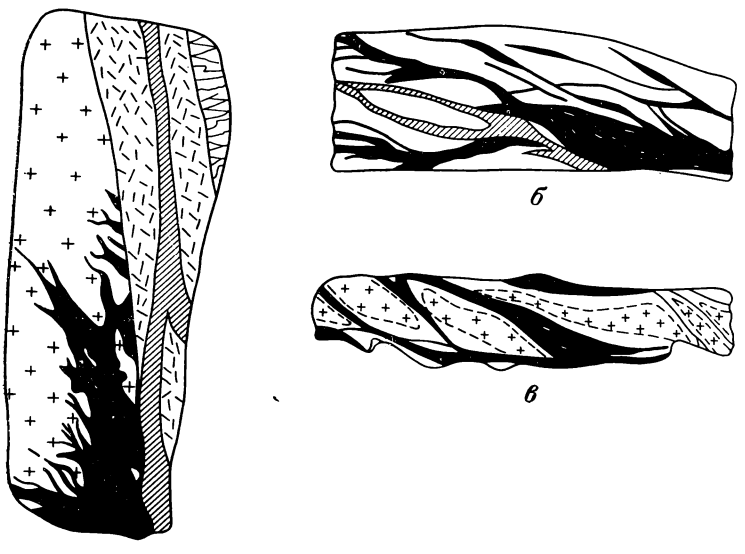


Рис. 151. Формы контактов жил Дарасунского месторождения (по Д. А. Зенкову)
а— жила сложной формы; *б* — ветвящаяся жила; *в* — сочленение жил

Когда же контакты тела полезного ископаемого или границы между различными его сортами нечеткие и не могут быть различимы на глаз, выяснение деталей формы и элементов залегания, необходимое для произ-

водства добычных работ, становится делом трудным и в каждом конкретном случае требует индивидуального подхода.

Удовлетворительное решение задачи оконтуривания эксплуатационных блоков или участков таких месторождений достигается главным обра-

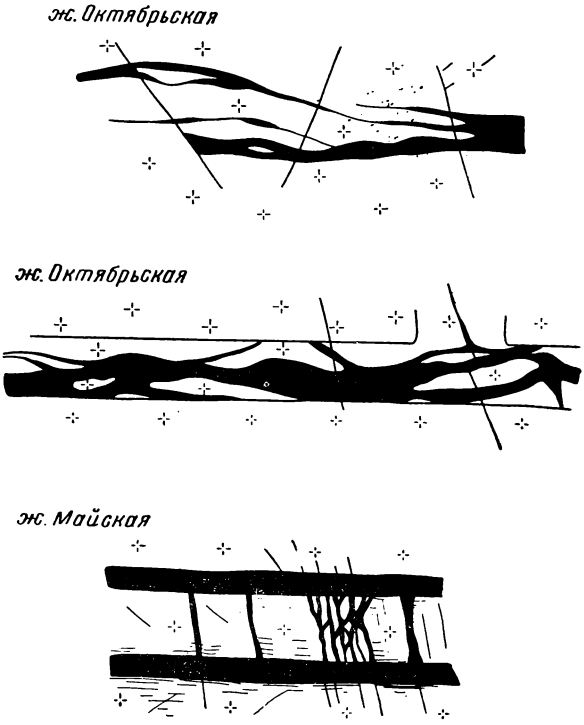


Рис. 152. Характер разветвления и формы жил на Балахчинском месторождении (по Т. М. Кайковой)

зом путем своевременного и рационального опробования разведочных и подготовительных горных выработок. При этом всегда желательна замена множества дорогостоящих массовых проб и химических анализов более простыми средствами исследования качества полезного ископаемого. Целесообразно как можно шире применять электрометрию, радиометрию, люминесцентный анализ, а также спектроскопию и полуколичественные химические экспресс-анализы.

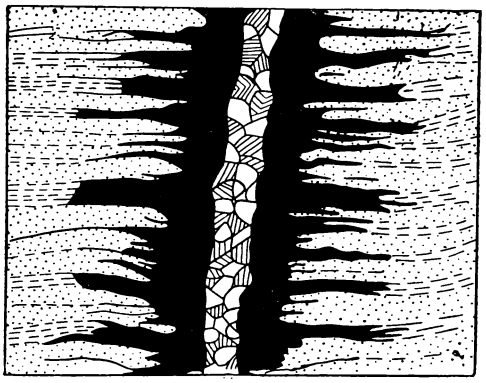


Рис. 153. Сложный контакт кварцево-касситеритовой жилы Корнуэлла

Этими способами часто можно быстро и сравнительно дешево провести границы в приконтактной части месторождения и между различными сортами полезного ископаемого.

Качество и внутреннее строение тела полезного ископаемого настолько тесно связаны между собой, что их можно рассматривать только совместно. В одних случаях качество полезного ископаемого, определяемое процентным содержанием одного или нескольких полезных компонентов (металлические руды), зависит от характера распределения этих полезных компо-

нентов, от текстурно-структурных особенностей, позволяющих извлекать большее или меньшее их количество. В других случаях текстурно-структурные особенности полезного ископаемого прямо определяют его качество (строительные камни, асбест, слюда и др.), так как физические свойства этих полезных ископаемых обусловлены текстурами и структурами минеральных агрегатов. В иных случаях связь внутреннего строения и качества полезного ископаемого обнаруживается в каких-либо важных его свойствах (теплотворная способность, электропроводность, прозрачность и т. п.), зависящих от состава и внутреннего строения полезного ископаемого.

Можно утверждать, что в подавляющем большинстве случаев всякому изменению качества полезного ископаемого соответствует изменение его состава, или строения минеральных агрегатов, или того и другого вместе.

При детальных исследованиях нельзя ограничиваться фиксацией изменений качества полезного ископаемого; необходимо выяснить причины этих изменений, чтобы учесть их в процессе переработки или прямого использования минерального сырья. С другой стороны, выяснение тех или иных деталей и особенностей состава и внутреннего строения руды или иного полезного ископаемого позволяет судить о его качестве, прослеживать и предвидеть изменения качества, что весьма важно для правильной организации добычи и переработки полезного ископаемого. Так, например, появление песчано-глинистых прослоев в пласте угля указывает на изменение его качественной характеристики. Смена одних минеральных ассоциаций другими по простиранию или по падению рудного тела свидетельствует о существенном изменении его состава, определяющем иное назначение руды, а резкое изменение крупности зерен полезных минералов в руде может привести к необходимости изменения технологии ее обогащения и т. п.

Вследствие всего изложенного наблюдения за качеством и внутренним строением полезного ископаемого на действующем горном предприятии ведутся систематически и тщательно на каждом эксплуатационном участке и в пределах каждого эксплуатационного блока.

Качество почти всякого твердого полезного ископаемого оценивается прежде всего по минеральному составу. Поэтому первыми необходимыми исследованиями являются минералогические. Одновременно выясняются и текстурно-структурные особенности полезного ископаемого, знание которых особенно важно для правильной организации процесса переработки минерального сырья. Второй важный элемент качества полезного ископаемого — его химический состав, а также физические свойства — является предметом специальных лабораторных исследований и относится к группе вопросов, связанных с опробованием, специфика которого при эксплуатационной разведке рассматривается в специальной главе настоящего раздела. Здесь же сосредоточивается внимание на тех операциях по изучению качества полезного ископаемого, которые или выполняет сам, или выполнением которых непосредственно руководит рудничный геолог. Сюда относятся главным образом геолого-минералогические исследования.

Мы подчеркиваем в этом виде работ их геолого-минералогическую сущность, так как одни минералогические определения недостаточны для обоснования выводов и прогнозов, которые приходится делать рудничному геологу в процессе эксплуатационной разведки. Только постоянная увязка результатов минералогических исследований с наблюдениями в разведочных и эксплуатационных выработках позволяет правильно оценить качество полезного ископаемого в его пространственном распределении.

Геолого-минералогические исследования слагаются из наблюдений в разведочных, подготовительных и эксплуатационных выработках, из макроскопического изучения образцов (штуфов), иногда полированных, и микроскопического изучения шлифов, аншлифов или шлихов.

К основным вопросам, подлежащим выяснению при геолого-минералогическом изучении качества и внутреннего строения полезного ископаемого, относятся:

1) минеральный состав и парагенетические минеральные ассоциации по различным типам и сортам полезного ископаемого;

2) текстурно-структурные особенности твердых полезных ископаемых в коренных месторождениях;

3) внутриминерализационная тектоника и стадии минерализации, имеющие большое значение для эндогенных месторождений;

4) вмещающие породы и их околорудные изменения, свойственные большинству гидротермальных месторождений;

5) гранулометрическая характеристика россыпных полезных ископаемых.

Минеральный состав и парагенетические ассоциации начинают изучаться уже в забое горной выработки. Первое, что привлекает внимание разведчика в забое, это зерна, агрегаты, прожилки и иные скопления того ценного минерала, ради которого затрачивается так много труда. При этом неизбежно запечатлевается расположение скоплений полезного минерала, его концентрация, а также сопутствующие минералы. В случае комплексного состава руды невольно замечаются различные сочетания полезных минералов: галенита и сфалерита, пирита и халькопирита, пирротина и пентландита, касситерита и вольфрамита, молибденита и шеелита и т. п.

Но так как полностью и с достаточной точностью установить минеральный состав полезного ископаемого в выработке не удается прежде всего из-за недостаточной освещенности, а также вследствие трудной диагностики многих минералов, необходимо отбирать из забоя образцы. Эти образцы или штуфы изучаются уже путем более тщательного минералогического анализа, часто с помощью качественных химических реакций.

Ввиду того, что минералы часто присутствуют в руде в форме очень мелких включений, приходится прибегать к помощи микроскопа. К большей части руд успешно применяются минераграфические методы. Россыпные же полезные ископаемые, а также некоторые коренные руды редких и драгоценных металлов с весьма малым содержанием полезного компонента исследуются с помощью шлихового анализа.

Таким образом удается достаточно точно установить минеральный состав полезного ископаемого и выделить ассоциации минералов, характерные для различных участков месторождения и для различных частей тела полезного ископаемого. При этом весьма важно определить парагенетические ассоциации, помогающие выяснить важные закономерности в распределении компонентов полезного ископаемого. Часто на основании парагенетических ассоциаций устанавливаются признаки, облегчающие прослеживание и оконтуривание залежей в процессе эксплуатационной разведки.

Уже при минералогическом исследовании намечаются сорта руд на основе различных природных типов полезного ископаемого. Обычно выделение сортов производится по одному из трех следующих показателей:

1) по концентрации полезного компонента, определяемой количеством извлекаемых полезных минералов. Так, руда с высокой концентрацией полезного минерала может быть отнесена к сорту «богатых» руд. Руда, содержащая этот полезный минерал в малых концентрациях, будет принадлежать к сорту «бедных» руд;

2) по соотношению нескольких полезных компонентов в комплексном полезном ископаемом и соответственно по различному минеральному составу его в разных частях месторождения или залежи. Например, в полиметаллических месторождениях часто различаются руды: свинцовые, цинковые, свинцово-цинковые, медно-цинковые, медные и т. п.;

3) по различным минеральным формам одного и того же полезного компонента. Такое сортовое разделение имеет место прежде всего на месторождениях глубоко окисленных, например, когда одна часть свинцового месторождения представлена церусситовыми рудами, а другая — галенитовыми, или когда в медном месторождении различаются три зоны: малахита, халькозина и халькопирита и т. п.

Выделенные минералогически сорта полезного ископаемого в большинстве случаев подтверждаются химическими анализами и последующими технологическими испытаниями.

Текстурно-структурные особенности полезного ископаемого выясняются одновременно с определением минерального состава и по тем же этапам исследования — от забоя до микроскопа.

Данные изучения текстур и структур полезного ископаемого используются в двух направлениях:

1) для выяснения генетических черт месторождения, а затем и закономерностей, управляющих распределением полезных минералов, т. е. для понимания основ внутреннего строения месторождения;

2) для установления схемы переработки полезного ископаемого (руды металлов) или его промышленного использования (строительные материалы, индустриальное сырье).

От вариаций форм, размеров и сочетаний минеральных выделений зависит качественная и технологическая характеристика полезного ископаемого, особенно металлических руд, подвергаемых селективному обогащению.

Внутриминерализационная тектоника в стадию эксплуатационной разведки особенно тщательно изучается в связи с выяснением внутреннего строения рудных тел и их отдельных частей. Это позволяет сделать два практических вывода: о генетических особенностях месторождения и о характере распределения различных полезных компонентов в рудах, что важно знать для правильной эксплуатации месторождения.

В результате изучения вещественного состава, текстур и структур руд и наблюдений над тектоническими элементами как в горных выработках, так и под микроскопом появляется возможность связать распределение различных минеральных ассоциаций с тектоническими нарушениями, проявлявшимися в период формирования месторождения. Так возникает понятие о стадиях минерализации и связанных с ними минеральных ассоциациях, разделенных во времени и часто в пространстве этапами тектонической деятельности. Выяснение стадий минерализации и характера внутриминерализационных нарушений позволяет понять генезис месторождения и, кроме того, уточнить закономерности распределения различных полезных компонентов в разных участках месторождения или в разных частях залежи.

Следует иметь в виду, что один и тот же тектонический импульс может создать две категории нарушений: открытые трещины или иные полости, благоприятные для отложения минералов, и зажатые трещины, неблагоприятные для их отложения. Поэтому при оценке распространенности той или иной минеральной ассоциации, выражающей определенную стадию минерализации, необходимо учитывать различия в тектонической обстановке в соответствующую тектоническую фазу на различных участках месторождения и в различных частях рудовмещающей структуры.

Вмещающие горные породы изучаются с двух точек зрения: как составная часть рудной массы и как определенный признак, облегчающий прослеживание тел полезных ископаемых.

Когда месторождение сложено перемежающимися вмещающими горными породами и рудными скоплениями, естественно, большее или меньшее количество этих горных пород попадает в состав минерального сырья. Поэтому необходимо исследовать состав вмещающих пород, чтобы знать, какие посторонние элементы могут привноситься в руду при ее добыче. Некоторые из них могут оказаться вредными примесями и во всяком случае как-то влиять на качество и технологию переработки минерального сырья. При возможности отделения пустых вмещающих пород от рудной массы в процессе добычи необходимо установить надежные отличительные признаки, чтобы каждый рабочий, занятый на сортировке, мог безошибочно различать руду и пустую породу.

Поэтому при изучении и характеристике вмещающих пород имеют значение и их макроскопическое описание (цвет, сложение, крепость и т. п.), и достаточно точное определение состава с помощью микроскопа, а иногда, в частности в тех случаях, когда контакт между залежью и вмещающими породами постепенный, и с помощью химических анализов.

На многих месторождениях вмещающие горные породы имеют большое значение и для правильного направления работ. Так, характерные осадочные породы, подстилающие или перекрывающие продуктивный пласт, представляют собой надежный признак, помогающий правильно ориентировать подготовительные и очистные выработки.

Для магматогенных месторождений, в которых наблюдается приуроченность оруденения к благоприятным породам, можно привести целый ряд примеров эффективного прослеживания рудных тел по этому признаку. Особенно важны наблюдения над гидротермальными изменениями вмещающих пород, позволяющие предугадывать местоположение слепых рудных тел и смещенных частей залежей вплоть до их мелких деталей. На Советском золоторудном месторождении, например, пиритизация вмещающих глинистых сланцев, как правило, указывает на присутствие кварцевых жил, обогащенных золотом. Грейзенизация вмещающих изверженных пород позволяет находить оловоносные и вольфрамитовые жилы. На Березовском месторождении около одной и той же золото-кварцевой жилы наблюдаются полосы серицито-кварцевой породы (березита), когда она пересекает гранит-порфир, и полосы лиственита, когда она пересекает серпентиниты. Скарнирование известняков сопутствует шеелитовым, полиметаллическим, медным и некоторым редкометальным рудным телам и т. д.

Гранулометрическая характеристика состава россыпей имеет большое значение для выявления наиболее обогащенных участков и для установления схемы обогащения песков, а в конечном счете — для наиболее эффективной эксплуатации россыпного месторождения.

В россыпях с хорошо отсортированным материалом наибольшие концентрации полезных минералов часто приурочиваются к участкам или прослойкам, сложенным песками определенной крупности. В россыпях делювиальных и элювиальных, в зависимости от соотношений твердости и устойчивости жильных и рудных минералов коренного источника, рудные минералы концентрируются то в наиболее крупной, то в мелкой фракции. Поэтому для успешного ведения эксплуатационной разведки и правильного направления эксплуатационных работ необходимо выяснять закономерность распределения полезных минералов в зависимости от гранулометрического состава различных частей россыпи. Изучение же связи содержания полезного минерала с различными фракциями продуктивных песков необходимо для правильной организации промывки и грохочения.

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

Геологическая документация при эксплуатационной разведке производится в значительно бо́льших объемах, по сравнению с предшествующими стадиями разведки, так как в период эксплуатации месторождения возрастает число горных выработок и обнажаются многие детали строения месторождения, скрытые от разведчика прежде.

Приемы и способы документирования подземных горных выработок: штреков, квершлагов, восстающих,— а также буровых скважин, проводимых в период эксплуатации месторождения, принципиально не отличаются от применяемых на более ранних стадиях разведки. Следует лишь иметь в виду, что документация, как и другие элементы эксплуатационной разведки, подчинена идее наибольшей детализации. Поэтому на зарисовках и в описаниях в период эксплуатации месторождения появляются такие

подробности, касающиеся тектоники или вещественного состава пород, которые в предшествующие стадии разведки не могли быть выявлены.

Все, что касается настоящей и дальнейшей жизни рудника, не говоря уже о главнейших геологических фактах, должно быть записано и зарисовано. Главное внимание на металлических рудниках должно быть уделено структуре, и поэтому особенно тщательно нужно картировать падение

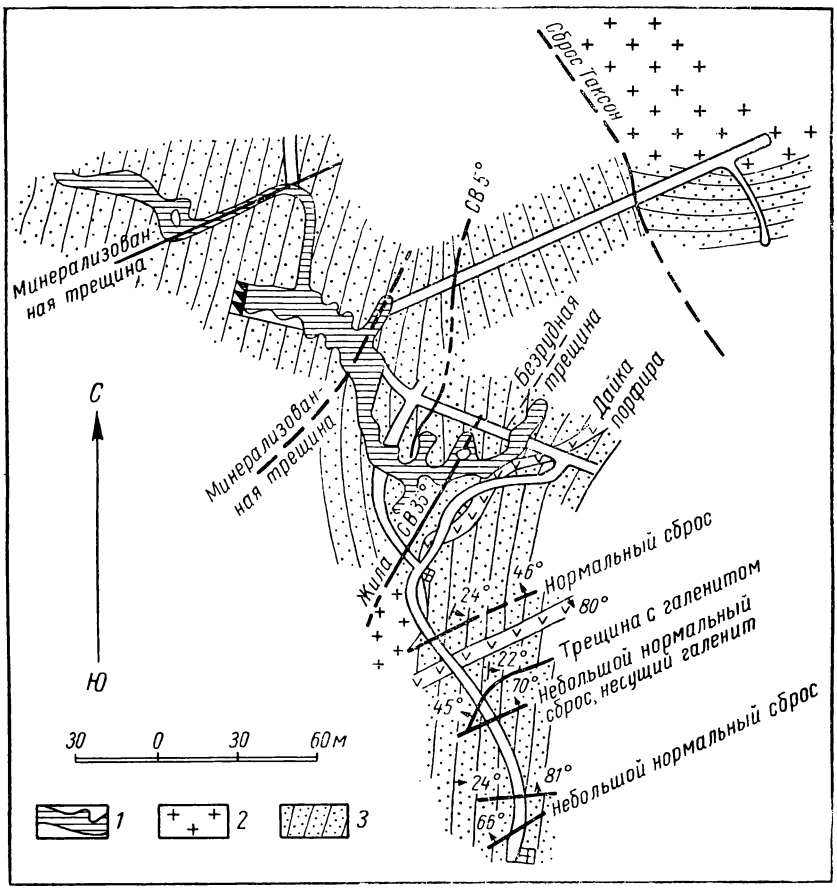


Рис. 154. Подземное картирование на руднике Таксон
1 — **рудное тело**; *2* — **докембрийские граниты**; *3* — кембрийские кварциты

и простирание пластов, трещины, сбросы и взбросы, а также надвиги и относительный возраст всех нарушений. Не наносится на карту, но систематически измеряется и записывается сланцеватость различного типа. Специально изучаются поперечные сбросы, а также продольные, которые встречаются чаще, чем обычно думают, всевозможные расщепления рудных тел при сочленении их друг с другом и с разрывными нарушениями. Внимательно фиксируются направления растащенных вдоль сброса обломков жилы, глинки, брекчии, борозды и царапины. Все наблюдения наносятся на зарисовку с таким расчетом, чтобы пояснений было возможно меньше (рис. 154).

Большое внимание уделяется нанесению на зарисовку всевозможных контактов, даек и малых интрузивных тел. Если вмещающие породы представлены сплошными интрузивными массами или эффузивными толщами, то внимательно картируются все резкие и постепенные переходы этих пород.

На зарисовках отражается минеральный состав руд и все его изменения по простиранию и падению, а также характер и масштаб изменения боковых пород; фиксируются также все детали формы жил, рудных столбов, всевозможные изменения падения и простирания самой рудной трещины.

Геологическая документация в период эксплуатации ввиду максимальной детализации может значительно усложниться. Но во многих случаях она может быть и упрощена благодаря исключению из зарисовок и описаний несущественных для данного месторождения фактов. Например, если наблюдаемая трещиноватость или какие-либо минеральные ассоциации не имеют значения для эксплуатации месторождения, то они могут и не фиксироваться. В то же время требуется очень подробная документация таких элементов, которые отражают наиболее важные с точки зрения разведки и будущих очистных работ черты месторождения: формы и типы контактов, сорта полезного ископаемого, вариации вещественного состава внутри сортовых границ и т. п.

Многие геологи справедливо употребляют термин «подземное геологическое картирование». Отличить подземную сводную документацию от картирования трудно, но получаемые геологические документы принято называть не картами, а планами; название «разрезы» сохраняется и за соответствующими подземными сводными графическими документами. Масштабы этих планов и разрезов колеблются в довольно широких пределах: от 1 : 500 до 1 : 100, а отдельные зарисовки выполняются даже в масштабах 1 : 50—1 : 10. Как и при наземном картировании, масштаб в основном определяется сложностью геологического строения месторождения. При простом строении обычно картируются только основные штреки и восстающие; при усложнении картины используются вспомогательные и очистные выработки. Известны случаи, правда весьма редкие, когда расстояние между планами и разрезами составляло всего 5 *м* и даже 2 *м*.

Правильная работа рудника в значительной мере зависит от детального и своевременного составления всего этого графического материала.

Главное отличие геологической документации при эксплуатационной разведке состоит в том, что на этой стадии часто бывает целесообразно, а иногда совершенно необходимо производить документирование очистных выработок. Необходимость эта определяется прежде всего интересами правильной проходки самих очистных выработок, а часто вызывается и задачами разведки, так как графические материалы по очистному пространству лучше всего освещают перспективу сопредельных частей месторождения.

Документация подземных очистных выработок нередко вносит существенные коррективы в первоначальные представления о форме залежи и о распределении в ее пределах полезных компонентов и пустых пород; кроме того, она дает возможность решать текущие вопросы добычи: определять тоннаж добытой руды по ее объему в очистном пространстве, выяснять причины потерь и разубоживания. Обычно эта документация ведется на маркшейдерской основе и в сроки, соответствующие этапам маркшейдерских измерений. Желательно процесс документирования также совмещать с опробованием очистных выработок.

Разнообразие систем разработки не дает возможности установить единую методику документации очистных выработок, и характер зарисовок и описаний вырабатывается в каждом конкретном случае отдельно. Можно лишь указать, что в одних случаях удается осуществлять непосредственные наблюдения в выработках, в других такие наблюдения невозможны и поэтому документация оказывается менее полной.

Непосредственные наблюдения и достаточно полная геологическая документация в большинстве случаев возможны при таких системах разработки, при которых отбойка полезного ископаемого производится мелкошпуровым способом. Сюда можно отнести системы: почвоуступную, потол-

коуступную с магазинированием руды, камерно-столбовую, слоевого обрушения, системы с креплением и закладкой выработанного пространства (Альбов, Быбочкин, Логиновский, 1956).

При системах разработки с закладкой выработанного пространства и с магазинированием руды обычно документируется кровля по каждому очистному слою. Эти данные позволяют составлять послойные планы и де-

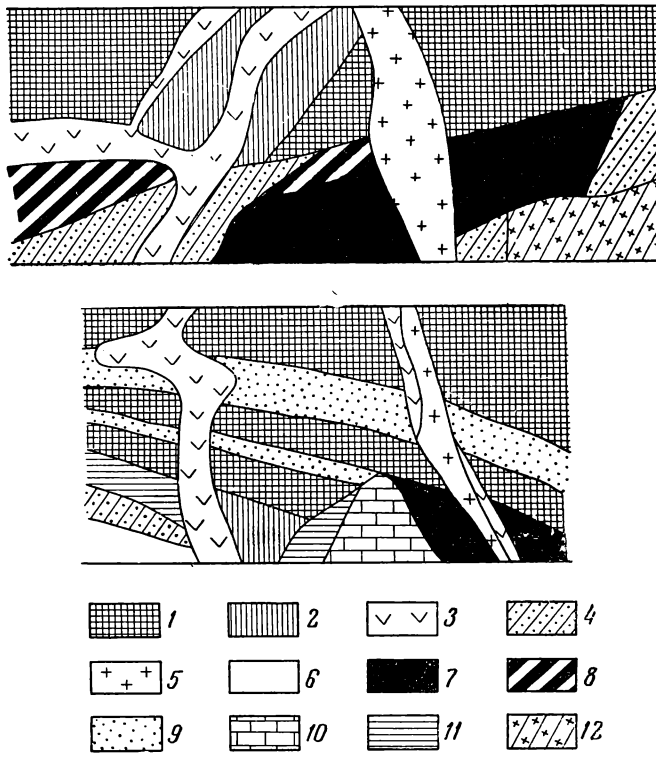


Рис. 155. Сложное строение забоя в карьере горы Магнитной (по М. Н. Альбову)

1 — руда окисленная; *2* — руда бедная; *3* — диориты; *4* — скарны; *5* — кератофиры; *6* — атачит; *7* — сернистая руда (первичная); *8* — убогая первичная руда; *9* — роговики; *10* — известняки; *11* — лимонит; *12* — гранодиориты

тальные вертикальные разрезы. При системах разработки с креплением очистного пространства в зависимости от элементов залегания тела полезного ископаемого и общей конфигурации очистной выработки документируются или забои через каждые 2—3 *м* уходки, или кровля на всем ее протяжении.

Системы же подэтажных штреков, системы с отбойкой минными камерами, системы подэтажного обрушения и т. п. не позволяют произвести полную зарисовку и описание выработанного пространства. Поэтому здесь приходится ограничиваться документацией подготовительных выработок, сбором шлама из пробуриваемых длинных шпуров и иногда получаемого из минных скважин керна. При системе подэтажных штреков, например, документируются прежде всего подэтажные штреки и восстающие, а также пробуриваемые для отпалки скважины (по шламу или керну). Если разрабатывается мощная залежь, то документации подвергаются также орты, проводимые из подэтажных штреков.

Многочисленные примеры систем разработки приведены в ряде специальных работ (Альбов, Быбочкин, Логиновский, 1956, и др.).

Характер документации открытых очистных выработок определяется сложностью разрабатываемого месторождения. В простейшем случае объект

бывает представлен одним рудным телом одного сорта руды. В более сложных случаях в состав разрабатываемой толщи входит несколько сортов одного и того же типа руды, иногда перемежающихся с безрудными участками. Наконец, самым сложным является такое геологическое строение месторождения, когда в состав рудной толщи входят различные типы и сорта руд, перемежающиеся с пустыми породами и подвергшиеся тектоническим нарушениям (рис. 155).

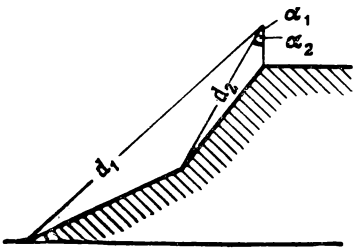


Рис. 156. Съемка профиля уступа (по М. Н. Альбову)

В условиях сложного геологического строения роль геологической документации карьера весьма ответственна; приходится следить за изменениями форм и распределения рудных тел и блоков шаг за шагом, по мере продвижения экскаватора и бурения взрывных скважин, которые в то же время являются разведочными скважинами.

Общепринятым масштабом геологических зарисовок в карьерах является масштаб 1 : 500. Зарисовка выполняется в виде развертки стенки уступа, спроектированной на вертикальную плоскость. Если не удается использовать для зарисовки маркшейдерские профили бортов карьера, то можно прибегнуть к простейшей съемке с помощью эклиметра. Такая съемка осуществляется следующим образом: рулеткой, на конце которой привязан груз, промеряются расстояния от верхней бровки уступа до интересующего пункта, а эклиметром измеряются соответствующие углы наклона ленты; по результатам измерений составляется серия профилей уступа (рис. 156), а затем все данные этих профилей переносятся на развертку стенки уступа.

Последовательное документирование уступов позволяет в результате составить эксплуатационно-разведочный план карьера, который пополняется новыми данными по мере развития очистных работ (рис. 157).

ГЛАВА II

ОПРОБОВАНИЕ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На действующем горном предприятии по сравнению с периодом разведки значительно расширяется круг вопросов, решаемых с помощью опробования. Соответственно этот вид работы усложняется и увеличивается в объеме. Кроме чисто разведочных задач, в период эксплуатации месторождения опробование служит целям рациональной и максимально полной добычи полезного ископаемого и является средством контроля технологии переработки минерального сырья.

Опробование горных выработок и буровых скважин при эксплуатационной разведке принципиально не отличается от опробования, осуществляемого в предшествующие периоды разведки. Лишь иногда бывает целесообразно, опираясь на достоверные данные ранее проведенного опробования, несколько реже отбирать пробы. В других случаях опробование ранее изучавшихся разведочных выработок в стадии эксплуатационной разведки приобретает функцию контроля, в связи с чем применяется более точный способ опробования. Например, если до начала эксплуатации месторождение опробовалось точечным или бороздовым способом, то в период эксплуатационной разведки иногда бывает полезно провести на некоторых участках валовое опробование.

Основное отличие опробования, осуществляемого в период эксплуатации, состоит в том, что на этой стадии опробованию подвергаются очист-

ные горные выработки и массы добытого ископаемого на пути от места добычи до пункта передачи минерального сырья потребителю или перерабатывающему цеху (обогатительной фабрике, сортировочной и т. п.). На современных предприятиях часть работы по опробованию добытого полез-

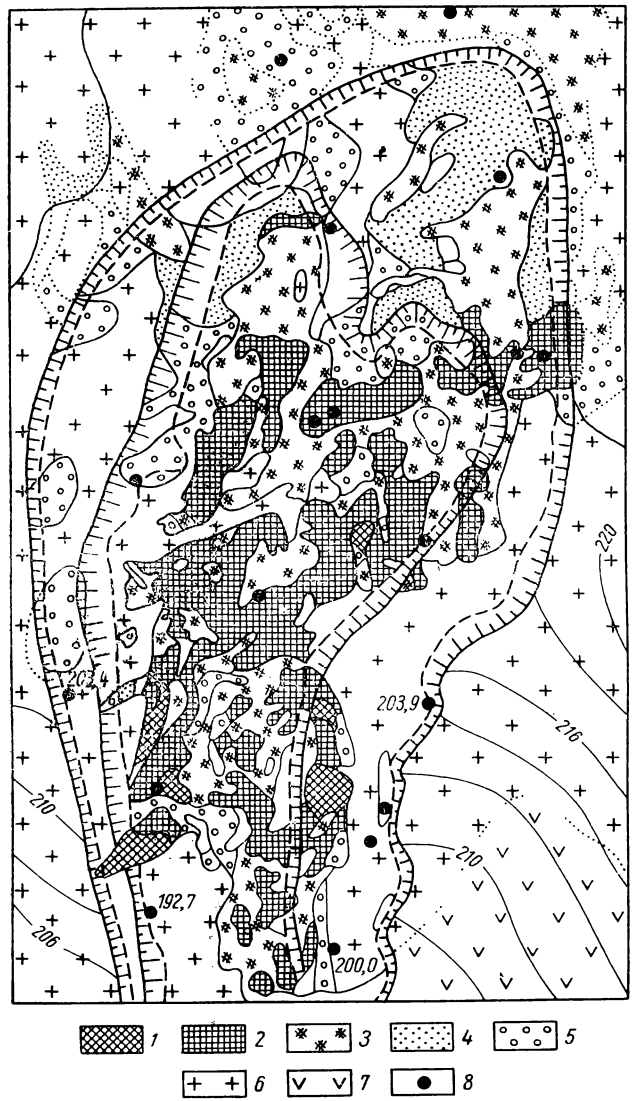


Рис. 157. План карьера на железорудном месторождении (по М. Н. Альбову)

1 — магнетитовые руды (Fe 45%); *2* — богатые магнетитовые скарны (Fe 30—45%); *3* — магнетитовые скарны (Fe 20—30%); *4* — убогие магнетитовые скарны (Fe 15—20%); *5* — безрудные скарны; *6* — сиениты эндоконтактовые; *7* — сиениты зернистые; *8* — скважины колонкового бурения

ного ископаемого ложится на органы предприятия, ведающие транспортировкой и контролем качества. Но нередко всю деятельность по определению качества добываемых руд и добытого сырья возглавляет рудничный геолог. Во всяком случае он при любых обстоятельствах должен быть осведомлен о ходе и результатах опробования в различных звеньях производственного процесса и должен контролировать постановку опробования в методическом отношении.

1. ОПРОБОВАНИЕ В ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Опробование в очистных выработках производится в целях: а) подсчета запасов, оставшихся в разрабатываемых блоках (на уступах); б) определения потерь и степени разубоживания полезного ископаемого при добыче; в) текущего контроля качества добываемого полезного ископаемого.

Опробование в целях подсчета запасов, оставшихся в разрабатываемых блоках, вызывается необходимостью составления баланса полезного ископаемого к началу каждого эксплуатационного периода (полугодия, квартала). Это опробование носит разведочный характер и методически не отличается от обычного разведочного опробования. Рекомендуется опробовать очистные забои по всей их длине в пределах блока, что вместе с опробованием подготовительных выработок, ограничивающих оставшуюся невынутой часть блока, позволяет довольно точно подсчитать запасы в этой части. Расстояние между пробами и количество проб, подлежащих объединению, следует выбирать такими же, как в подготовительных выработках.

Потери и разубоживание полезного ископаемого в процессе эксплуатации месторождения зависят от комплекса геологических факторов, от системы разработок и от организации работ. К числу геологических факторов относятся: «прикипание» руды к вмещающим породам; неровности лежачего и висячего боков, в связи с чем часть руды остается невынутой, а в добытую рудную массу попадают безрудные вмещающие породы; тектонические нарушения, обусловливающие неполноту выемки в зонах смятия или разубоживание полезного ископаемого вследствие вывалов пустых пород; неустойчивость пород висячего бока, вызывающая необходимость оставления охранного целика руды.

К этим чисто природным факторам добавляется влияние принятой системы разработки и техники добычи полезного ископаемого, в результате чего иногда потери достигают значительных размеров (до 20%), а разубоживание сильно искажает представление о качестве полезного ископаемого, осложняя дальнейшую его переработку или непосредственное использование. Поэтому для выяснения размеров потерь и разубоживания с целью их максимального сокращения производится систематическое или выборочное опробование очистных выработок.

Опробование очистных выработок позволяет определить *in situ* содержание полезных компонентов в руде и во вмещающих породах в контуре отработанного за определенный период пространства. При этом отбор проб обычно производится теми же способами, что и в подготовительных выработках. Общее количество проб, отбираемых из эксплуатационного блока, зависит от степени неравномерности оруденения. Для ориентировочного определения числа проб, обеспечивающего вычисление содержания металла за отчетный период с минимальной погрешностью, можно пользоваться табл. 35.

Указанные в этой таблице количества проб могут быть приняты и для блоков несколько больших и несколько меньших размеров при рудных телах малой и средней мощности. Для тел большой и весьма большой мощности (свыше 10 *м*) количество проб увеличивается. В этих случаях необходимое количество проб n' можно определить из выражения

$$n' = \frac{n\gamma}{\delta^2}, \qquad (122)$$

где n — количество проб, рекомендуемое для аналогичных месторождений малой мощности (см. табл. 35);

γ — отношение средней мощности опробуемого тела полезного ископаемого к средней длине секции пробы вдоль линии опробования;

δ — отношение коэффициента вариации, указанного в табл. 35, к коэффициенту вариации опробуемого месторождения (по содержанию металла).

Таблица 35

Количество проб на блок 40×60 *м*

(по Н. В. Барышеву)

Характеристика месторождения по степени неравномерности распределения металла (для полиметаллических месторождений — одного из непостоянных по содержанию промышленно ценных металлов). Коэффициент вариации	Примеры месторождений	Общее количество индивидуальных проб по очистным выработкам	Количество объединенных проб
Равномерные *V*—до 20—40%	Многие месторождения осадочного происхождения: некоторых углей, стройматериалов, фосфоритов, солей, серы, глин, каолинов, железных и марганцовых руд, бокситов и пр.	20—100	10—25
Неравномерные *V*=40—100%	Месторождения главным образом магматического цикла, в частности гидротермальные, контактовые и замещения: преобладающее большинство медных и полиметаллических месторождений, некоторые месторождения никеля, вольфрама, молибдена, некоторые золоторудные месторождения	100—320	25—30
Весьма неравномерные *V*=100—150%	Месторождения того же цикла, что и предыдущие: некоторые полиметаллические, многие месторождения олова, вольфрама, молибдена и других редких металлов, а также многие месторождения золота	320—450	30—40
Крайне неравномерные *V*—больше 150%	Месторождения того же цикла, что и предыдущие: немногие месторождения редких металлов и золота	450—600	40—50

Примечания. 1. Коэффициенты вариации содержания металла вычислены по бороздовым пробам обычных, принятых в практике размеров.

2. Количество индивидуальных проб установлено эмпирически и является максимальным. Можно полагать, что практически количество их может быть меньше. Число анализов может быть меньше указанного количества индивидуальных проб в связи с целесообразностью их объединения.

Вмещающие породы должны опробоваться с учетом мощности рудного тела, крепости и устойчивости боковых пород, характера контактов. Если заведомо известно, что содержание полезного компонента во вмещающих породах подвержено незначительным колебаниям, то в систематическом опробовании их нет необходимости; в этом случае по каждому блоку достаточно взять 15—20 равномерно расположенных проб из боковых пород. В случае нечетких контактов и значительных колебаний содержания густота сети опробования вмещающих пород может быть ориентировочно определена по той же таблице 35.

Вторым этапом определения потерь и разубоживания полезного ископаемого является опробование добытой массы минерального сырья. В зависимости от принятой системы разработок и характера полезного ископаемого пробы могут отбираться непосредственно в очистных выработках, например при магазинировании, или из вагонеток при погрузке.

В очистных выработках отбор проб производится способом вычерпывания. Размеры сетки при этом определяются исходя из веса проб, который приходится на тонну добытой рудной массы: 0,1—0,2 *кг* для весьма равномерных и равномерных руд, 0,6 *кг* для неравномерных, 3 *кг* для весьма неравномерных и крайне неравномерных.

В вагонетках пробы берутся с поверхности нагруженной рудной массы, из трех точек при равномерных и неравномерных рудах и из пяти точек при весьма неравномерных и крайне неравномерных. Веса проб в каждой точке должны быть примерно следующие: при равномерных рудах 0,3—0,5 *кг*, при неравномерных 1 *кг*, при весьма неравномерных и крайне неравномерных 2 *кг*. Пробы равномерных руд берутся с каждой десятой вагонетки, неравномерных — с пятой, весьма неравномерных и крайне неравномерных — с третьей.

Из всех проб добытой массы полезного ископаемого составляется объединенная суточная проба, подвергающаяся необходимым испытаниям. В дальнейшем из суточных проб могут составляться недельные и месячные объединенные пробы, характеризующие среднее качество полезного ископаемого, добытого за соответствующий период.

Опробование, организованное в целях определения потерь и разубоживания по группе одновременно разрабатываемых блоков, позволяет сократить общее число проб за счет выборочного опробования части блоков и опробования массы минерального сырья, собранной из всех действующих забоев (на перевалочном пункте или на обогатительной фабрике). При этом необходимое количество проб определяется общими размерами эксплуатируемого участка и месячной производительностью предприятия.

Если, например, месячная производительность предприятия $q=50$ тыс. $т$ руды, средняя мощность жилы $m=2$ *м*, объемный вес руды $d=2{,}5$, то общая площадь жилы, разрабатываемой за месяц,

$$S=\frac{q}{md}=\frac{50\,000}{2\cdot 2{,}5}=10\,000\ м^2.$$

Число блоков размером 40×60 *м*, эквивалентное по запасам месячной добыче, определится из отношения

$$N=\frac{S}{S_{бл}}=\frac{10\,000}{2\,400}\approx 4{,}2.$$

По табл. 35 можно ориентировочно определить необходимое число проб; например для месторождения с весьма неравномерным оруденением при $V=130\%$ оно составит ~ 400. Тогда из каждого блока необходимо отбирать в течение месяца в среднем

$$n=\frac{400}{4{,}2}\approx 95\ \text{проб}.$$

Текущий контроль качества добываемого полезного ископаемого является одной из важных проблем эксплуатации. Он базируется главным образом на опробовании, которое одновременно служит целям определения потерь и разубоживания. В некоторых случаях, когда качество добываемого минерального сырья резко не соответствует кондициям, производится дополнительное выборочное опробование по густой сетке.

Специфический характер носит опробование с целью направления селективной выемки полезного ископаемого. Целесообразность селективной выемки определяется тремя признаками: 1) физическими свойствами полезного ископаемого; 2) различием в его минеральном составе; 3) различным содержанием полезного компонента. Первые два признака устанавливаются по данным геологической документации очистных забоев; опробование здесь имеет подчиненное значение и является выборочным. Если же промышленные сорта выделяются только по содержанию полезного компонента, то вопрос о возможности селективной добычи решается главным образом на основании опробования.

Число проб, обеспечивающее правильное решение вопроса о селективной добыче, нельзя считать установленным. В практике действующих предприятий по-разному подходят к решению этой задачи. Можно лишь отметить, что плотность сети проб должна быть, по-видимому, не меньше, чем при опробовании сложного месторождения в процессе детальной разведки. Излишняя экономия на опробовании может привести к напрасным затратам на раздельную выемку, сортировку и нерациональный процесс переработки полезного ископаемого.

Необходимо также иметь в виду, что детальное опробование ради селективной добычи имеет смысл лишь тогда, когда результаты испытаний проб могут быть получены своевременно. В противном случае, при выполнении этих испытаний с запозданием (после выемки опробованной части блока), оно бесцельно.

2. ОПРОБОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Опробование добытого полезного ископаемого, кроме определения потерь и разубоживания, служит:

а) для производства технологических и коммерческих расчетов с потребителями;

б) для определения запасов минерального сырья в отвалах.

При опробовании, выполняемом для технологических и коммерческих расчетов, выбор способа опробования определяется следующими факторами:

1) весом партии полезного ископаемого, являющейся расчетно-коммерческой единицей;

2) крупностью материала, подлежащего опробованию;

3) характером распределения полезного компонента;

4) заданной точностью опробования;

5) условиями погрузки и разгрузки минерального сырья.

Чем больше партия, тем меньшая ее часть отбирается в исходную пробу. Чем крупнее материал, чем неравномернее распределение полезных минералов и чем крупнее зерна этих минералов, тем большим весом должна обладать проба.

При обычной погрузке и разгрузке руды без применения транспортерных устройств отбор проб осуществляется двумя способами: вычерпывания или фракционным.

Первый заключается в том, что на навале полезного ископаемого мысленно разбивается сетка и из центров ее ячеек отбираются частичные пробы, составляющие затем общую пробу данного вагона или кучи. В зависимости от степени неравномерности распределения полезного компонента из одного вагона отбирается от 3—5 до 16—20 частичных проб. При весьма неравномерных рудах должен опробоваться каждый вагон. Способом вычерпывания опробуются обычно железные и марганцовые руды, угли, медные руды, бокситы, флюсовое сырье.

Для опробования весьма неравномерных и крайне неравномерных руд (золото, редкие металлы) применяется фракционный способ взятия проб. Он состоит в отборе n-й погрузочной единицы (ковша, лопаты, тачки) при погрузке или разгрузке минерального сырья. Этот способ удобен и может

обеспечить любую точность при взятии пробы, но большие веса получающихся проб (до 5 *т*) затрудняют процесс их обработки.

В случае опробования при погрузке, осуществляемой с помощью ленточного транспортера, следует применять автоматический пробоотбор, который не только выгоден в технико-экономическом отношении, но и обеспечивает более высокую точность опробования.

Следует отметить еще способ полного вычерпывания, который применяется при опробовании небольших партий минерального сырья (до 40—50 *т*), требующих точной характеристики качества (редкие и драгоценные металлы).

Способ этот состоит в следующем: поступающее минеральное сырье ссыпается конусом на площадку, и как только накапливается примерно 1/10 партии, производится развертка конуса в диск высотой 20—25 *см*; на диск набрасывается веревочная сетка, по которой и отбираются частичные пробы. После отбора пробы материал перегружается по месту назначения. Такие же операции производятся с каждой из остальных частей партии.

Количество частичных проб и их веса в зависимости от характера оруденения и крупности материала приведены в табл. 36.

Опыты с золотыми рудами, проведенные Н. В. Барышевым и П. Л. Каллистовым, показали высокую точность опробования способом полного вычерпывания.

Таблица 36

Количества и веса частичных проб при неравномерном, весьма неравномерном и крайне неравномерном оруденении

Крупность материала в *мм*	Неравномерное оруденение		Весьма неравномерное и крайне неравномерное оруденение	
	число проб	вес пробы в *кг*	число проб	вес пробы в *кг*
до 5	80	2,5—3	100—120	3—4
5—12	110	4—5	140—180	5—6
25—50	150	6—7	300—400	7—8

Опробование отвалов в процессе их накопления рекомендуется осуществлять способом вычерпывания. Отбор частичных проб целесообразно производить ежесуточно, но обычно пробы отбираются раз в 2—3 дня. Разумеется, интервалы между отбором проб прежде всего зависят от производительности рудника, т. е. от количества поступающей в отвал руды.

Густота сети опробования, количество частичных проб и их вес могут определяться исходя из соображений, изложенных при характеристике опробования отбитой руды в очистных выработках. Следует, однако, иметь в виду, что удовлетворительная точность опробования достигается главным образом достаточным количеством частичных проб. Для неравномерных по качеству руд количество частичных проб на отвале должно быть не менее 20, а для весьма неравномерных и крайне неравномерных — не менее 40.

При опробовании отвалов необходимо следить за тем, чтобы крупные куски полезного ископаемого не откатывались за границы отвала; для этого можно выложить изгородь у подошвы отвала из тех же крупных кусков.

Целесообразно после каждого цикла отбора проб вбивать колья в нескольких характерных точках отвала, чтобы ориентироваться в размерах участка отвала и толщине нового слоя, подлежащего опробованию в следующий раз.

Объединение нескольких цикловых проб должно производиться с сохранением соотношения их начальных весов.

ГЛАВА III

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в период эксплуатации месторождения подчинены идее наиболее детального выяснения обводненности месторождения и физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород. Поскольку гидрогеологические условия и физико-механические свойства горных пород, зависящие от многих природных факторов и технических способов вскрытия месторождения, могут сильно изменяться и по глубине и по площади, в период эксплуатации месторождения необходимо знать условия обводненности, крепость и устойчивость горных пород на каждом участке вплоть до отдельного эксплуатационного блока.

Следует иметь в виду, что если в период разведки, предшествующий эксплуатации месторождения, в большинстве случаев, особенно в сложных гидрогеологических условиях, действует специализированная гидрогеологическая организация (партия, отряд), то на эксплуатируемом месторождении повседневное решение частных гидрогеологических и инженерно-геологических вопросов обычно возлагается на рудничного геолога. Поэтому рудничный геолог должен быть достаточно хорошо знаком с вопросами гидрогеологии и инженерной геологии.

1. РУДНИЧНЫЕ ВОДЫ

Под термином «рудничные воды» следует понимать подземные и поверхностные воды, проникающие в горные выработки и оказывающие определенное влияние на вскрытие и эксплуатацию месторождения. Важнейшей задачей гидрогеологических исследований на действующем горном предприятии является определение обводненности эксплуатируемого месторождения и условий поступления воды в горные выработки.

Обводненность месторождения зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются следующие:

1. Климатические условия. Основным, а во многих случаях единственным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки. Влияние атмосферных осадков на обводненность горных выработок подтверждается многочисленными наблюдениями, заключающимися в сопоставлении притоков воды в выработки с количеством выпадающих атмосферных осадков по сезонам.

2. Рельеф поверхности. Обводненность месторождения при одинаковых свойствах горных пород может быть резко различной в зависимости от строения и форм рельефа. Породы, залегающие выше местного базиса эрозии, бывают слабо обводненными или практически безводными. Эти же породы могут оказаться сильно обводненными, если они залегают ниже местного базиса эрозии.

3. Фильтрация воды в горные выработки из открытых водоемов и водотоков. Во многих случаях источником обводнения горных выработок служат расположенные поблизости реки, озера, пруды.

4. Степень водопроницаемости пород, покрывающих залежь полезного ископаемого. Поступление воды в горные выработки зависит от мощности и водопроницаемости покровных отложений. Хорошим изолятором, предотвращающим проникновение поверхностных вод в выработку, являются глины и суглинки.

5. Литологический состав и текстуры горных пород, слагающих месторождение. Степень водоносности горных пород зависит от их пористости. Некоторые породы таят в себе опасность для горных работ вследствие наличия в их составе легкорастворимых минералов (соли, гипс, и т. п.).

6. Тектонические нарушения. Концентрированное поступление воды в горные выработки, проходимые в плотных породах, часто связано с пересечением зон тектонических нарушений. Иногда прорывы воды через тектонические нарушения носят катастрофический характер.

Все эти факторы должны учитываться при проходке подготовительных и очистных выработок. В опасных случаях, когда возможно поступление больших количеств воды или плывунов в горные выработки (карст, тектонические нарушения), из выработок производится специальное опережающее бурение (рис. 158) для разведки обводненных зон, предупреждения катастрофического прорыва воды или плывунов и снижения напоров.

Правильное определение притоков воды в горные выработки имеет большое значение, так как позволяет принимать эффективные меры по борьбе с рудничными водами и строить прогнозы обводненности выработок.

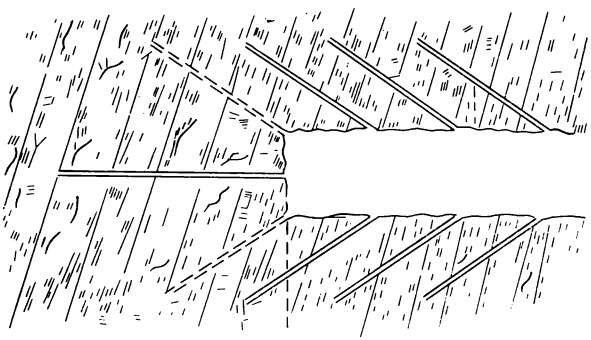


Рис. 158. Передовые гидрогеологические скважины (по Д. И. Щеголеву)

Для приближенного определения ожидаемого притока Q_2 в горизонтальные выработки, проходимые в скальных породах, можно пользоваться формулой

$$Q_2 = Q_1 \frac{H_1 - H_2}{H_1' - H_1}, \qquad (123)$$

где Q_1 — измеренный приток воды на площадь, равную площади проектируемой выработки;

H_1 — отметка подошвы выработки, в которой измерялся приток воды;

H_2 — отметка подошвы проектируемой выработки, для которой определяется приток воды;

H_1' — отметка уровня подземных вод.

Практически величина притока воды определяется следующими способами:

1) по производительности водоотливного насоса;
2) по скорости движения поплавка в водоотводной канавке;
3) по скорости наполнения водосборника.

Данные о притоках воды из различных толщ или массивов горных пород вместе с планами гидроизогипс позволяют установить направление и скорость развития депрессионной воронки и тем самым предсказать будущие водопритоки на новом участке или изменение водопритоков на эксплуатируемом участке при проходке новых выработок и вскрытии более глубоких горизонтов.

При проходке горных выработок в районах многолетней мерзлоты, помимо наблюдений за водоотливом и его изменениями в зависимости от глубины выработок и характера проходимых горных пород, определяется количество воды, образующейся при оттаивании пород.

В штольнях дебит измеряется в устье и в других пунктах, характеризующихся какими-либо изменениями геологической обстановки и величины водопритоков (трещиноватость, карст, смена пород и т. д.).

На месторождениях, залегающих среди рыхлых отложений (россыпи), при оценке водообильности пород (а также при решении вопросов инженерной геологии) большое значение имеет определение гранулометрического состава пород. Вода в рыхлых породах заполняет все поры между зернами, а размеры пор и общая пористость пород зависят от размеров и формы частиц.

Общее количество воды, поступающее в горные выработки на действующем горном предприятии, еще не может служить показателем обводненности месторождения, так как размеры месторождений и рудников (шахт) различны. Таким показателем может служить к о э ф ф и ц и е н т в о д о о б и л ь н о с т и, который представляет собой отношение количества воды, выдаваемой из рудника (шахты) в единицу времени (обычно в год), к количеству добываемого за это же время полезного ископаемого (годовая производительность). По Д. И. Щеголеву, коэффициент водообильности по крупнейшим угольным бассейнам меняется от 2,1 до 11,7 при колебаниях по отдельным шахтам от 1,4 до 40.

2. ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Инженерно-геологические исследования на действующем горном предприятии ведутся в целях решения ряда практических вопросов, которые можно в первом приближении подразделить на две группы: 1) вопросы, связанные непосредственно с добычей полезного ископаемого, и 2) вопросы, связанные со строительством различных поверхностных сооружений: жилых и производственных помещений, дорог и др. Внимание рудничного геолога должно быть сосредоточено главным образом на тех инженерно-геологических проблемах, решение которых позволило бы лучше осуществлять добычу из недр полезного ископаемого. В этих целях рудничному геологу приходится самостоятельно проводить некоторые исследования физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород, а также оценивать устойчивость горных пород в эксплуатационных выработках и вблизи рудника.

Определение физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород

К р е п о с т ь горных пород (и полезного ископаемого) рассматривается здесь как некоторое горнотехническое понятие. Она выражается через те или иные показатели «податливости» горной породы при проведении выработок. Естественно, что крепость пород зависит от их твердости, вязкости, пористости, трещиноватости и некоторых других свойств, но ни с одним из них она не может быть отождествлена.

М. М. Протодьяконов предложил выражать крепость пород через коэффициент крепости f, который может быть определен по раздробляющему усилию, необходимому для разрушения породы при ее сжатии. Раздробляющему усилию 100 *кг/см*^{2} соответствует коэффициент крепости $f=1$. А. Ф. Суханов определяет крепость горных пород скоростью бурения в них шпуров стандартным буром. Кроме того, при проходке горных выработок необходимо учитывать еще один важный показатель — взрываемость, который определяется как объем оторванной горной массы, приходящийся на 1 *пог. м* шпура.

Выяснение крепости горных пород и полезного ископаемого на эксплуатируемом месторождении имеет важнейшее значение, так как производительность труда при проходке горных выработок и добыче полезного ископаемого определяется прежде всего крепостью пород. Наиболее достоверным способом определения крепости является опытный путь (хроно-

метраж). Для ориентировочных расчетов можно пользоваться методом аналогий, для чего разработаны специальные шкалы крепости горных пород. В табл. 37 приводится с некоторыми упрощениями шкала крепости, составленная институтом Гиредмет.

Коэффициент разрыхления $K_р$ представляет собой отношение объема некоторого количества отбитого в забое полезного ископаемого (или горной породы) V_2 к объему этого же количества полезного ископаемого в целике V_1:

$$K_р = \frac{V_2}{V_1}. \qquad (124)$$

Определение коэффициента разрыхления важно для технических эксплуатационных расчетов.

Гранулометрический состав рыхлых горных пород или кусковатость разрыхляемых при добыче коренных пород и полезного ископаемого зависит от их природных свойств, а также от технологического режима эксплуатации. Гранулометрический состав пород имеет большое значение как для технико-экономических расчетов при добыче, так и для процесса переработки полезного ископаемого. Кроме того, гранулометрический состав определяет тот или иной подход к минералогическому изучению минерального сырья при опробовании и играет существенную роль при оценке гидрогеологических условий.

Пески или отбитое полезное ископаемое представляет собой смесь обломков различной крупности: от мельчайших пылевидных частиц до ва-

Таблица 37

Классификация горных пород и руд по крепости

Краткая характеристика горных пород и руд	Категория крепости	Коэффициент крепости, по М. М. Протодьяконову	Буримость в *мм/мин*	Взрываемость в *м³/пог. м*
Исключительно крепкие кварциты, магнетиты, железистые роговики, базальты и другие породы, совершенно не содержащие следов трещин, выветривания и выщелачивания	0	24	16	0,15
	I	20—22	20	0,17
В высшей степени труднобуримые крепкие, плотные и вязкие кварциты, магнетиты, железистые роговики, базальты лабрадоровые, кварцевые липариты, микрограниты, совершенно не затронутые выветриванием, монолитно-сливные породы: совершенно плотный кварц без сульфидов, яшмы, роговики	II	18—19	25	0,20
	III	16—17	30	0,23
Совершенно не затронутые выветриванием оливиновые базальты, диабазы, андезиты, кремнистые сланцы, мелкозернистые граниты, сиениты, плотные кварцевые жилы, порфириты, крупнозернистые гнейсы, кварцево-турмалиновые породы, габбро, окремненные бурые железняки, кератофиры, пироксениты	IV	12—14	40	0,27
Затронутые выветриванием диабазы, протеробазы, андезиты, липариты, кварцевые порфиры, микрограниты; не затронутые выветриванием трахиты, березиты, кварцевые жилы со значительной вкрапленностью сульфидов; конгломераты с галькой изверженных пород с кремнистым цементом, окремненные известняки, плотные бурые железняки, скарновые руды	V	10	50	0,31
	VI	8—9	50	0,34

Краткая характеристика горных пород и руд	Категория крепости	Коэффициент крепости, по М. М. Протодьяконову	Буримость в *мм/мин*	Взрываемость *м³/пог.м*
Затронутые выветриванием крупнозернистые граниты, гнейсы, сиениты, диориты, габбро, кварцево-турмалиновые породы, змеевики; более сильно затронутые выветриванием диабазы, андезиты, амфиболиты, липариты, кварцевые порфиры, мелкозернистые граниты, кварцевые жилы, частично пористые или с большим содержанием сульфидов, кремнистые песчаники, известковистые конгломераты с галькой изверженных пород, кремнисто-хлоритовые, кремнисто-серицитовые сланцы, кремнистые известняки	VII	7—8	75	0,40
Выветрелые коренные породы: диориты, граниты, сиениты, порфиры, порфириты, габбро, кварцевые жилы, сильно пористые (трещиноватые, ноздреватые, охристые); сланцы слюдистые, хлоритовые, серицитовые; колчеданные руды; кремнистые конгломераты с галькой осадочных пород; окисленные баритовые жилы, мелкозернистые глинистые песчаники	VIII	6	95	0,46
	IX	5	120	0,53
Сланцы глинистые, углистые, талько-хлоритовые и выветрелые сланцы VII, VIII и IX категорий; известковые конгломераты с галькой осадочных пород; сильно выветрелые коренные породы: граниты, диориты, сиениты, порфириты, глинистые песчаники; выветрелые пористые известняки, отальк ованные змеевики, мерзлые плотные глины и галечники	X	4	150	0,61
Антрацит, мергель средней крепости, разрушенный песчаник, плотный мел, мягкий известняк, пористый, сильно трещиноватый ракушечник, туф и пемза, сцементированная галька и хрящ, каменистый грунт	XI	2—3	185	0,70
	XII	2—3	230	0,80
Крепкие каменные угли, бурые угли, гипс, разрушенные сланцы, слежавшиеся галька и щебень; отвердевшие глины, морена с валунами	XIII	1,5—2	290	0,93
Тяжелые ломовые глины, суглинки с примесью щебня, гальки и валунов, крупная галька; мягкие каменные угли, мерзлые грунты XII и XIII категорий	XIV	1,2—1,5	365	—
	XV	1,2—1,5	450	—
Жирные глины, тяжелые суглинки, крупный гравий, галька и щебень, растительный грунт, торф с корнями деревьев	XVI	1,0—1,2	—	—
Лёссовидный суглинок, рыхлый гравий, растительный грунт с корнями деревьев	XVII	0,5—1,0	—	—
Сыпучие породы: пески, осыпи, мелкий гравий, добытый уголь, супеси, растительный грунт, торф	XVIII	0,5	—	—
Плывуны, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	XIX	0,1—0,3	—	—

лунов размером около 0,5 *м* в поперечнике. Существует несколько способов определения гранулометрического состава. Наиболее простым и распространенным способом является ситовой анализ, осуществляемый путем просеивания пробы через набор стандартных сит.

Оценка устойчивости горных пород

Разработка месторождения полезного ископаемого нарушает установившееся равновесие в пределах участка земной коры, занятого этим месторождением. Поэтому как в подземных выработках, так и в открытых карьерах наблюдаются различного рода явления, затрудняющие добычу: оползни, обвалы, пучение и т. п. При этом различные горные породы по-разному реагируют на нарушение равновесия при разработке: одни породы оказываются более или менее устойчивыми, другие — весьма неустойчивыми.

Для определения условий безопасного ведения горных работ в карьерах существуют расчетные методы, учитывающие высоту откоса, так называемый угол внутреннего трения и сцепление частиц, слагающих горную породу. Одна из распространенных формул имеет вид:

$$H = \frac{H_0 \sin\alpha \cdot \sin^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\frac{\alpha - \varphi}{2}}, \qquad (125)$$

где H — общая высота откоса;

H_0 — высота вертикальной стенки, которая может удерживаться при данном грунте;

α — угол откоса;

φ — угол внутреннего трения.

На основании опыта строительства карьеров можно рекомендовать при оценке устойчивости откосов пользоваться данными табл. 38.

Таблица 38

Откосы рабочих уступов

(по Е. Ф. Шишко)

Характер пород	Предельная высота уступа в *м*	Угол устойчивого откоса в градусах
Скальные слабо трещиноватые:		
изверженные	Не ограничена	70—80
осадочные	» »	50—60
Полускальные и сухие песчаники	25—30	40—50
Песчано-глинистые и глинистые	25—30	30—40

В подземных горных выработках допустимые размеры и положение обнаженных поверхностей зависят от свойств и элементов залегания горных пород и того горного давления, которое приходится на данный участок месторождения, вскрываемого горными выработками.

Под горным давлением понимается сила, возникающая в толще горных пород под влиянием их веса и тектонических явлений. Эта сила проявляется в деформации стенок горных выработок, естественных и искусственных опор (целиков и крепи). Существующие теории горного давления разработаны главным образом применительно к расчетам подготовительных горных выработок. Для расчета горного давления со стороны кровли вы-

работки В. Д. Слесаревым предложена формула

$$p_1 = \gamma h - \frac{4}{3} K_р \frac{h^2}{l^2} \text{ кг/см}^2, \quad (126)$$

где p_1 — среднее давление на единицу площади обнаженной кровли выработки;
γ — объемный вес пород кровли;
h — мощность пород кровли;
$K_р$ — временное сопротивление пород кровли разрыву;
l — ширина пролета выработки.

Для определения степени устойчивости пород кровли и почвы выработок в зависимости от гидростатического давления В. Д. Слесарев предложил формулы:

$$p_к = \frac{2K_р h^2 - \gamma h l^2 - \gamma_1 h_1 l^2}{10 l^2} \text{ кг/см}^2; \quad (127)$$

$$p_п = \frac{2K_р h^2 + \gamma h l^2}{10 l^2} \text{ кг/см}^2, \quad (128)$$

где $p_к, p_п$ — давление, которое может выдержать слой глины соответственно в кровле и в почве;
$K_р$ — временное сопротивление глины разрыву;
h — мощность слоя глины;
h_1 — мощность вышележащих песков;
γ — объемный вес глины;
γ_1 — объемный вес вышележащих песков;
l — ширина пролета выработки.

При пользовании этими формулами следует помнить, что они применимы лишь для весьма приближенных расчетов, так как не учитывают многих природных факторов.

Ряд явлений, наблюдаемых в горных выработках в связи с горным давлением, вообще не поддается расчетам. К ним следует отнести:

а) горные удары — внезапные разрушения стенок горных выработок, свойственные крепким горным породам на глубинах более 200 *м*;

б) прорывы плывунов, особенно затрудняющие проходку горизонтальных горных выработок;

в) обрушения и обвалы, характерные для кварцитов, роговиков и сланцев, обычно происходящие в очистных выработках на глубинах свыше 300 *м*;

г) пучение (поддувание), свойственное пластичным горным породам на больших глубинах, порядка 800—1000 *м*.

Сдвижение горных пород представляет собой деформацию толщи над развитой системой подземных горных выработок. При небольшой глубине разработок процесс сдвижения протекает бурно и завершается провалами. При разработках на большой глубине происходит спокойное оседание поверхности.

Для суждения о возможной деформации поверхности в результате развития горно-эксплуатационных подземных работ можно пользоваться данными Д. А. Козаковского, который на основании изучения материала по 24 шахтам Донецкого бассейна установил зависимость амплитуды оседания поверхности от глубины разработок и мощности разрабатываемого пласта:

Глубина разработки в м	*Среднее максимальное оседание поверхности в % от выемочной мощности пласта*
50—100	59
100—200	44
200—300	43
300—400	36

ГЛАВА IV

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В процессе эксплуатации, когда наиболее полно раскрываются все особенности месторождения и свойства полезного ископаемого, появляются новые данные для его оценки. Поэтому естественно, что на стадии эксплуатационной разведки значительно уточняется оценка месторождения в целом, а также по отдельным участкам и эксплуатационным блокам. Иногда эти уточнения бывают настолько существенными, что фактически происходит переоценка месторождения как в отношении его размеров и условий залегания, так и в отношении качества полезного ископаемого.

Основным материалом, позволяющим уточнять оценку месторождения на каждом этапе его последовательной эксплуатации, служат данные оперативного учета полезного ископаемого в недрах и периодически составляемый баланс добычи и прироста запасов минерального сырья.

1. ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ НЕДР

Оперативный учет недр, отражающий наличие подготовленных к добыче запасов полезного ископаемого и их выемку, проводится главным образом с целью текущего планирования работы горного предприятия. В соответствии с этим объектами оперативного учета являются те участки месторождения, на которых ведутся добычные работы и осуществляется проходка подготовительных выработок. Следовательно, при оперативном учете в поле зрения находится только часть запасов месторождения.

Оперативный учет не следует смешивать с общим пересчетом запасов, который выполняется обычно один раз в год и в который оперативный учет входит как одна из составных частей[1].

Оперативный учет запасов базируется на опробовании, документации и маркшейдерских измерениях, которые в совокупности дают геологу наиболее точные сведения о добыче полезного ископаемого и об остающихся еще невынутыми (из числа подготовленных к добыче) запасах полезного ископаемого и заключенного в нем полезного компонента.

Существуют различные системы оперативного учета запасов и добычи, но для всех систем общим вопросом является выбор учетной единицы и периода учета. За единицу учета может быть принят рудник в целом (небольшой), эксплуатационный этаж, отдельный блок, при открытом способе разработки — «взрыв», т. е. часть уступа в карьере, одновременно оторванная массовым взрывом. Период учета зависит от существующих на предприятии сроков отчетности; чаще всего за период оперативного учета принимается 1 месяц.

На некоторых месторождениях оперативный учет осуществляется путем составления специальных паспортов для каждого очистного блока; следовательно, учетной единицей здесь является блок. Такой паспорт представляет собой карточку, на которую заносятся: сводная зарисовка, данные, характеризующие свойства рудного тела и вмещающих пород, периодические маркшейдерские замеры контуров забоев, результаты вычислений среднего содержания металлов по сортам руд, данные подсчета запасов отбитой и оставшейся в целике руды и металла. Пример такого паспорта приведен на рис. 159.

Естественно, что форма и содержание паспорта на различных рудниках могут быть различными. При разработке паспорта для конкретного месторождения нужно стремиться к наиболее полному учету природных свойств разрабатываемого полезного ископаемого.

[1] Вопросы оперативного учета наиболее полно изложены в работе Д. А. Зенкова «Элементы рудничной геологии» (1947), а также в различных инструкциях для предприятий черной и цветной металлургии и угольной промышленности.

2. БАЛАНС ДОБЫЧИ И ПРИРОСТА ЗАПАСОВ

Величина запасов полезного ископаемого на действующем горном предприятии непрерывно изменяется: в одних участках, где ведется эксплуатация, запасы уменьшаются, в других в результате геологоразведочных работ запасы уточняются и переходят в высшие категории; при этом часто обнаруживаются новые залежи или расширяются границы известных и, таким образом, происходит увеличение запасов. На многих месторождениях, особенно в начальный период эксплуатации, запасы в целом не только не уменьшаются, но ежегодно увеличиваются. Постоянное наблюдение за изменением запасов, их качественного состава и степени разведанности осуществляется геологической службой на горном предприятии.

Вся сложная картина убыли и прибыли запасов на эксплуатируемом месторождении отражается в балансе запасов полезного ископаемого, который ежегодно составляется на каждом горном предприятии и является основой общегосударственного учета запасов эксплуатируемых месторождений.. Баланс составляется по единой форме, утвержденной Центральным статистическим управлением. В этой форме приводятся запасы на 1 января истекшего года; изменение запасов в результате добычи и потерь при добыче; изменение запасов за счет разведки, за счет уточнения контуров залежей в ходе эксплуатации; запасы на 1 января нового года. Для составления баланса производится учет запасов по каждому участку и по каждому сорту полезного ископаемого отдельно.

Размер добычи и потерь полезного ископаемого устанавливается по данным маркшейдерских замеров. К потерям относятся те части запасов, которые остаются в недрах в пределах отработанных участков месторождения и не могут быть извлечены до конца эксплуатации и полной ликвидации рудника (шахты).

Изменения, происходящие в результате разведки, определяются специальными подсчетами и пересчетами запасов по соответствующим участкам. К изменениям в результате пересчета не относятся запасы, полученные в связи с находками новых залежей; здесь имеется в виду лишь то приращение или убыль запасов, которое происходит в результате исправления ошибок, допущенных при составлении баланса предыдущего года, в результате уточнения содержания полезных компонентов, уточнения объемного веса, изменения границ очистных выработок и т. п.

С баланса запасов предприятия списываются: добытое полезное ископаемое и эксплуатационные потери, зависящие от принятой системы разработок; некондиционные по качеству или по мощности части залежей; запасы, оставленные в охранных целиках по горнотехническим и гидрогеологическим соображениям. Горное предприятие ведет специальный учет запасов, списанных с баланса, с указанием причин списания и отметкой контуров списанных запасов на маркшейдерских планах.

В связи с развитием технологии переработки полезных ископаемых и изменениями кондиций на многих горных предприятиях отвалы ранее некондиционного полезного ископаемого становятся промышленно пригодными. В связи с этим в баланс горного предприятия после тщательного их опробования полностью или частично вводятся старые отвалы.

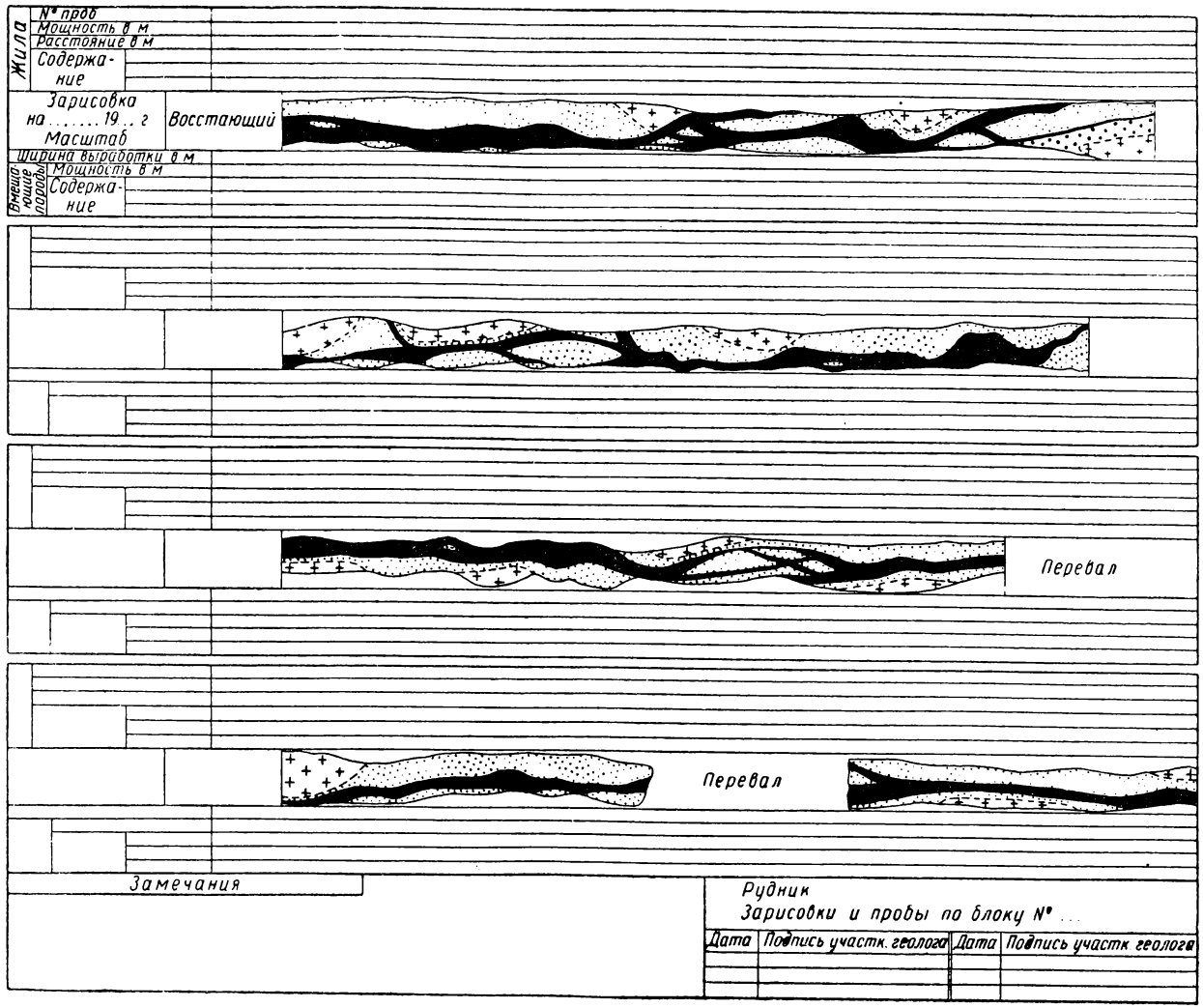
Для составления баланса запасов металла или другого полезного компонента руд должны быть точно установлены следующие данные:

1) тоннаж руды, заключавшейся в контуре отработанного пространства, и содержание в ней полезного компонента;

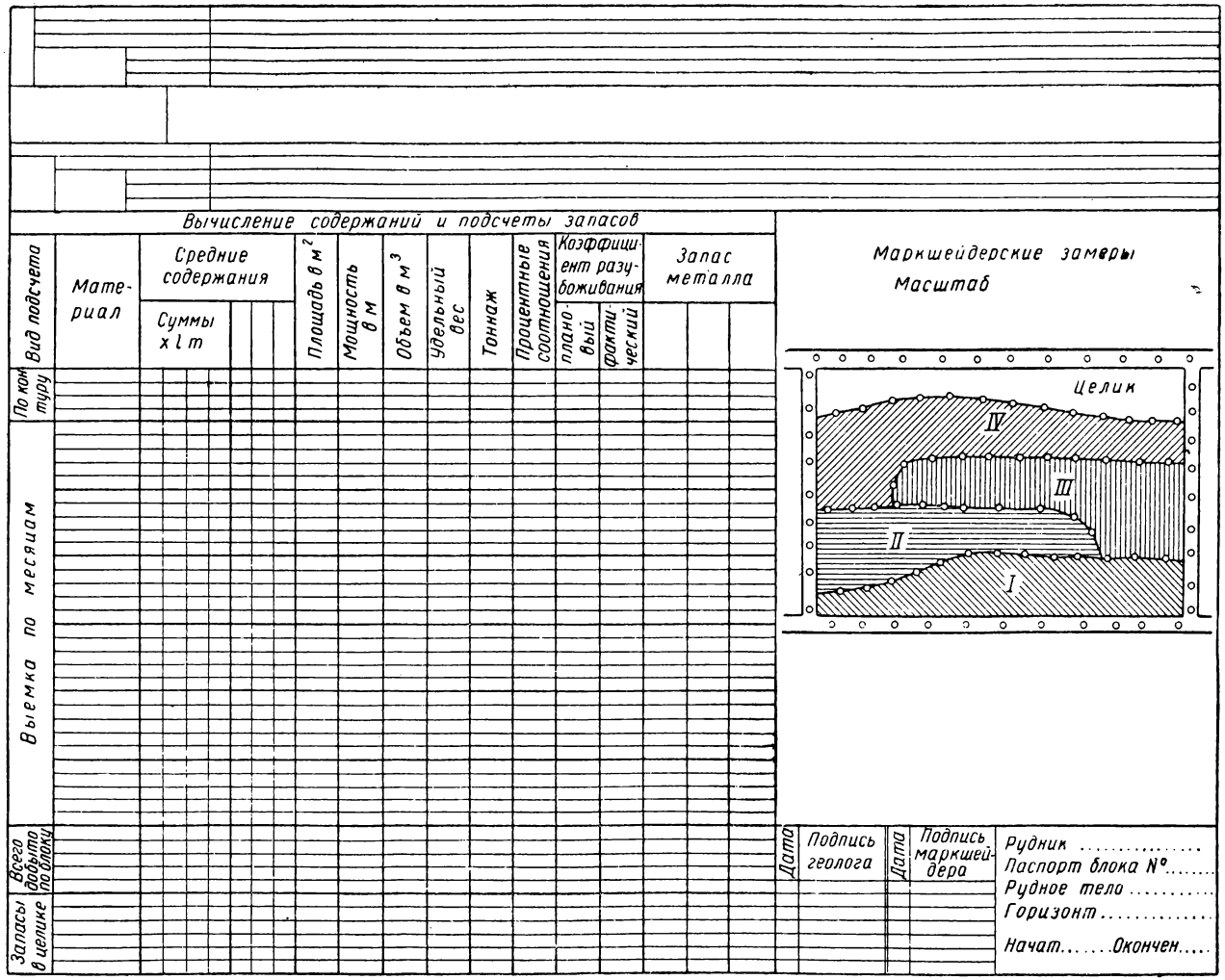
2) тоннаж добытой рудной массы и содержание в ней полезного компонента;

3) тоннаж потерянной руды и содержание в ней полезного компонента;

4) тоннаж вмещающих горных пород, отбитых вместе с рудой, и содержание в них полезного компонента.


Жила
№ проб
Мощность в м
Расстояние в м
Содержание
Зарисовка на ..... 19.. г
Масштаб
Восстающий
Ширина выработки в м
Вмещающие породы
Мощность в м
Содержание
Перевал
Перевал
Замечания
Рудник
Зарисовки и пробы по блоку №
Дата
Подпись участк. геолога
Дата
Подпись участк. геолога

а



б

Рис. 159. Паспорт очистного забоя (по Д. А. Зенкову)

а—лицевая сторона; б—оборотная сторона

При добыче, производимой с сортировкой руды (подземной или поверхностной), необходимо также располагать данными о тоннаже отсортированных вмещающих горных пород и о содержании в них полезного компонента.

Баланс добычи и прироста запасов полезного ископаемого на действующем горном предприятии лежит в основе периодической оценки, или, вернее, переоценки, эксплуатируемого месторождения и позволяет планировать текущую работу горного предприятия. Состояние горного предприятия может быть признано хорошим в том случае, если оно обеспечено достаточным количеством детально разведанных и подготовленных к добыче запасов полезного ископаемого. В зависимости от характера месторождения и спроса на данное минеральное сырье наименьшее количество таких запасов должно соответствовать годовой или полугодовой производственной мощности предприятия. Иными словами, эксплуатационная разведка должна опережать добычу не менее чем на 6—12 месяцев.

3. ПЕРЕОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Необходимость оценки месторождения или некоторых его частей в процессе эксплуатации вызывается неотложными требованиями планирования добычи и переработки полезного ископаемого. Более того, ежедневно при отбойке полезного ископаемого и направлении его на переработку или потребителю приходится оценивать отдельные небольшие части тела полезного ископаемого, чтобы обеспечить нормальный темп добычи минерального сырья требуемого качества.

Естественно, что в некоторых участках тела полезного ископаемого, вскрытых горными эксплуатационными выработками, могут появиться новые данные о контурах залежи по сравнению с теми, которые были намечены ранее путем интерполяции или экстраполяции. Следовательно, количество полезного ископаемого фактически окажется большим или меньшим по сравнению с подсчитанным по данным разведки, предшествующей эксплуатации.

Аналогично действительное качество полезного ископаемого на эксплуатируемом участке может оказаться отличным от установленного ранее на основании определений в разведочных выработках. Значительных отклонений качественной характеристики можно ожидать на месторождениях, обладающих высокой степенью изменчивости вещественного состава полезного ископаемого и несколькими природными типами полезного ископаемого.

Таким образом, в процессе эксплуатации месторождения, при проведении подготовительных и очистных выработок, повседневно производится текущая переоценка частей месторождения.

Рудничный (шахтный) геолог, стремясь продлить жизнь горного предприятия, находит новые, ранее не учтенные тела полезного ископаемого в пределах пространства, занятого месторождением, и вблизи от него. Тем самым увеличиваются запасы, появляются новые качественные характеристики полезного ископаемого. Это приводит к переоценке месторождения в связи с обнаружением новых тел полезного ископаемого.

С развитием технологии переработки руд или с появлением потребности в новых видах минерального сырья нередко появляется возможность использовать некоторые новые компоненты добываемого полезного ископаемого или попутно извлекаемых горных пород, ранее не считавшихся полезным ископаемым. В последнее время подобные примеры непрерывно умножаются. Не так давно редкие и рассеянные элементы, находящиеся в составе полиметаллических и других руд, не подвергались извлечению и не влияли на качественную характеристику и оценку этих руд. Теперь же при наличии кадмия, индия, галлия, германия и других рассеянных металлов в полиметаллических рудах ценность последних значительно повы-

шается. В некоторых случаях имеется возможность использовать и рудовмещающие горные породы в качестве строительного материала, наполнителей и т. п.

Поэтому, если возникает потребность в указанных видах ранее не использовавшегося минерального сырья, а технология добычи и переработки полезного ископаемого позволяет извлекать эти новые полезные компоненты, то иногда существенно изменяется качественная характеристика полезного ископаемого и месторождения в целом. Так возникает переоценка месторождения в связи с извлечением новых полезных компонентов из эксплуатируемого полезного ископаемого.

По мере отработки богатых скоплений полезного ископаемого при длительном сроке существования горного предприятия совершается постепенный переход к добыче и переработке бедных руд или других полезных ископаемых худшего качества. В некоторых случаях в связи с изменениями кондиций вновь оживают старые заброшенные рудники и начинают добываться руды, считавшиеся прежде некондиционными.

Разумеется, это становится возможным благодаря усовершенствованию технологии переработки полезного ископаемого — обогащения руд, углей и т. п. При этом обычно резко расширяются масштабы месторождения, увеличиваются запасы и качественная их характеристика претерпевает значительные изменения. Таким образом, происходит переоценка месторождения в связи с изменением кондиций и вовлечением в производство полезного ископаемого худшего качества.

Подобные изменения в оценке свойственны главным образом месторождениям, на которых существуют действующие горные предприятия, где имеются необходимые производственные помещения, машины, жилой поселок, подсобные хозяйства, т. е. когда для освоения более бедных руд или ископаемого худшего качества не требуется значительных новых капиталовложений. Иными словами, при прочих равных условиях бедные руды скорее начнут перерабатываться на действующем горном предприятии, чем на новом месторождении. Оценка нового месторождения убогих руд может оказаться отрицательной, тогда как на действующем предприятии аналогичные руды будут эффективно добываться и перерабатываться.

При всех обстоятельствах переоценка месторождения в период его эксплуатации ведет к изменению величины запасов и ценности руды. В зависимости от направления изменений этих основных элементов оценки и определяется промышленное значение месторождения на соответствующем этапе его эксплуатации.

Следует иметь в виду, что методика переоценки эксплуатируемого месторождения не разработана и переоценка осуществляется в каждом конкретном случае на основе индивидуальных особенностей месторождения, характера предприятия, экономических и других условий, в которых оно находится. По-видимому, было бы полезно разработать общие положения промышленной переоценки эксплуатируемого месторождения. Нам представляется, что она могла бы быть выполнена на основе анализа вышеизложенных условий и причин, вызывающих необходимость переоценки.

ГЛАВА V

ПОМОЩЬ ГОРНОМУ ЦЕХУ И ЦЕХУ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Проводя эксплуатационную разведку, выполняя необходимые гидрогеологические и инженерно-геологические исследования, производя систематический учет полезного ископаемого в недрах и периодически переоце-

нивая месторождение по мере развития эксплуатационных работ, рудничный (шахтный) геолог повседневно помогает правильной эксплуатации горного предприятия.

Но, помимо этого, рудничный геолог призван проводить и некоторые специальные мероприятия, направленные на оказание оперативной помощи горному цеху и цеху по переработке полезного ископаемого в разрешении технико-экономических и технологических вопросов. Сущность этих специальных мероприятий кратко излагается ниже.

1. ПОМОЩЬ ГОРНОМУ ЦЕХУ

В целях оказания помощи горному цеху в его оперативной производственной работе геологическая служба горного предприятия должна:

а) участвовать в планировании добычи полезного ископаемого;

б) направлять проведение подготовительных и очистных выработок;

в) предупреждать об изменениях горнотехнических условий эксплуатации (крепость и устойчивость горных пород, водоносность горных выработок);

г) определять и анализировать причины потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Участие в планировании добычи полезного ископаемого выражается прежде всего в своевременном предоставлении всех необходимых материалов эксплуатационной разведки, оперативного учета недр и баланса добычи и прироста запасов полезного ископаемого. Если все эти данные достаточно надежны, они кладутся в основу планирования добычи, и тем самым обеспечивается плавный, технически и экономически эффективный ход эксплуатации месторождения.

Но участие рудничного геолога в планировании добычи не может ограничиваться только формальным актом передачи имеющихся материалов. Часто одни и те же данные о размерах запасов, об их качестве, об условиях залегания полезного ископаемого могут толковаться по-разному. Например, одни и те же запасы полезного ископаемого могут быть заключены в едином объеме простого по форме тела или распределены по нескольким прослойкам, апофизам, ветвям сложной залежи. Качество руды, определяемое процентным содержанием полезного компонента, может обладать различным характером распределения. При прочих равных условиях на одном участке полезное ископаемое легче добывается, на другом — труднее в силу различной устойчивости вмещающих горных пород или различной степени обводненности.

Все эти детали влияют на темпы добычи, на себестоимость добываемой руды, на расчеты с рабочими. Поэтому, помимо предоставления указанных выше материалов, от геологического персонала горного предприятия требуется приложение живых творческих усилий, направленных на улучшение оперативного плана добычи, в частности — внесение тех или иных предложений об очередности разработки различных частей залежи, о целесообразных темпах добычи, о сортировке полезного ископаемого и т. п.

Направление подготовительных и очистных выработок определяется рудничным геологом совместно с маркшейдером и горным инженером. После того, как выбраны участки добычи на ближайший период, определены объемы работ и установлены необходимые технические мероприятия по проведению подготовительных и очистных выработок, необходимо задать направление, указать размеры и границы соответствующих выработок, а затем следить за правильным осуществлением их проходки. Задача заключается в том, чтобы выбранное направление и границы выработок при данной подземной геологической и горнотехнической ситуации обеспечивали минимальные потери и разубоживание полезного ископаемого. При этом, конечно, должна быть учтена необходимость прокладки кабелей, основных путей и т. д.

Однако правильно задать направление горных выработок еще недостаточно. Всякая запроектированная очистная или подготовительная выработка в зависимости от непредвиденных изменений контуров или элементов залегания тела полезного ископаемого может и должна корректироваться в процессе проходки. Решающая роль в корректировке проведения очистных и подготовительных выработок принадлежит рудничному геологу, который должен определить границы выработок в натуре. Естественно, что это требует от геолога повседневных наблюдений за проходкой эксплуатационных выработок, надлежащей их документации и опробования, а также глубокого изучения геологических особенностей структуры, морфологических черт и внутреннего строения залежей полезного ископаемого.

Предупреждения об изменении горнотехнических условий эксплуатации необходимы для предотвращения различного рода осложнений в процессе добычи — от изменения ее темпов до аварий и катастроф. На месторождениях, опасных по газу, опасных в пожарном отношении, на участках с катастрофическими притоками воды и при работе в весьма неустойчивых горных породах обычно осуществляются специальные наблюдения горным надзором и проводятся общие профилактические мероприятия с целью предупреждения несчастных случаев. Тем не менее геологическая служба в подобных случаях, независимо от наличия или отсутствия специального надзора, должна систематизировать гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения, предсказывать и отмечать всякие существенные изменения горнотехнических условий эксплуатации.

Предупреждения, которые геологическая служба горного предприятия делает оперативным работникам горного цеха, должны касаться главным образом следующих объектов:

а) изменения крепости горных пород в проходимых выработках;

б) изменения устойчивости горных пород на пути проведения выработок;

в) изменения притоков воды в горных выработках.

Разумеется, эти предупреждения будут иметь смысл лишь в том случае, если они будут сделаны своевременно.

Предупреждения могут быть двух видов: прогнозные и срочные. Первые основываются на более или менее обоснованных предположениях о возможном изменении тех или иных условий проходки выработки. Они сообщаются горным инженерам заблаговременно и дают им возможность принять необходимые меры предосторожности и подготовиться к этим изменениям в организационно-техническом отношении. Вторые базируются на непосредственных наблюдениях в горных выработках и обычно требуют принятия срочных мер. Признаки вероятного обвала, резкое увеличение притока воды, смена горных пород, сильно отличающихся по крепости, являются предметом срочных предупреждений. В отдельных случаях такие предупреждения служат основанием для мобилизации аварийных технических средств горного предприятия.

Определение и анализ причин потерь и разубоживания полезного ископаемого представляет собой один из важнейших элементов деятельности рудничного (шахтного) геолога и поэтому заслуживает особого внимания.

Потери полезного ископаемого при добыче представляют собой ту часть балансовых запасов полезного ископаемого, которая остается неизвлеченной из недр, теряется при транспортировке на предприятии или выбрасывается в отвал с пустыми горными породами.

Разубоживание полезного ископаемого — это засорение его непромышленными горными породами.

При нормальной подземной разработке месторождения потери составляют 5—12% от балансовых запасов полезного ископаемого, но иногда

они возрастают и до 20%. При открытом способе разработки потери полезного ископаемого резко уменьшаются.

Разубоживание при эксплуатации залежей мощных и средней мощности в зависимости от сложности строения месторождения и применяемой системы разработки колеблется от 2 до 30%. При эксплуатации маломощных жил в связи с неизбежной отбойкой боковых пород рудная масса может оказаться разубоженной в 2—3 раза по сравнению с качественным составом рудной жилы.

Анализ причин потерь и разубоживания возможен только в том случае, если хорошо известны природные особенности месторождения в отношении его форм, условий залегания и внутреннего строения, а также те технические факторы, которые оказывают влияние на степень извлечения полезного ископаемого из недр. Причины, обусловливающие потери и разубоживание полезного ископаемого, разнообразны и многочисленны.

В зависимости от вызывающих их причин потери полезного ископаемого могут быть подразделены на четыре группы:

1) потери, связанные с горногеологическими и гидрогеологическими условиями;

2) потери, зависящие от применяемой системы разработки;

3) потери в охранных целиках;

4) потери от неправильного ведения горно-эксплуатационных работ.

Часть этих причин неустранима и поэтому заранее предусматривается проектом и текущими планами разработки месторождения; это потери проектные и плановые. Другая часть потерь, связанная с погрешностями, допускаемыми в производстве эксплуатационных работ, при повышении качества последних может быть сведена до величины, близкой к нулю. Эта часть потерь вместе с плановыми составляет действительные потери в период эксплуатации месторождения, называемые фактическими, или эксплуатационными.

Потери, связанные с горногеологическими и гидрогеологическими условиями, включают в себя:

а) потери в целиках, оставляемых для предохранения от прорыва воды или плывунов, а также для предохранения от обрушения неустойчивых горных пород висячего бока (кровли);

б) потери на участках тектонических нарушений, не поддающихся полной отработке;

в) потери, обусловленные сложными контурами тела полезного ископаемого, не позволяющими полностью извлечь полезное ископаемое из выступов и ответвлений основной залежи.

Потери, зависящие от применяемой системы разработки, слагаются из потерь в различного рода междублоковых и междукамерных целиках, потерь в закладке выработанного пространства, потерь от неполного выпуска отбитого полезного ископаемого из магазинов. При открытых работах имеют место потери в кровле и почве залежи, хотя обычно они относительно невелики.

Потери в охранных целиках являются потерями проектными и зависят главным образом от принятого способа вскрытия месторождения. Охранный целик, оставляемый для сохранности основных горно-капитальных выработок (карьера, шахты, главной откаточной штольни), иногда достигает значительных размеров (рис. 160).

Потери от неправильного ведения горно-эксплуатационных работ являются показателем неудовлетворительной работы горного предприятия. Среди них различают: потери от небрежной работы в очистном пространстве (когда оставляется неотбитой часть тела полезного ископаемого или заваливается пустыми породами уже отбитая руда); потери при транспортировке полезного ископаемого, особенно в тех случаях, когда на пути имеется несколько перевалочных пунктов; потери от неудовлетворительной организации сортировки полезного ископаемого и нечеткого разделения

руд и отвалов пустых горных пород. В возникновении такого рода потерь, кроме недостатков организации горных работ, нередко существенную роль играют и неудовлетворительная геологическая документация, и ошибки маркшейдерских замеров, особенно в тех случаях, когда контакты тела полезного ископаемого весьма сложны или неразличимы вследствие постепенного перехода от промышленной части залежи к непромышленной.

Разубоживание полезного ископаемого зависит главным образом от размеров и формы тела полезного ископаемого и от его внутреннего строе-

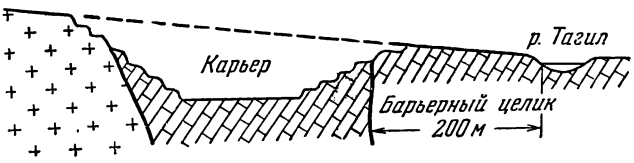


Рис. 160. Барьерный целик, ограждающий известняковый карьер (по М. Н. Альбову)

ния, в частности от характера чередования прослоев или блоков пустых горных пород внутри залежи. Степень разубоживания тем больше, чем меньше мощность тела полезного ископаемого и чем сложнее формы его контактов.

Наименьшим участком залежи полезного ископаемого, для которого определение величины потерь и разубоживания представляет практический интерес, является эксплуатационный блок.

Учет потерь ведется систематически геологической и маркшейдерской службой горного предприятия совместно на основе опробования, геологической документации и маркшейдерских измерений. Величина потерь и разубоживания определяется как по полезному ископаемому в целом, так и по отдельным полезным компонентам.

По Е. П. Прокопьеву, величину потерь и разубоживания можно установить исходя из уравнений баланса рудной массы и баланса полезного компонента (металла):

$$Q_2 = Q_1 - Q_3 + Q_4; \tag{129}$$

$$Q_2C_2 = Q_1C_1 - Q_3C_3 + Q_4C_4; \tag{130}$$

здесь Q_1 — действительный запас полезного ископаемого в блоке;

Q_2 — тоннаж полезного ископаемого (рудной массы), добытого из данного блока;

Q_3 — тоннаж потерянного полезного ископаемого;

Q_4 — тоннаж вмещающих горных пород в массе добытого полезного ископаемого (в рудной массе);

C_1 — содержание полезного компонента в полезном ископаемом в естественном залегании;

C_2 — содержание полезного компонента в массе добытого полезного ископаемого;

C_3 — содержание полезного компонента в потерянном полезном ископаемом;

C_4 — содержание полезного компонента во вмещающих горных породах, попавших в рудную массу.

Если для упрощения расчетов принять $C_3 = C_1$, то потери полезного ископаемого и засорение его вмещающими горными породами можно определить из выражений:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2\left(\frac{C_2 - C_4}{C_1 - C_4}\right); \tag{131}$$

$$Q_4 = Q_2\left(1 - \frac{C_2 - C_4}{C_1 - C_4}\right). \tag{132}$$

Следовательно, величина потерь полезного компонента может быть определена по формуле

$$P = C_1 \left[Q_1 - Q_2 \left(\frac{C_2 - C_4}{C_1 - C_4} \right) \right] \quad (133)$$

или в процентах от общего действительного его запаса в блоке

$$P = \left[1 - \frac{Q_2 (C_2 - C_4)}{Q_1 (C_1 - C_4)} \right] \cdot 100\%. \quad (134)$$

Степень разубоживания полезного ископаемого можно определить из отношения

$$C_р = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%. \quad (135)$$

Итак, для определения потерь и разубоживания необходимо и достаточно точно знать запасы полезного ископаемого и содержание полезного компонента в пределах блока, тоннаж добытого из блока полезного ископаемого и содержание в нем полезного компонента, а также содержание полезного компонента во вмещающих горных породах, попавших в добытую массу полезного ископаемого.

Если вмещающие породы не содержат существенных количеств полезного компонента, то C_4 может быть принято равным нулю и вычисления несколько упростятся.

Следует иметь в виду, что точность определения потерь и разубоживания зависит от сложности геологического строения месторождения, от степени изменчивости свойств полезного ископаемого и от системы разработки. На месторождениях простой формы с равномерным распределением полезных компонентов точность определения потерь и разубоживания может быть высокой. На месторождениях неправильной формы с неравномерным распределением полезных компонентов определения будут менее точными, но все же могут быть вполне удовлетворительными, если система разработки позволяет вести замеры ширины выработанных пространств и мощностей тела полезного ископаемого, а также производить систематическое опробование полезного ископаемого в блоке. Если же детальное опробование очистных выработок и соответствующие замеры невозможны, то точность определения потерь и разубоживания окажется невысокой.

2. ПОМОЩЬ ЦЕХУ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Помощь цеху по переработке полезного ископаемого входит в сферу деятельности рудничного геолога преимущественно на рудниках цветных, редких и драгоценных металлов, где осуществляется тот или иной вид обогащения полезного ископаемого. Обогащение углей не является обязательным звеном угольных разработок. Переработка нефти выполняется на самостоятельных предприятиях. Поэтому роль шахтного и промыслового геолога в отношении непосредственной помощи цеху по переработке угля или нефти в большинстве случаев ограничивается наблюдениями за качеством поставляемого полезного ископаемого, так же как и в случае некоторых других видов минерального сырья (индустриальное сырье, строительные материалы), поставляемых потребителю без предварительной переработки на горном предприятии.

Помощь обогатительной фабрике заключается в основном: а) в регулировании качества направляемого на переработку минерального сырья и б) в проведении специальных минералогических исследований полезного ископаемого.

Регулирование качества минерального сырья, направляемого на обогатительную фабрику, имеет большое значение для планомерной и эффективной работы последней. Если руда, поступающая на обогатительную фабрику, будет обладать резко различным содержанием металла, а тем бо-

лее если в сложных по составу рудах будут иметь место сильные колебания в содержании различных компонентов, то процесс переработки (наладку машин, стадии обработки, дозировку реагентов и т. п.) придется часто изменять. Это повлечет за собой лихорадочную и непроизводительную работу фабрики и снижение качественных показателей: уменьшится извлечение полезных компонентов, возрастут потери.

Изучая путем опробования различные сорта руды и их пространственное распределение, рудничный геолог должен давать указания о целесообразных размерах добычи из различных участков и блоков с таким расчетом, чтобы на фабрику поступала руда некоторого среднего качества по крайней мере в течение месяца.

Рассмотренные выше вопросы разубоживания полезного ископаемого имеют значение не столько для горного цеха, сколько для обогатительной фабрики. Если увеличение разубоживания сказывается на работе горного цеха только в росте лишних затрат на добычу и транспортировку пустых пород, находящихся в составе руды, то на обогатительной фабрике разубоживание руды вызывает, кроме того, нарушение технологического процесса и может привести к невозможности переработки низкокачественного минерального сырья.

Поскольку главным средством регулирования качества является опробование минерального сырья, то, естественно, должны быть установлены единые методические основы опробования во всех звеньях процесса добычи и переработки — от забоя до отходов обогатительной фабрики. И рудничный геолог должен играть важную роль в организации опробования на правильных методических основах.

Проведение специальных минералогических исследований подчинено задаче наилучшей организации технологического процесса переработки полезного ископаемого. В соответствии с требованиями технологии обогащения рудничный геолог изучает состав руды (или песков) прежде всего в отношении величины, структурных сочетаний, взаимопрорастания отдельных минеральных агрегатов и частиц. Необходимо также выяснять текстурные особенности полезного ископаемого: характер и размеры прослоек и включений; способность руд и пустых пород к механическому разделению; различие в физических свойствах минеральных фракций (магнитность, удельные веса, радиоактивность и т. п.). Весьма важно определять степень выветрелости и окисленности полезного ископаемого, так как обогатимость минералов при окислении изменяется. Быстрая окисляемость некоторых типов руд иногда приводит к необходимости изменять систему разработок с тем, чтобы такие руды не залеживались в магазинах и бункерах.

Все эти данные о полезном ископаемом, необходимые для эффективной работы обогатительной фабрики, частично добываются при обычных общих минералогических исследованиях, выполняемых в процессе эксплуатационной разведки. Но, кроме того, в целях помощи обогатительному цеху рудничному геологу приходится проводить специальное изучение руды, уточняя те или иные характеристики ее состава и внутреннего строения, подвергая исследованию очередную партию минерального сырья или изучая продукты его переработки.

Специальные минералогические исследования для обогатительной фабрики можно подразделить на два основных вида:

1) исследования с целью установления наиболее рациональной схемы технологического процесса переработки минерального сырья;

2) исследования на различных стадиях переработки минерального сырья с целью контроля и улучшения технологического процесса переработки.

Первые обычно представляют собой наиболее полное и всестороннее изучение качества полезного ископаемого, его состава, внутреннего строения и технологических свойств. Они осуществляются в начале организа-

ции обогащения или при существенном изменении его технологии. Эти исследования носят капитальный характер и проводятся для каждого типа и сорта полезного ископаемого.

Исследования в процессе переработки, преследующие главным образом цели контроля, часто ограничиваются выяснением отдельных свойств минерального сырья: выхода полезного компонента по фракциям различной крупности, зависимости обогатимости от тех или иных свойств полезного минерала, размера потерь по стадиям обработки, содержания рассеянных элементов в различных концентратах и т. п.

Иногда на крупных обогатительных фабриках минералогические исследования поручаются специальному сотруднику. Однако и в этом случае рудничный геолог должен осуществлять общее наблюдение за минералогическими исследованиями на горном предприятии, сопоставляя наблюдения, выполняемые в процессе эксплуатационной разведки, с данными технологических испытаний в отношении качественных особенностей полезного ископаемого.

Само собой разумеется, что все эти задачи можно решать лишь при наличии достаточно хорошо технически оснащенной лабораторной базы. Современная лаборатория рудничной геологии должна располагать поляризационными и стереоскопическими микроскопами, радиометром, люминоскопом и средствами, позволяющими производить не только качественные, но и быстрые полуколичественные химические определения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА[1]

Альбов М. Н. Опробование рудных месторождений при разведке и эксплуатации. Металлургиздат, 1952.

Альбов М. Н., Быбочкин А. М., Логиновский В. М. Рудничная геология. Металлургиздат, 1956.

Барышев Н. В. и Белов П. С. Краткое руководство по опробованию золоторудных месторождений. Металлургиздат, 1943.

Барышев Н. В. Опробование месторождений и рудных масс для составления баланса на горнорудных предприятиях. Сов. геология, № 20, 1947.

Бернштейн П. С. Сравнение данных разведочного колонкового бурения с результатами горных работ. Сов. геология, № 17, 1946.

Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. ОНТИ, 1938.

Бирюков В. И. Основные методы разведки полезных ископаемых. Изв. вузов, раздел «Геология и разведка», № 5, 1959.

Васильев И. С. Курс разведочного дела. Кубуч, 1929.

Галкин Б. И. О методике выявления количественных взаимосвязей между компонентами полезных ископаемых. Тр. ВИМС, вып. 1. Госгеолиздат, 1949.

Галкин Б. И. Ошибка проб, взятых из борозды постоянного сечения, и способы ее устранения. Разведка недр, № 3, 1950.

Галкин Б. И. Ошибка валового и задиркового опробования и ее предупреждение. Разведка недр, № 1, 1953.

Генбом Р. Н. Достоверность разведки сплошных колчеданных руд Кировградского района на Среднем Урале. Разведка недр, № 5, 1957.

Зворыкин А. А., Киржнер Д. М., Кундин М. Б. Экономика угольной промышленности СССР. Изд. 2. Углетехиздат, 1954.

Зенков Д. А. Руководство по методике рудничной геологии для золоторудных месторождений. Ч. I, «Горно-эксплуатационное опробование на золотых рудниках». Госгеолиздат, 1941.

Зенков Д. А. Элементы рудничной геологии. Металлургиздат, 1947.

Зенков Д. А. Четыре типа изменчивости рудных тел. Разведка недр, № 6, 1955.

Зенков Д. А. О точности разведочных разрезов. Сов. геология, № 49, 1956.

Золотарев А. С. Подсчет запасов полезного ископаемого в блоке между сходящимися профилями. ОНТИ, 1936.

Инструкции по применению классификации запасов (по отдельным полезным ископаемым). Госгеолтехиздат, 1953—1957.

Казаковский Д. А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов месторождений. Углетехиздат, 1948.

Каллистов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. Сов. геология, № 53, 1956.

Каудельный В. Я. К вопросу о методике разведки угольных месторождений. Разведка недр, № 5, 1957.

Красников В. И. Рациональные поиски рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

Крейтер В. М. Основные принципы классификации и подсчета запасов полезных ископаемых. Изд-во АН СССР, 1937.

Крейтер В. М., Смирнов В. И. Некоторые задачи рудничной геологии. Сов. геология, № 20, 1947.

Крейтер В. М. Структуры рудных полей и месторождений. Госгеолтехиздат, 1956.

[1] Многие работы, указанные в списке литературы в первой части книги могут быть рекомендованы для использования при проработке и второй части; в то же время часть работ из настоящего списка должна быть использована при проработке первой части книги.

Крейтер В. М. и Бирюков В. И. Принципы разведки полезных ископаемых. Библиотека НТО Горного, сер. геол., вып. 2, 1957.

Молчанов И. А. Геометрический метод исследования дизъюнктивов и его применение для поисков смещенной части месторождения. Изв. Томск. индустр. ин-та, т. 60, вып. 1, 1939.

Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. Госгеолтехиздат, 1960.

Пожарицкий К. Л. Опробование месторождений цветных металлов и золота. Металлургиздат, 1947.

Померанцев В. В. Промышленные условия для подсчета запасов месторождений цветных металлов. Изд-во НТО МЦМ СССР, 1957_1.

Померанцев В. В. Элементы предварительных промышленных оценок рудных месторождений цветных металлов. Библиотека НТО Горного, сер. геол., вып. 4, 1957_2.

Прокофьев А. П. Практические методы подсчета запасов рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1953.

Пэк А. В. Некоторые вопросы трещинной тектоники в рудничной геологии. Сов. геология, № 20, 1947.

Романовский В. И. Элементарный курс математической статистики. Госпланиздат, 1939.

Романовский В. И. Применение математической статистики в опытном деле. Гостехиздат, 1955.

Рудничная геология. Сб. статей под ред. В. М. Крейтера и В. И. Смирнова. Госгеолиздат, 1946.

Смирнов В. И. Подсчет запасов минерального сырья. Госгеолиздат, 1950.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд-во МГУ, 1954.

Сочеванов Н. Н. Инструкция по опробованию элювиальных и делювиальных отложений. Магадан. 1945.

Хрущов Н. А. Контроль работы химических лабораторий методом анализа эталонных проб. Разведка и охрана недр, № 6, 1954.

Якжин А. А. Опробование и подсчет запасов полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1954.

Якжин А. А. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава I. **Общие условия разведки полезных ископаемых** 3

1. Основные задачи разведки 3
2. Математический анализ изменчивости свойств полезного ископаемого . . 4
3. Вопросы изучения формы месторождений 10
4. Вопросы изучения качества полезного ископаемого 18
5. Выяснение горнотехнических и экономических условий 21

Глава II. **Принципы и методы разведки. Прослеживание и оконтуривание месторождений** 22

1. Характеристика принципов разведки 22
2. Основные методы разведки 30
3. Основные морфологические виды тел полезных ископаемых. Разведочные разрезы 32
4. Расположение разведочных выработок (разведочная сеть). 35
5. Оконтуривание тел полезных ископаемых и месторождений. 37

Глава III. **Технические средства и системы разведочных работ** 42

1. Основные виды разведочных средств 42
2. Горные разведочные выработки 43
3. Буровые разведочные скважины 47
4. Геофизические работы 52
   Каротаж. 52
   Оконтуривание тел полезных ископаемых 57
   Вспомогательные технические измерения 57
5. Группировка разведочных систем 58
6. Группа буровых систем 58
7. Группа горных систем 63
8. Группа комбинированных горнобуровых систем. 67
9. Факторы, определяющие выбор системы 69
10. О технико-экономическом анализе разведочных систем 72

Глава IV. **Стадии разведочного процесса и плотность сети разведочных выработок** 73

1. Характеристика стадий разведки 73
2. Анализ плотности сети разведочных выработок. 75
3. Развитие разведочной сети 89

Глава V. **Классификация запасов месторождений, условия их разведки и промышленная оценка** 90

1. Некоторые принципы классификации запасов 90
2. Категории запасов полезных ископаемых и их значение 92
3. Общие условия разведки месторождений различных видов 94
4. Степень разведанности месторождения 100
5. Промышленная оценка месторождения в процессе разведки. 103

Глава VI. **Гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения при разведке месторождений полезных ископаемых** 105

1. Систематика гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых 105

2. Гидрогеологические исследования . . . 112
3. Инженерно-геологические исследования . . . 115

Глава VII. **Документация разведочных выработок** 117

1. Виды документации выработок . . . 117
2. Объекты наблюдений при геологической документации разведочных выработок . . . 118
3. Документация горных разведочных выработок . . . 121
4. Документация буровых разведочных скважин . . . 123
5. Основы и виды сводной геологической документации . . . 125

Глава VIII. **Примеры разведки месторождений твердых полезных ископаемых** 133

1. Разделение месторождений по форме с учетом размеров и качества . . . 133
2. Пластовые и пластообразные тела (Группа 1) . . . 138
Разведка пластовых месторождений железа . . . 138
Разведка силикатных никелевых руд . . . 140
Разведка россыпей . . . 141
Разведка месторождений каменных углей . . . 147
Разведка медистых песчаников Джезказгана . . . 154
Разведка Миргалимсайского полиметаллического месторождения . . . 155
3. Крупные штокверки и неправильные пластообразные залежи (Группа 2) . . . 156
Общая схема разведки штокверков . . . 156
Разведка медного месторождения Коунрад . . . 159
Разведка железорудного месторождения горы Магнитной . . . 161
4. Жилообразные и линзообразные тела и жильные зоны (Группа 3) . . . 162
Разведка колчеданных месторождений Урала . . . 165
Разведка Згидского свинцово-цинкового месторождения . . . 167
Разведка Хрустального оловорудного месторождения . . . 169
Разведка одного из пегматитовых тел Мамского слюдоносного района . . . 172
5. Трубообразные тела (Группа 4) . . . 174
Одиночные выдержанные рудные трубы . . . 175
Ветвящиеся трубчатые залежи . . . 176
6. Мелкие гнезда, линзы, жилки, трубки (Группа 5) . . . 180

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ОПРОБОВАНИЕ

Глава I. **Отбор проб твердых полезных ископаемых** . . . 185

1. Способы отбора проб в горных выработках и естественных обнажениях . . . 185
Штуфной способ . . . 185
Точечный способ . . . 186
Способ вычерпывания . . . 186
Шпуровой способ . . . 187
Бороздовый способ . . . 190
Задирковый способ . . . 195
Валовой способ . . . 196
2. Отбор проб из разведочных скважин . . . 202
Медленно-вращательное и ударно-вращательное бурение . . . 202
Ударно-канатное и роторное бурение . . . 202
Колонковое бурение . . . 204
3. Факторы, определяющие выбор способа отбора проб . . . 207
Геологические факторы . . . 208
Общие факторы . . . 211
4. Расстояния между пробами . . . 212
5. Документация опробования . . . 216
6. Определение качества полезного ископаемого без отбора пробы . . . 217
Визуальный способ . . . 218
Радиометрический способ . . . 219

Глава II. **Обработка проб** . . . 223

1. Объединение проб . . . 223
2. Теоретические основы обработки проб . . . 225
3. Техника обработки проб . . . 232
Измельчение . . . 232
Просеивание . . . 235
Перемешивание . . . 236
Сокращение . . . 238

Площадки и лаборатории для обработки проб 240
Общие замечания о составлении схем обработки проб 240

Глава III. **Испытания проб** 243

1. Спектральные анализы 244
2. Химические анализы 244
3. Минералогические исследования 248
4. Технологические испытания 249
5. Технические испытания 251

Глава IV. **Опробование россыпей** 252

1. Отбор проб 253
2. Обработка разведочных проб 256
3. Определение количества полезных компонентов в шлихе 257
4. Технологические исследования проб 258

Глава V. **Контроль процесса опробования** 261

1. Контроль отбора проб 262
Контроль пробоотбора в буровых скважинах 262
Контроль пробоотбора в горных выработках 265
2. Контроль обработки проб 267
3. Контроль химических анализов 269
4. Способ Б. И. Галкина 271

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава I. **Общие положения подсчета запасов** 283
1. Основные понятия и определения 283
2. Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых . . 284
А. Общие положения 284
Б. Группы запасов 285
В. Категории запасов 285
Г. Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения 287
3. Определение исходных данных для подсчета запасов 288
4. Обоснование подсчета запасов 291
5. Определение средних показателей по участкам 293

Глава II. **Основные способы подсчета запасов полезных ископаемых** . . . 296

1. Общие замечания 296
2. Способ среднего арифметического 297
3. Способы блоков 298
4. Способы разрезов 302
5. Прочие методы подсчета 310
6. О точности подсчета запасов 313
Технические погрешности 313
Погрешности аналогий 315

Глава III. **Вопросы оценки месторождений полезных ископаемых** 317

1. Оценка месторождений цветных металлов при экспертизах 317
2. Оценка железорудных, угольных и неметаллических месторождений . . . 323
3. Кондиции 325
4. О методах оценки месторождений в странах социалистического лагеря . . 334
5. Подход к оценке месторождений в капиталистических странах 335

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Глава I. **Эксплуатационная разведка** 339

1. Задачи эксплуатационной разведки 339
2. Технические средства эксплуатационной разведки 340
3. Некоторые особенности геологического изучения месторождения в стадии эксплуатационной разведки **342**
4. Особенности геологической документации в стадии эксплуатационной разведки 354

Глава II. **Опробование в период эксплуатации месторождения** 358

1. Опробование в очистных выработках 360
2. Опробование минерального сырья 363

Глава III. **Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в период эксплуатации месторождения** 365

1. Рудничные воды 365
2. Вопросы инженерной геологии 367

Определение физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород 367
Оценка устойчивости горных пород 370

Глава IV. **Оценка эксплуатируемого месторождения** 372

1. Оперативный учет недр 372
2. Баланс добычи и прироста запасов 373
3. Переоценка месторождения 376

Глава V. **Помощь горному цеху и цеху по переработке полезного ископаемого** 377

1. Помощь горному цеху 378
2. Помощь цеху по переработке полезного ископаемого. 382

Рекомендуемая литература 385

Владимир Михайлович Крейтер

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ЧАСТЬ 2

Редактор *Г. Д. Ажгирей*
Редактор издательства *М. Л. Энтин*
Технический редактор *О. А. Гурова*
Корректор *Т. М. Кушнер*

Сдано в набор 7/X 1960 г. Подписано в печать 10/II 1961 г. Формат бумаги 70×108 1/16. Печ. л. 33,57. Бум. л. 12,25. Уч.-изд. л. 33, 6
Тираж 15 000 экз. Т 00379. Заказ № 640.
Цена 1 р. 33 к.

Московская типография № 5 Мосгорсовнархоза.
Москва, Трехпрудный пер., 9.