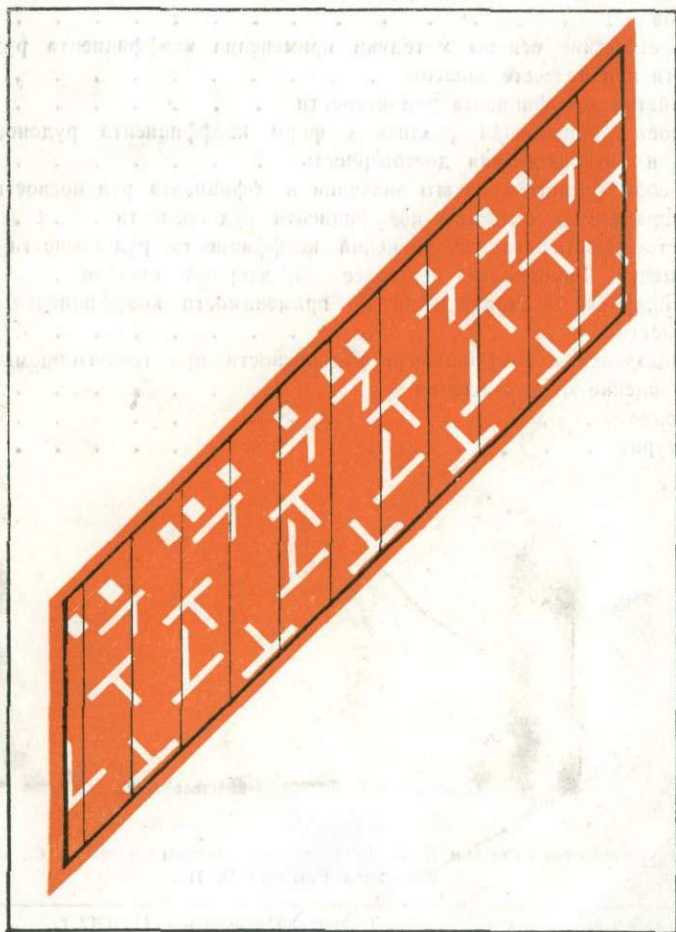


В. В. Стефанович

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ



СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. История исследования вопроса	5
II. Практика применения коэффициента рудоносности при подсчете запасов	13
III. Теоретические основы методики применения коэффициента рудоносности при подсчете запасов	29
Свойства коэффициента рудоносности	29
Условия применения различных форм коэффициента рудоносности и их относительная достоверность	46
Способы расчета среднего значения коэффициента рудоносности	52
Распределение величины коэффициента рудоносности	59
Достоверность средних значений коэффициента рудоносности и ее оценка. Группировка наиболее характерных ошибок	62
IV. Группировка месторождений по применимости коэффициента рудоносности	68
V. Использование коэффициента рудоносности при геолого-промышленной оценке месторождений	73
Заключение	77
Литература	80

Стефанович Василий Васильевич

Применение коэффициента рудоносности

Редактор издательства *Кузовкин В. В.* Технические редакторы *Сычева Е. С., Соколова В. В.*
Корректор *Крымова В. П.*

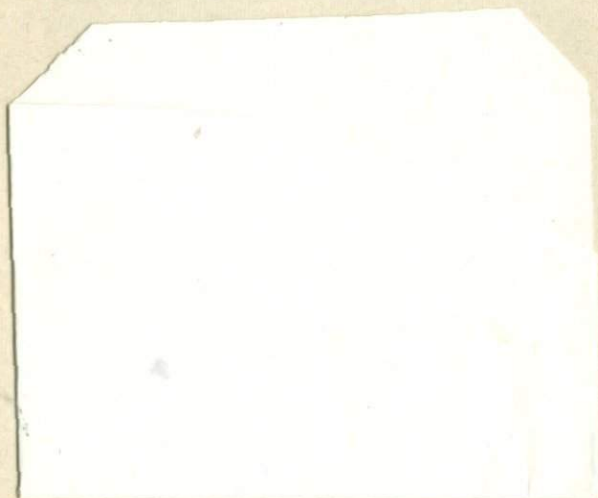
Сдано в набор 3/II 1972 г.	Подписано в печать 20/III 1972 г.	Т-06010
Формат 60×90 ^{1/16}	Печ. л. 5,0	Уч.-изд. л. 5,35
Бумага 3	Заказ №279/4156-14.	Цена 54 коп.
Индекс 1-4-1.	Тираж 1600 экз.	

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Типография № 32 Главполиграфпрома. Москва, Цветной бульвар, 26

В. В. Стефанович

ПРИМЕНЕНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТА
РУДОНОСНОСТИ

342



Издательство «Недра»
Москва, 1972



Применение коэффициента рудоносности. Стефанович В. В. М., «Недра», 1972, 80 стр.

Показано применение различных форм и разновидностей коэффициента рудоносности и способов вычисления его средних значений. Основное внимание уделено теоретическим основам применения коэффициента рудоносности. Рассматриваются свойства коэффициента, условия использования его различных форм и их относительная достоверность. Приводится анализ результатов применения разных приемов вычисления параметра. Дается перечень и группировка наиболее характерных ошибок в определении коэффициента рудоносности. Рассматриваются способы определения доверительных интервалов параметра и расчета необходимого количества наблюдений для вычисления его средних значений с заданной точностью. Разработана группировка месторождений с прерывистым оруденением по применимости различных разновидностей коэффициента рудоносности. Освещаются функции этого показателя. Выводится формула для вычисления минимально допустимого коэффициента рудоносности в зависимости от среднего по блоку и минимального промышленного содержания полезного компонента.

Таблиц 14, иллюстраций 26, список литературы 48 названий.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена использованию при подсчете запасов и геолого-промышленной оценке статистического показателя, который большинству специалистов известен под названием коэффициента рудоносности. Этот параметр часто называют также коэффициентом оруденения, рудонасыщенности (или просто насыщенности), продуктивности, сплошности, а иногда даже коэффициентом осторожности, или коэффициентом страховки.

Коэффициент рудоносности представляет собой долю промышленных руд в общих запасах горной массы всего месторождения или какой-либо его части (участка, блока, эксплуатационного горизонта и т. д.) и определяется по соотношению соответственно весов, объемов, площадей или линейных размеров рудных тел и рудоносных зон.

подавляющее большинство исследователей, занятых в области подсчета запасов рудных месторождений с прерывистым оруденением, отмечая неизбежность в ряде случаев применения коэффициента рудоносности, в то же время обращают внимание на слабую изученность проблемы и настоятельную необходимость разработки научно обоснованной методики его определения. Актуальность решения этой задачи обуславливается хотя бы тем, что на многих месторождениях (автору известно более 60 случаев) уже используется этот параметр. Круг полезных ископаемых, запасы которых определяются или оцениваются с помощью коэффициента рудоносности, достаточно широк. Это такие металлы, как бериллий, вольфрам, железо, золото, кобальт, медь, молибден, никель, олово, ртуть, свинец, цинк, сурьма, уран и др.

Функции коэффициента рудоносности давно уже не ограничиваются только областью количественной оценки запасов. Этот параметр позволяет установить степень прерывистости оруденения, охарактеризовать сложность формы рудных залежей, учесть основные направления изменчивости оруденения, помогает определить оптимальную густоту разведочной сети, категорию запасов, количественное соотношение сортов руд, в значительной мере определяет характер эксплуатации (селективная эксплуатация или отработка на массу), способ отработки, а порой и систему (или группу систем) разработки месторождений, рентабельность освоения которых также рассчитывается с его участием. Такое широкое применение и обуславливает его большое значение и то серьезное

внимание, которое уделяется коэффициенту рудоносности специалистами в вопросах оценки и подсчета запасов рудных месторождений.

Работа содержит критический обзор опубликованной литературы и практических приемов использования коэффициента рудоносности, иллюстрируемых конкретными примерами рудных месторождений и моделями рудоносных зон. Сформулированы основные теоретические положения методики применения коэффициента и приведены практические рекомендации, схемы и расчетные формулы для определения величины и оценки достоверности этого параметра в различных геологических условиях месторождений цветных, редких и благородных металлов с прерывистым оруденением.

1. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОПРОСА

Первые сведения о применении коэффициента рудоносности появились в конце тридцатых годов. Однако практика использования этого параметра и подобных ему статистических показателей несколько опережает официальные литературные источники. Фондовые материалы позволяют утверждать, что коэффициент рудоносности применялся при подсчете запасов одного из уральских золоторудных месторождений начиная с 1928 г.

Об этом же свидетельствуют и указания П. Н. Шаныгина (1933), касающиеся вычисления средней мощности на жильных месторождениях золота. Помимо взвешивания мощностей на длину влияния выработок он рекомендует исправлять среднюю мощность путем введения множителя $1-K$, где K — так называемый коэффициент перемежаемости. Последний представляет собой отношение суммарной длины пережимов к общей длине участка жилы, на котором производятся вычисления. Очевидно, что при такой трактовке этого параметра величина $1-K$ не что иное, как линейный коэффициент рудоносности.

Барышев Н. В. (1937) наряду с показателем перемежаемости впервые упоминает уже о коэффициенте рудоносности, который вводится при подсчете запасов жильных месторождений и по существу ничем не отличается от упомянутого сомножителя $1-K$.

Более подробно эту же разновидность коэффициента рудоносности описывают А. А. Крениг, К. Л. Пожарицкий и А. А. Розин (1940). В. М. Крейтер (1940) в учебнике кратко (буквально в несколько строк) сообщает о применении при подсчете запасов уже двух разновидностей этого параметра: линейном и площадном соотношении рудных интервалов с общими размерами участка.

Шесть лет спустя В. И. Смирнов (1946) предложил новый способ определения коэффициента рудоносности, используемого при подсчете запасов ртутных месторождений. Величину его следовало определять по эмпирической формуле

$$K = M \frac{n_1}{n} \left(1 - \frac{1}{n} \right), \quad (I.1)$$

где n_1 — количество выработок, вскрывших промышленное орудение; n — общее количество выработок на участке; M — коэффициент погрешности среднего арифметического.

Величина M зависит от коэффициента вариации по участку. Причем, если последний более 100%, то M берется равным 0,5; если же он менее 100%, то значение M определяется как полу-сумма единицы и коэффициента вариаций (в дробном его выражении). При расчетах принимаются во внимание коэффициенты вариации, вычисленные и по мощности и по содержанию. Следовательно, пользуясь данной методикой, мы получаем два значения коэффициента погрешности M , среднее из которых уже учитывается в приведенной формуле.

Следует заметить, что сам автор отказался от применения предложенной им формулы и в последующих своих работах о ней уже не упоминает.

В более поздней своей работе В. И. Смирнов (1950) под обобщающей рубрикой «коэффициент продуктивности» рассматривает способы и целесообразность применения коэффициента рудоносности, указывая на возможность определения его на основании либо линейных, либо площадных отношений размеров рудных тел и рудовмещающей зоны без каких-либо пояснений в отношении первого из этих способов. Автор пишет также, что рассматриваемый показатель может быть либо вычислен, либо принят по аналогии с другим участком или месторождением. Там же содержится категорическое утверждение, что «во всех случаях при определении коэффициента рудоносности невозможно добиться точности в его определении»... и что «поэтому введение коэффициента рудоносности само по себе резко снижает точность подсчета запасов и обычно не позволяет определять их по высоким категориям».

Много места в своих работах уделяет рассматриваемому вопросу А. П. Прокофьев (1955, 1963), давая определение коэффициенту рудоносности и разбирая на конкретных примерах возможные варианты его вычисления. Он указывает на обязательные условия целесообразности применения этого параметра и обращает внимание на то, что наиболее точное значение коэффициента дает отношение объема отработанной части блока к общему объему того же блока. Отмечается также, что возможность промышленного использования руд на месторождениях с низким коэффициентом рудоносности обуславливается ценностью попутного компонента и для каждого месторождения устанавливается специальными расчетами.

В то же время в результате выполненных исследований А. П. Прокофьев рекомендует при нормальной величине блоков производить подсчет запасов рудных зон с гнездовым распределением полезного ископаемого путем ввода в запасы каждого блока коэффициента рудоносности, вычисленного для данной зоны в целом, что, по его мнению, более точно отражает действительные запасы руды.

В. Э. Поярков (1955) поддерживает необходимость объективного определения коэффициента рудоносности. Эта весьма ответственная операция, по мнению исследователя, не может быть огра-

ничена одними формальными приемами; при вычислении его значения необходимо обязательно руководствоваться геологическими соображениями о вероятной типичности исследуемых естественных или искусственных обнажений. Впервые высказывается положение о влиянии ориентировки разведочных пересечений относительно направлений изменчивости свойств рудоносной зоны на величину коэффициента, который рассматривается уже не только как один из параметров подсчета запасов, но и как «весьма важный фактор оценки месторождения».

Существенный вклад в теорию статистических методов принадлежит П. Л. Каллистову, предложившему в различных условиях применять различные формы коэффициента рудоносности («Руководство по методам разведки...», 1956).

В ряду опубликованных работ полным диссонансом звучит статья М. Я. Столяра (1956), в которой автор предлагает отказаться от применения этого параметра, если значения его будут выходить за пределы интервала 0,05—0,95. Отмечая, что геолого-разведочные партии и организации, да и вся горнодобывающая промышленность не имеют каких-либо твердых установок по этому вопросу и что назрела необходимость внести некоторую ясность в этот вопрос, он высказывает мысль о том, что следует «повысить требования к точности анализа данных при установлении коэффициента. В наиболее ответственных случаях производить специальные исследования для определения и обоснования необходимости его применения для подсчета запасов».

Однако ряд рекомендаций являются явно ошибочными. В частности, нельзя «произвести расчет рационального диапазона коэффициентов рудоносности (стандартных или типовых — В. С.) для разных типов руд и месторождений», поскольку для каждого месторождения и каждого типа руды значение будет строго определенным. Шаблона здесь быть не должно. Вряд ли верно и следующее положение: «Применение коэффициента рудоносности при подсчете запасов категории В допускать только для руд редких металлов и рассеянных элементов»... Примеры успешного применения коэффициентов рудоносности для запасов категории В, утвержденных ГКЗ, на месторождениях цветных металлов и золота будут приведены в следующем разделе.

В противоположность М. Я. Столяру Э. Л. Кобленц, В. Е. Субботин и Д. И. Татарский (1959) на примере Садонского месторождения убедительно показывают целесообразность применения коэффициента при подсчете запасов даже категорий А и В. Авторы приводят материалы о подтверждении результатами эксплуатации показателей, полученных при подсчете запасов с применением коэффициента рудоносности, и о существенном расхождении данных отработки с запасами и содержаниями металлов, подсчитанными без этого параметра.

Интересные примеры можно найти у А. А. Якжина (1959, 1961), который считает коэффициент рудоносности объективным крите-

рием и использует его для характеристики месторождений, относящихся к различным группам классификации ГКЗ (1960).

Еще об одной форме коэффициента рудоносности упоминает Н. А. Хрущов (1961). В рассматриваемом им примере расчет производится по соотношению количества скважин, вскрывших промышленные руды, и общего числа их в пределах подсчетного контура. Там же можно найти сведения о подсчете запасов по сортам руд с помощью коэффициента рудоносности.

М. К. Косыгин (1962 г.) в докторской диссертации считает необходимым использовать этот показатель на «таких месторождениях (железа — В. С.), где широко развиты метасоматические, брекчиевые и вкрапленные руды, подобно Коршуновскому, Красноярковскому, Татьянинскому и др.». Опираясь на результаты изучения материалов по нескольким месторождениям, он заявляет, что «при подсчете запасов руд и металлов вычислять и распространять его (коэффициент рудоносности — В. С.) в пределах одного блока будет более правильным и удобным для дальнейших вычислений объемов рудных блоков».

В это же время появляется в печати статья Шехяна Г. П. и Товмасыана В. В. (1962), которые сообщают о применении коэффициента рудоносности, вычисленного по соотношению мощностей рудных пересечений залежи и общей длины скважин, пройденных в пределах рудной зоны. Авторы подчеркивают различие между коэффициентом продуктивности, применяемым для определения объема рудных тел, которые при дальнейших разведочных работах должны быть непосредственно оконтурены горными выработками, и коэффициентом рудоносности, вводимым в подсчет запасов для исключения безрудных участков, находящихся в пределах тела полезного ископаемого, в тех случаях, когда они не могут быть непосредственно оконтурены и учтены.

Ряд рекомендаций содержится в методическом руководстве по разведке штокерковых месторождений цветных и редких металлов. Там, в частности, указывается, что от применения коэффициента рудоносности следует отказаться в тех случаях, когда на месторождении отмечается частое чередование промышленных и непромышленных интервалов небольшой мощности, исключающих возможность их отдельной выемки. Интерес представляет также и следующее положение: «Для штокерков крупных размеров коэффициент рудоносности следует определять не общий для всего тела, а разный для различных участков, с учетом изменений в соотношениях промышленных и непромышленных руд по простиранию или падению рудных тел, в краевых частях и т. д.». Наконец, правильным в целом представляется и замечание о том, что «допустимый коэффициент рудоносности устанавливается по минимальному среднему содержанию с учетом способов и систем разработки». Однако дальше этой общей формулировки авторы руководства не пошли. В вопросах, касающихся разведки ртутно-сурьмяных месторождений, ряд авторов (Федорчук, Поярко и др., 1962) отмечают,

что «площадной коэффициент рудоносности является более объективным для пластообразных и линзообразных залежей и линейных рудоносных зон... Линейный же коэффициент рудоносности является весьма субъективным и может существенно искажать действительную характеристику сложных месторождений». Они считают, что рассматриваемый показатель служит вспомогательной величиной и «не является параметром, который должен включаться в подсчетные кондиции». Ошибочность этой оценки опровергается ими же самими тем вниманием, которое уделяется данному вопросу в этой и других работах упомянутых авторов, а также утверждением в более поздней статье о том, что «линейный коэффициент рудоносности при подсчете запасов служит одним из основных параметров, определяющих количество запасов» (1965).

Статья А. П. Прокофьева (1963) посвящена зависимости минимального промышленного содержания от величин коэффициента рудоносности и коэффициента вскрыши, в которой предлагаются формулы, графики и таблицы для определения этого лимита содержания при различных значениях либо одного из этих параметров (второй из них не учитывается), либо двух сразу.

В. М. Казак (1963) предложил использовать для определения сложности формы железорудных залежей показатель, близкий к коэффициенту рудоносности, который он назвал коэффициентом сплошности. В эмпирическую формулу для оценки сложности формы введены также коэффициент вариации мощности залежи и так называемый «контурный модуль». В. М. Казак рекомендует использовать новый параметр, вычисленный по упомянутой формуле, взамен коэффициента вариации для расчета плотности разведочной сети.

Большое значение придает коэффициенту рудоносности Д. А. Зенков (1963), который считает его ведущим показателем для месторождений с прерывистым оруденением и отмечает, что наиболее точным является подсчет запасов с применением этого параметра. В то же время автор статьи показывает, что один коэффициент рудоносности в условиях прерывистого оруденения еще ни о чем не говорит и что необходима более полная оценка сложности распределения металла с помощью предлагаемых им новых характеристик, в частности таких, как относительный показатель рассредоточенности (ρ) и др.

Сложные и весьма трудоемкие эксперименты на плоских моделях рудоносных зон выполнил В. И. Бирюков (1963). Проведенные исследования позволили прийти к выводу, что «для характеристики прерывистости месторождения или его части недостаточно только величины K_p (коэффициента рудоносности — В. С.), так как степень прерывистости объекта определяется не только суммарной величиной перерывов, отражающейся для месторождений в коэффициенте рудоносности, но и количеством таких перерывов» и что «с увеличением числа перерывов должно возрастать количество

наблюдений и увеличиваться плотность (густота) разведочной сети».

В. П. Федорчук (1964) также использовал коэффициент рудоносности для приближенных расчетов плотности разведочной сети, предполагая, что он должен соответствовать отношению рудных скважин к общему числу скважин, пройденных в пределах рассматриваемого участка.

Анализируя причины завышения запасов на некоторых месторождениях Южной Ферганы, ряд исследователей (Нацвин, Никифоров, Федорчук и др., 1965) обращают внимание на несоответствие между величинами линейных коэффициентов рудоносности, подсчитанных по данным разведки колонковыми скважинами, и объемными значениями этих параметров, полученными в результате эксплуатации.

Авторы указывают, что при разведке бурением часто включаются в подсчет запасов случайные пересечения небольших и нехарактерных для данного месторождения минерализованных трещин, за счет чего существенно завышается степень рудоносности участка. Во избежание подобных просчетов они предлагают новый показатель — степень концентрации полезного компонента, который отражает количество рудных тел в подсчетном блоке и, подобно коэффициенту рудоносности, будет также давать количественную оценку запасов, но только балансовых, в то время как коэффициент рудоносности дает оценку всех запасов. Однако применение этой методики возможно только на эксплуатируемых месторождениях, после того как (при отработке отдельных участков) будут определены основные размеры рудных тел и их соотношения (мощность, ширина, длина и т. д.).

Простую формулу для определения предельного (минимального) значения коэффициента рудоносности, связывающего его с коэффициентом вскрыши для месторождений с открытым способом разработки, вывел М. К. Абрамов (1965).

И. Д. Коган (1966) выдвигает ряд положений о зависимости коэффициента рудоносности от форм, размеров и ориентировки рудных тел, а также о влиянии на этот параметр взаиморасположения разведочной сети и изучаемых рудных тел. Он критикует способ определения степени рудоносности по соотношению числа выработок, однако рассматривает только одну из возможных ошибок и не говорит о другой, т. е. не учитывает неравномерность сети. Влияние кондиций на коэффициент рудоносности этот исследователь видит только в правильном установлении величин минимальной мощности рудных тел и максимально допустимой мощности безрудных прослоев, включаемых в подсчет запасов.

К числу работ, опубликованных в последнее время, относятся доклады Г. П. Глинкова (1968) и Р. И. Когана (1968), а также работы М. С. Садвакасова (1968), Н. А. Никифорова (1969), В. В. Стефановича (1969) и, наконец, М. Н. Денисова, С. Н. Куличихина и др. (1970). Первый из них сообщает о низком коэффи-

циенте рудоносности на Урупском месторождении, который не был изучен в процессе буровой разведки.

Р. И. Коган сообщил о проверке соответствия линейного коэффициента площадному коэффициенту рудоносности. Исследования проводились на плоскостной модели «рудоносной зоны». Использовались формулы, предложенные Ф. Чейзом и Э. Гячяускасом. Результаты проверки свидетельствуют (по формуле Ф. Чейза) о близком совпадении значений линейного и площадного коэффициентов; значительно менее определенные выводы были получены при применении формулы Гячяускаса. Выполненные исследования, хотя и имеют предварительный характер, все же являются одним из теоретических доказательств применимости замены площадного коэффициента рудоносности более удобной линейной формой этого параметра.

Остановимся несколько подробнее на работе М. С. Садвакасова. Автор пишет: «...Исследования показали целесообразность применения коэффициента (рудоносности — $B. C.$) для подсчета запасов при небольших значениях его (0,1—0,6). Если же коэффициент сравнительно высок (больше 0,6), то его применение намного снижает достоверность подсчитанных запасов».

Это положение представляется по меньшей мере спорным. В большинстве известных из литературы и практики ГКЗ примеров на месторождениях с высоким значением коэффициента рудоносности (Садонское, полиметаллические месторождения Маданского района в Болгарии, Кадамджайское и т. д.) величина этого показателя хорошо подтверждается практикой эксплуатации. И, наоборот, на некоторых ртутных месторождениях СССР (Хайдарканское, Чонкой) достоверность запасов на участках с низкими значениями коэффициента оказывается недостаточной. Неадекватность результатов из-за низких значений коэффициента рудоносности отмечалось В. Э. Поярковым (1955) и П. А. Шехтманом (устно) и была причиной снижения категорий запасов при подсчете последних на золоторудных месторождениях (Кочкарьское и др.).

Далее он пишет, что «фактически при подсчете запасов учитывали только среднюю мощность рудной зоны... и средневзвешенное содержание по рудным телам..., умноженное на коэффициент рудоносности... Мы предлагаем иную методику. Запасы необходимо подсчитывать, умножая мощность рудных тел на среднее содержание по рудным телам и на коэффициент рудоносности».

При таком подходе теряется физический смысл подсчетных операций, что неизбежно ведет к ошибочным результатам.

П. А. Шехтман попытался определить условия применения, а также вероятность правильного определения коэффициента рудоносности в зависимости от соотношения размеров рудных тел и параметров разведочной сети. По устным сообщениям, аналогичными исследованиями в этот же период занимались и В. М. Гурецкий с Э. Э. Асадулиным.

Н. А. Никифоров (1969) использовал коэффициент рудонос-

ности при прогнозной оценке перспектив рудных полей ртутных и сурьмяных месторождений Южного Тянь-Шаня.

В статье В. В. Стефановича (1969) приводится описание различных форм коэффициента рудоносности и рассматриваются основные его свойства, такие как зависимость величины этого параметра от принятых кондиций, от содержания полезного компонента. Разбирается вопрос о достоверности определяемых значений показателя рудоносности и о влиянии способа вычисления на его величину.

В работе М. Н. Денисова, С. Н. Куличихина, В. К. Павлова и Г. Б. Роговера приведены оценки ошибок в определении коэффициента рудоносности при различной плотности сети предварительной разведки штокерковых месторождений.

В опубликованной зарубежной литературе сведения о рассматриваемой проблеме крайне ограничены. Только геологи социалистических стран, опираясь, очевидно, на опыт советских исследователей, сообщают о применении коэффициента рудоносности при подсчете запасов месторождений с прерывистым оруденением.

Р. Доков и А. Попов (1961) описывают сопоставление запасов, подсчитанных с коэффициентом рудоносности по данным детальной и эксплуатационной разведок, с результатами отработки рудных жил свинцово-цинковых месторождений Маданского района в Болгарской Народной Республике. В их материалах приведены интересные данные о сопоставлении линейных и площадных коэффициентов рудоносности по четырнадцати полиметаллическим месторождениям. Во всех случаях линейные отношения, определенные по горным выработкам и буровым скважинам, оказываются выше площадных, которые вычислялись по результатам эксплуатационной разведки горными выработками. Однако, как пишут авторы, необходимо учитывать недостатки принятой методики оконтуривания блоков категории C_1 , из которых искусственно исключались безрудные участки. За счет этого исключения оказались завышенными не только линейные коэффициенты рудоносности, но и мощности рудных тел и содержания металлов. В целом же упомянутые исследователи приходят к выводу об удовлетворительном подтверждении эксплуатационной разведки запасов, подсчитанных по результатам детальной разведки.

З. Ковальчик (1962) взамен отношения суммарной длины рудных интервалов по штреку к общей его длине предлагает определять отношение площадей рудных полос или прослоек к общей площади стенки выработки.

Х. Журовски в своей статье (1965) излагает основные положения по определению сложности формы рудных залежей с учетом коэффициента оруденения, весьма близкие к той методике, которая подробно была охарактеризована ранее советскими исследователями Г. В. Тохтуевым и В. М. Казаком (1962).

Этими тремя работами в основном исчерпываются все опубликованные за рубежом сведения, непосредственно касающиеся при-

менения коэффициента рудоносности при подсчете запасов и геолого-промышленной оценке рудных месторождений.

Подводя итоги краткого обзора опубликованной литературы по рассматриваемой проблеме, необходимо обратить внимание на следующие основные моменты.

1. Подавляющее большинство исследователей признают необходимость применения коэффициента рудоносности при подсчете запасов рудных месторождений с очень неравномерным распределением промышленного оруденения в тех случаях, когда по данным разведки не удастся непосредственно оконтурить отдельные рудные тела, которые могут быть селективно отработаны.

2. Разнообразие форм коэффициента рудоносности и функций его постепенно увеличивается. Этот параметр находит все большее и большее применение не только как один из показателей, который используется при подсчете запасов и геолого-промышленной оценке, но также и как своеобразная цифровая характеристика геологических особенностей месторождений и их участков.

3. Теория применения коэффициента рудоносности постепенно обогащается результатами новых исследований, и все же еще остается немало неясностей. Многие исследователи обращают внимание на настоятельную необходимость скорейшего решения основных вопросов этой проблемы.

4. Методика правильного определения и использования коэффициента рудоносности представляется сложной и недостаточно разработанной. Следствием этого являются ошибки, неточности и просто неверные положения, которые в разное время допускались отдельными специалистами.

5. Намечается тенденция (высказанная некоторыми исследователями) дополнения или замены коэффициента рудоносности другими показателями, которые, по мнению авторов подобных предложений, позволяют более точно определять запасы и более обоснованно производить геолого-промышленную оценку определенной группы рудных месторождений.

II. ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Подавляющее большинство рудных месторождений, при подсчете запасов которых применяется коэффициент рудоносности, по генетическому признаку относятся к классу гидротермальных образований различных температур и глубин. Что касается морфологии и условий залегания рудных тел, характерных для этих месторождений, то здесь наблюдается большое многообразие, охватывающее практически все известные морфологические типы.

Если подходить с точки зрения однородности геологических блоков, то рассматриваемые месторождения относятся к субкомпактным и дискретным (по П. А. Шехтману).

Ниже будут разобраны примеры месторождений в порядке убывания надежности способов определения коэффициента рудоносности. Определение его по соотношению объемов возможно лишь после обработки рассматриваемого месторождения или участка.

Сведения об использовании такой формы параметров в практической работе можно найти в статье группы авторов, занимавшихся анализом разведки и подсчета запасов ртутно-сурьмяных месторождений Южной Ферганы (Нацвин, Никифоров, Федорчук и др., 1965).

Определение коэффициента рудоносности по соотношению площадей встречается довольно часто, особенно на эксплуатируемых месторождениях. Он вычисляется обычно по формуле

$$K_s = \frac{\sum s}{S}, \quad (\text{II.1})$$

где $\sum s$ — сумма площадей отдельных контуров балансовых рудных обособлений*; S — площадь рудоносной зоны в данном сечении.

Средний коэффициент рудоносности для блока, опирающегося на два сечения (разреза), очевидно, равен

$$\bar{K}_s = \frac{\sum s_1 + \sum s_2}{S_1 + S_2}, \quad (\text{II.2})$$

где индексами 1 и 2 обозначены параметры в соответствующих сечениях.

Площадной коэффициент рудоносности применялся, в частности, при подсчете запасов Сымапского месторождения ртути, которое приурочено к зоне одноименного (Сымапского) надвига.

Оруденение развивается как в самой зоне надвига (в лежащем и висячем боках нарушения), так и в непосредственной близости от нее, вдоль более мелких трещин, оперяющих этот разлом. Собственно рудные тела с кондиционным содержанием ртути (или рудные обособления с балансовыми рудами) имеют небольшие размеры по простиранию и падению, которые измеряются обычно единицами или первыми десятками метров (рис. 1). Мощность же, как правило, не превышает 5 м, составляя в среднем 2—3 м.

В основу трактовки морфологии отдельных рудных обособлений положены представления авторов о рудоконтролирующей роли Сымапского надвига и локализации оруденения в оперяющих его трещинах, а также о песчано-сланцевой толще силура, которая служила экраном, препятствующим рассеиванию рудоносных рас-

* Термин «рудное обособление» характеризует понятие, включающее и собственно рудные тела и мелкие скопления руд с промышленным содержанием, часть которых не может быть селективно обработана при эксплуатации месторождения.

творов. В связи с этим рудные обособления рисуются в виде плосколинзообразных гнезд. Разведка месторождения с поверхности осуществлялась с помощью канав и карьеров, а на глубину — в основном выработками штольневых типа. Расстояния

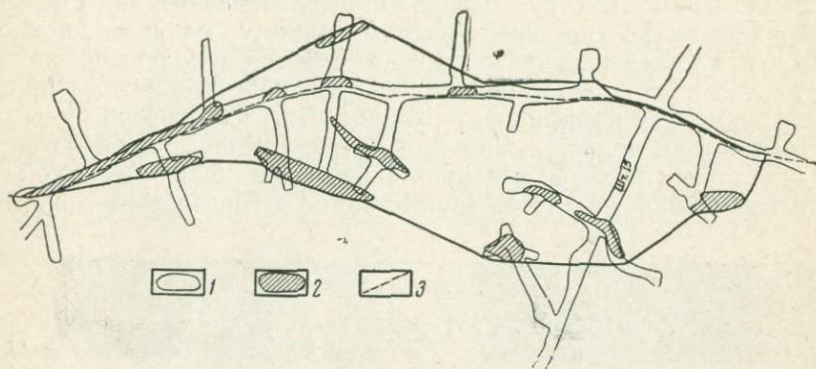


Рис. 1. Схематический план горизонта штольни на месторождении Сымап
1 — контуры рудоносной зоны, 2 — контуры рудных тел, 3 — тектоническое нарушение

между квершлагными штольнями в зоне надвига составляли 20—30 м по горизонтали и 40 м по вертикали. Рассечки в штреках и прослеживающих штольнях проходились через 15—20 м. Оконтуривание рудоносных зон осуществлялось путем проведения их границ по крайним рудным обособлениям. Подсчет запасов производился методом горизонтальных параллельных сечений. Площади рудоносных зон и рудных обособлений (рудных тел) определялись на планах опробования горизонтов, один из которых схематически показан на рис. 1 (план шт. 15). Для определения объема балансовой руды внутри блоков достаточно умножить общую площадь последних на среднюю величину площадного коэффициента рудоносности, рассчитанную по приведенной выше формуле, и объемный вес (II.2).

На одном из эксплуатируемых золоторудных месторождений Сибири, представленном жильными зонами, при оперативном подсчете запасов коэффициент рудоносности определялся на зарисовках стенок камер с использованием результатов опробования.

Рудные тела этого месторождения залегают в филлитах и вытягиваются в виде полосы между двумя крупными зонами дробления пород, гадающими под углами 50—60°. Расположенные между этими зонами филлиты разбиты многочисленными трещинами скалывания и интенсивно рассланцованы. Кроме того, залегание их осложнено складками вольочения. Зоны развития нарушений различного характера пересекают друг друга. Рудные тела месторождения, приуроченные к узлам пересечения этих зон, представлены скоплениями в большинстве случаев мелких, не выдержанных по мощности кварцевых жил весьма неправильной, часто изогнутой

формы. Зоны скопления этих жил, являющиеся объектами разведки и эксплуатации, имеют также неправильные, сложные очертания и часто сравнительно небольшое протяжение по падению при большой мощности и значительной длине их по простиранию.

Ввиду небольшого протяжения многих жильных зон по падению, часто не достигающего высоты одного эксплуатационного этажа, и высокой изменчивости их в этом же направлении как по форме, так и по содержанию золота, при подсчете запасов приходится применять коэффициент рудоносности. Собственно рудой на месторождении является жильный кварц. Эксплуатационное опробование стенок камеры, заданной вкрест простирания жильной зоны и показанной на рис. 2, осуществляется бороздовым способом.

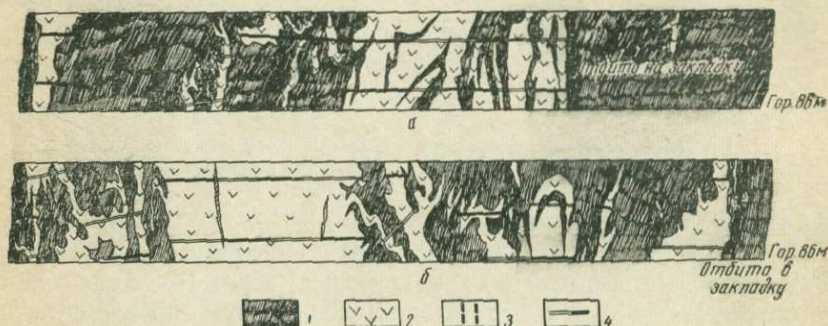


Рис. 2. Зарисовка стенок эксплуатационной камеры на золоторудном месторождении Сибири

- а — слой 86—84 м на северо-западной стенке; б — слой 86—84 м на юго-восточной стенке.
 1 — вмещающие филлиты, 2 — золотоносный кварц, 3 — границы подсчета запасов, 4 — бороздовые пробы

На зарисовке стенок, выполненной в крупном масштабе, планиметром определяется суммарная площадь опробованного кварца. Отношение суммы площадей кварцевых тел по двум стенкам к сумме площадей этих стенок и является площадным коэффициентом рудоносности. Поскольку отработка ведется слоями снизу вверх, этот параметр определяется по каждому слою. В данном случае коэффициент рудоносности равен $23,6 : 51,3 = 0,46$.

Площадной коэффициент рудоносности использовался также при подсчете запасов Раздольнинского и Кадамжайского сурьмяных месторождений, при оперативном учете эксплуатируемых запасов Лебединого золоторудного месторождения, на 14 полиметаллических месторождениях Маданского рудного района в Болгарии и т. д.

Линейная форма коэффициента рудоносности имеет три разновидности, поскольку этот параметр может быть определен по соотношению либо мощностей, либо длин по простиранию (падению) или, наконец, по размерам в направлении ширины балансовых

рудных обособлений и вмещающих их зон (или толщ) внутри контуров подсчета запасов. Для вычисления коэффициента рудоносности по соотношению мощностей используется обычно следующая формула:

$$K_m = \frac{\Sigma m}{\Sigma M}, \quad (II.3)$$

где Σm и ΣM — суммы мощностей соответственно обособлений балансовых руд и рудовмещающей толщи по отдельным «сквозным» пересечениям последней.

Характерен следующий пример. Полиметаллическое месторождение, расположенное в Таджикистане, приурочено к разломам, разрывающим крыло крупной антиклинали, сложенной преимущественно эффузивами. Рудные тела (рис. 3) представлены сложно

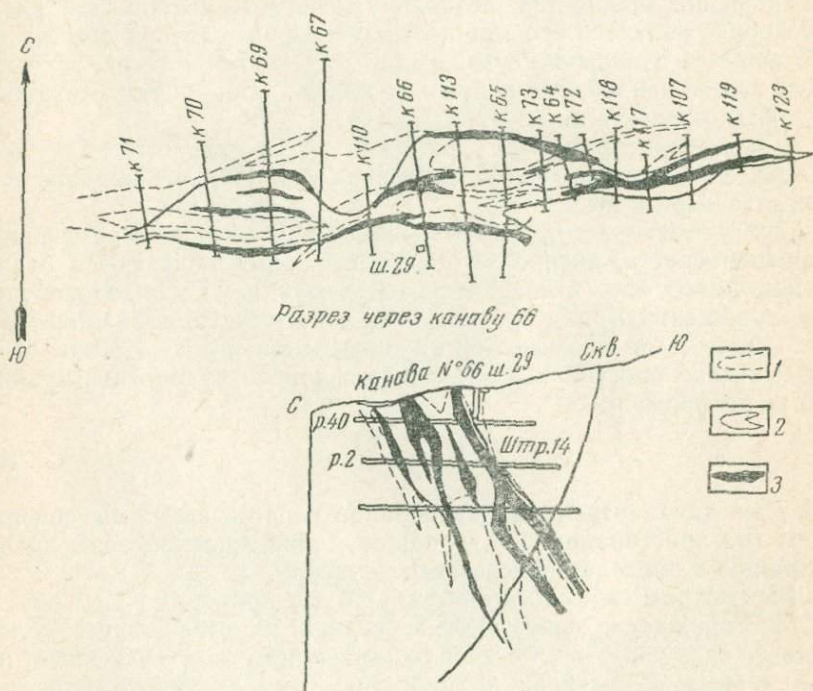


Рис. 3. Схематический план полиметаллического месторождения в Таджикистане
1 — зоны разрушенных гидротермально измененных пород, 2 — контуры подсчета запасов, 3 — рудные тела

ветвящимися крутопадающими жилами и жильными зонами, выходящими на дневную поверхность, размеры которых колеблются от 250 до 1380 м по простиранию и от 155 до 300 м по вертикали при средней мощности от 2 до 5 м. Контуры рудных тел нечеткие, с



постепенными переходами промышленного оруденения в бедную вкрапленность сульфидов и определяются только по данным опробования. Месторождение разведывалось горными выработками в комбинации со скважинами колонкового бурения. Запасы были подсчитаны методом геологических блоков в проекции рудоносных зон на вертикальную плоскость с применением коэффициента рудоносности.

Аналогичным образом вычислялся коэффициент рудоносности и на одном из участков Удоканского медного, на Джиджикрутском сурьмяно-ртутном и на ряде ртутных (Хайдаркан, Чаувай) и сурьмяных (Кадамджай) месторождений Южной Ферганы и т. д.

Близок к рассмотренному и способ определения этого параметра, используемый обычно при подсчете запасов штокверковых месторождений. Однако применительно к ним трудно говорить о соотношении мощностей, поскольку не всегда ясно, какой размер штокверка является его мощностью. В таких случаях обычно рассчитывается отношение суммы длин рудных интервалов, вскрываемых, как правило, скважинами, к общей длине этих скважин в пределах подсчетного контура (рис. 4).

Примерами таких месторождений могут служить Сорское и Жирекенское молибденовые месторождения, Инкурский вольфрамовый штокверк и др.

Долгую историю применения имеет другая форма коэффициента рудоносности, которой в последнее время пользуются сравнительно редко. Еще в двадцатые годы на одном из золоторудных месторождений Урала при подсчете запасов использовали отношение суммы длин промышленных интервалов к общей длине жильной зоны по простиранию, т. е. коэффициент рудоносности вычислялся по формуле

$$K_l = \frac{\sum l}{L}, \quad (\text{II.4})$$

где l — длина отдельных интервалов с промышленным содержанием (по простиранию); L — общая длина жильной зоны по простиранию в пределах подсчетного контура.

Рассмотрим этот способ на конкретном примере.

Месторождение представлено серией крутопадающих золоторудных кварцевых жил с небольшим количеством сульфидов, расположенных в пределах крупного массива плагиогранитов, прорывающего толщу палеозойских эффузивно-осадочных пород. Жилы приурочены к дайкам метаморфизованных жильных пород. Золоторудные жилы залегают преимущественно в этих измененных породах или в контакте последних с плагиогранитами. Простирание даек и жил близко к широтному, падение крутое ($70-85^\circ$). Морфология жил характеризуется чередованием отдельных кварцевых линз, расположенных последовательно или кулисообразно в зоне разлома, с безрудными участками, длина которых достигает нескольких десятков метров. Длина линз колеблется от нескольких

до ста метров и более. По простиранию жилы прослеживаются на протяжении от 50 м до 2 км. Мощность их обычно изменяется от 0,2 до 1,0 м, достигая в раздувах 4—5 м. Золото в основном мелкое и связано с пиритом и арсенипиритом, реже встречается в

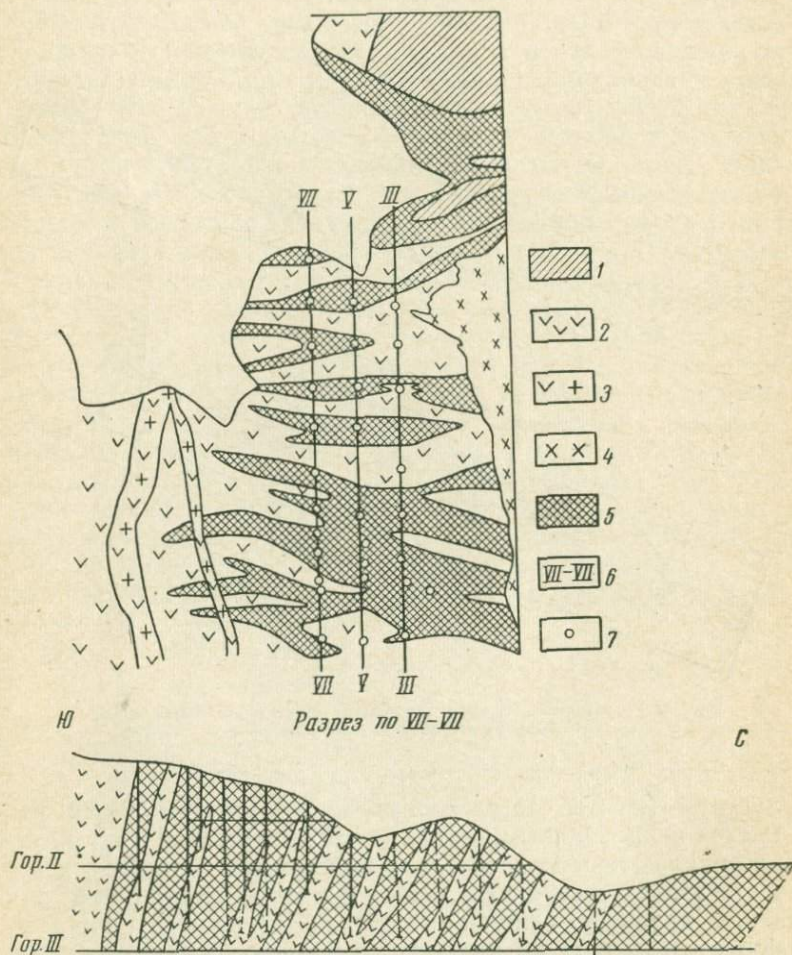


Рис. 4. Геологический план горизонта II штокерковского месторождения
 1 — метаморфические сланцы, 2 — кварцевые диориты, 3 — плагиограниты, 4 — гранит-порфиры, 5 — рудные обособления, 6 — линии разведочных профилей, 7 — буровые скважины

свободном состоянии в кварце. Детальная разведка месторождения производилась путем проходки штреков по простиранию жил. Глубокие горизонты освещались бурением колонковых скважин. Запасы подсчитывались методом эксплуатационных и геологических блоков в проекции на вертикальную плоскость с использова-

нием коэффициента рудоносности. Способ определения последнего ясен из рис. 5.

Таким же образом определялся коэффициент рудоносности на Тызыльском полиметаллическом месторождении и на Ново-Троицком золото-мышьяковом.

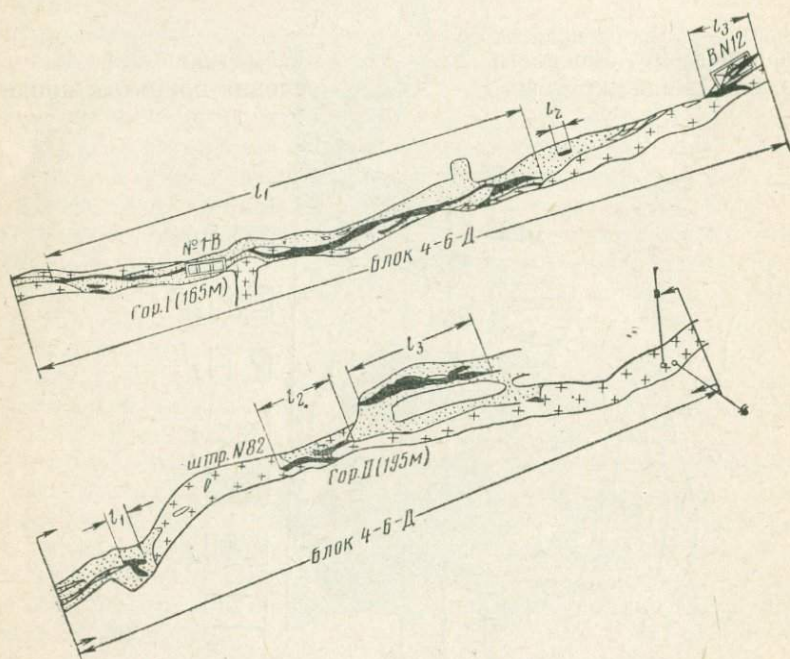


Рис. 5. Геологические планы горизонтов в пределах блока 4-6-Д по жиле золоторудного месторождения

Следует отметить, что на первый взгляд рассматриваемый прием кажется неправильным, поскольку мощности жил в промышленных интервалах порой значительно колеблются. Однако в действительности это не совсем так. Если изменения мощностей имеют случайный характер, ошибки в определении рудных площадей (и объемов рудных тел) не выходят за пределы точности подсчета запасов, осуществляемого без применения коэффициента рудоносности. Причем очевидно, что если на участке подсчета преобладают небольшие мощности и наблюдаются отдельные раздувы, сложенные промышленными рудами, то применение коэффициента рудоносности приведет к некоторому занижению балансовых запасов. И, наоборот, если преобладают большие мощности и встречаются отдельные редкие пережимы (но в пределах промышленных значений мощностей), использование коэффициента даст некоторое завышение запасов. При более или менее равномерном чередовании

раздувов и пережимов, как показывают эксперименты на плоских моделях, существенных расхождений в запасах быть не должно, особенно если сопоставить данные не по единичным блокам, а в целом по участкам или месторождению.

Известный интерес представляет редкий случай применения коэффициента рудоносности, рассчитанного по соотношению размеров промышленной части и всей залежи в направлении ширины последней. Этот пример заслуживает детального рассмотрения.

В пределах золоторудного месторождения, расположенного в Якутии, разведана горизонтальная метасоматическая залежь в кембрийских доломитах. Она представляет собой пластообразное рудное тело, согласное с залеганием вмещающих пород и приуроченное к пересечению горизонтальных ослабленных зон с зонами вертикальной трещиноватости. Залежь состоит из трех разобщенных по вертикали рудных горизонтов, сопряженных с крутопадающими жилами. В связи с неполным замещением доломитов оруденение внутри каждого горизонта имеет прерывистый характер и наблюдается в виде отдельных участков или блоков, разобщенных в плане. Форма этих участков обычно вытянутая, лентовидная. Размеры их по простиранию 100—500 м, а ширина от 10 до 100 м; мощность горизонтов колеблется от 0,1—0,3 до 1,0—1,8 м. Контакты рудного тела извилисты; часто от залежи отходят мелкие апофизы. Выклинивание залежи очень часто имеет пятнистый (гнездовый) характер; нередко случаи тупого выклинивания у тектонических поверхностей (рис. 6). Руда состоит в основном из анкерита

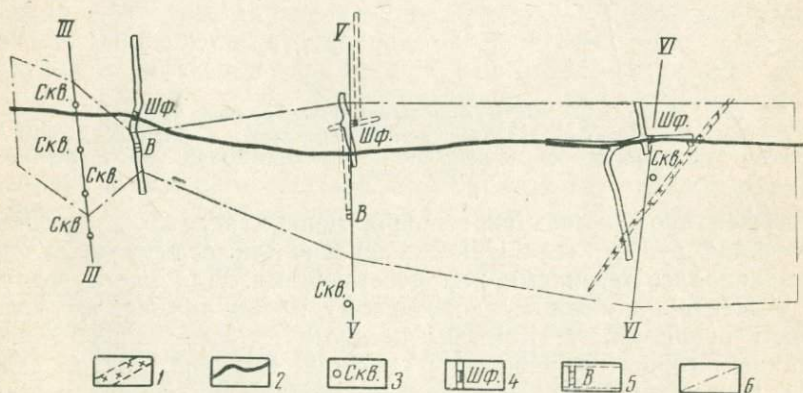


Рис. 6. План подсчета запасов золоторудной залежи (проекция на горизонтальную плоскость)

1 — дайка изверженных пород, 2 — золоторудная жила, 3 — буровые скважины, 4 — шурфы, 5 — восстающие, 6 — контуры подсчета запасов

с вкрапленностью пирита. Золото распределено весьма неравномерно и связано главным образом с пиритом. Залежь разведана буровыми скважинами и подземными горными выработками. При

поисковых работах скважины располагались по сетке 20×120 м. При детальной разведке расстояние между профилями скважин составляло 60 м. Внутри профиля скважины нередко задавались в виде пучков по 2—3 из одной точки. Горизонтальные выработки

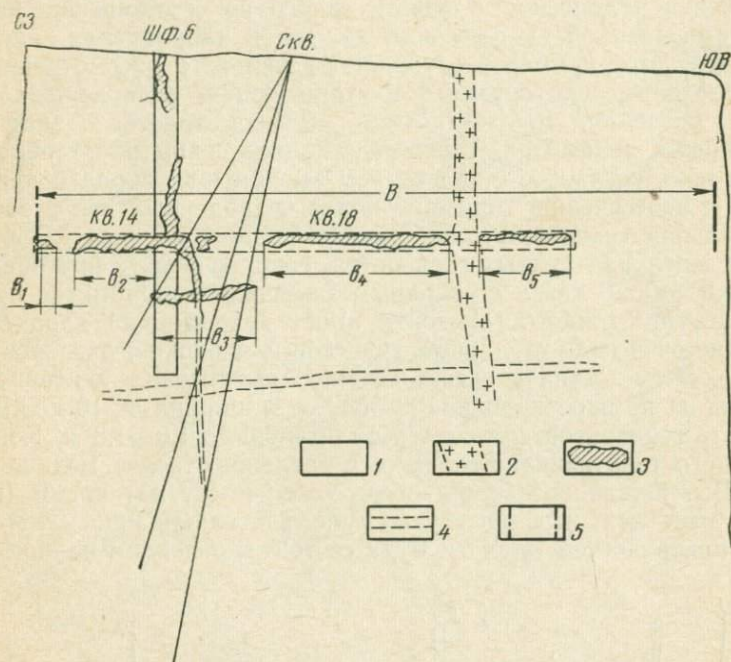


Рис. 7. Разрез через золоторудную залежь (разрез по линии VI—VI)

1 — вмещающие породы, 2 — дайка изверженных пород, 3 — промышленная руда, 4 — контуры залежи, не вскрытой горными выработками, 5 — контуры подсчета запасов

из шурфов проходились вкрест простирания залежи до полного пересечения рудного тела. При западении или воздымании залежь прослеживалась гезенками или восстающими. Для учета безрудных участков по каждому подсчетному блоку применялся коэффициент рудоносности. Контуры подсчета запасов определялись по данным горных выработок и скважин. Влияние каждой скважины распространялось на половину расстояния ее от смежной выработки или скважины. Отношение суммы длин рудных интервалов (т. е. ширины промышленной части залежи), вскрытых выработками, к общей ширине залежи в каждом профиле определяет величину коэффициента рудоносности. Например, в разрезе по линии VI—VI (рис. 7) для одного из рудных горизонтов этот показатель вычислялся следующим образом:

$$K_b = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5}{B} = \frac{75}{90} = 0,83. \quad (II.5)$$

Среднее значение коэффициента рудоносности по блоку 1 вычислялось как отношение суммы длин рудных интервалов (в направлении ширины залежи) по всем трем профилям к сумме протяженностей (вкрест простираения) подсчетного контура по этим же профилям, т. е.

$$\bar{K}_b = \frac{\sum b}{\sum B}, \quad (\text{II.6})$$

где b — ширина рудных обособлений; B — ширина рудоносной зоны.

Довольно редко и в основном для ориентировочных расчетов используется отношение числа выработок (или вообще разведочных пересечений), вскрывающих промышленные руды, к общему числу их в пределах контура подсчета. В этом случае

$$K_n = \frac{n}{N}, \quad (\text{II.7})$$

где n — число пересечений (выработок или проб), вскрывших балансовые руды; N — общее число пересечений в пределах контура подсчета запасов.

Характерен следующий пример из практики.

Один из флангов пластообразного медно-никелевого месторождения представлен пологой, почти горизонтальной залежью вкрапленных руд в песчаниках. Оруденение в общем сравнительно выдержанное, и залежь может быть отнесена к группе 2 группировки ГКЗ месторождений цветных и редких металлов по природным факторам, определяющим методику их разведки. Однако местами сплошность оруденения нарушается. Кроме того, среди рядовых вкрапленных руд выделяются отдельные мелкие гнезда и линзы богатых руд, представляющих для промышленности большой интерес и подлежащих селективной отработке. Разведка месторождения производилась глубокими колонковыми скважинами по редкой сети, плотность которой достаточна для квалификации запасов рядовых руд по категории В. В то же время принятые расстояния между выработками не позволяют с необходимой точностью оконтурить отдельные гнезда богатых руд. Поэтому подсчет запасов последних производился с применением коэффициента рудоносности. Последний определялся по приведенной выше формуле (II. 7). Число «рудных» скважин равно 17 (n), а общее их количество — 33 (N). Следовательно,

$$K_n = \frac{17}{33} = 0,52.$$

В то же время если вычислить K по соотношению мощностей, т. е. по формуле (II. 3), которое несомненно более точно отражает степень рудоносности рассматриваемой пластообразной толщи, то величина коэффициента окажется равной всего 0,25.

На этом примере мы видим, к каким серьезным ошибкам может привести применение коэффициента рудоносности, рассчи-

танного по соотношению числа пересечений — погрешность превышает 100% определяемой величины. Более подробно вопрос о недостатках этой формы исследуемого параметра будет разобран в следующем разделе.

Выше на ряде примеров были рассмотрены способы определения различных форм коэффициента рудоносности, практикуемые при подсчете запасов. Теперь остановимся на способах вычисления средних значений коэффициента для блока, участка, горизонта или месторождения.

Часто для расчета средней величины пользуются среднеарифметическим способом. Таким образом, например, подсчитывали запасы В. И. и Е. Ф. Оробей на Тызыльском полиметаллическом месторождении, представленном рудоносными зонами трещинного типа в метаморфических сланцах, измененных ультрабазитах и реже в прорывающих эти породы гранитах. Рудоносные зоны, в пределах которых выделяется серия кварцевых жил, переходящих в брекчию, приурочены к разломам северо-восточного и северо-западного простираний. Промышленное оруденение локализуется как в самих кварцевых жилах, так и в брекчии. Протяженность рудоносных зон колеблется от 200 до 3700 м по простиранию при мощности от нескольких сантиметров до 20—25 м. Размеры отдельных рудных тел изменяются соответственно от 25 до 380 м по простиранию и от нескольких сантиметров до 6,5 м по мощности. Разведка месторождения осуществлялась в основном горными выработками — канавами и шурфами с поверхности и штольнями и рассечками из штолен на глубине. Подсчет запасов производился методом геологических блоков на проекциях рудоносных зон на вертикальную плоскость. Применявшийся коэффициент рудоносности определялся как отношение суммарной протяженности балансовых рудных интервалов по простиранию зоны ко всей величине ее протяженности, т. е. по формуле (II. 4).

Для определения среднего коэффициента по блоку, ограниченному двумя горизонтами горных выработок, значения этого параметра, вычисленные на каждом горизонте, суммировались и делились пополам.

На том же месторождении среднее значение коэффициента рудоносности (определявшегося в каждой выработке по соотношению мощностей) в блоке рассчитывалось по формуле

$$\bar{K}_m = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4} = \frac{1,0 + 0,58 + 1,0 + 1,0}{4} = 0,89, \quad (\text{II.8})$$

где K_1 , K_2 и т. д. — коэффициенты рудоносности по отдельным выработкам.

Если разведочная сеть более или менее равномерна и если колебания мощностей в пределах блока незначительны, такой способ еще допустим. Однако лучше пользоваться, как это будет показано ниже, отношением суммы длин интервалов с промышленным ору-

денением к сумме рудоносной зоны на двух горизонтах, ограниченной контурами подсчетного блока, т. е. применять формулу

$$\bar{K}_l = \frac{\Sigma l_i + \Sigma l_n}{\Sigma L_i + \Sigma L_n}, \quad (\text{II.9})$$

где l_i — длины рудных интервалов на одном из горизонтов; l_n — то же, на другом горизонте; L_i и L_n — длины выработок, оконтуривающих блок на соответствующих горизонтах.

Это соотношение в большинстве случаев и используется в практике подсчета запасов. В частности, на упоминавшемся уже золоторудном месторождении Урала при подсчете запасов по категории В в блоке 4-6-Д (см. рис. 5) коэффициент рудоносности был определен как

$$K_l = \frac{l'_1 + l'_2 + l'_3 + l''_1 + l''_2 + l''_3}{L_1 + L_2}, \quad (\text{II.10})$$

где l'_1, l'_2, l'_3 и L_1 — соответственно длины рудных интервалов и протяженность штрека на верхнем горизонте (165 м); l''_1, l''_2, l''_3 и L_2 — соответственно длины рудных интервалов и протяженность штрека на нижнем горизонте (195 м).

Иногда при подсчете запасов применяется «взвешивание» коэффициента рудоносности на тот или иной параметр, что в какой-то мере позволяет учитывать размеры участка, в пределах которого он подсчитывается. Целесообразность использования такого приема определяется тем, что степень влияния данного участка на общие цифры запасов руды обуславливается его размерами. Чем больше участок, тем больше его влияние, т. е., иначе говоря, вероятность изменения общих запасов месторождения за счет показателей крупного участка больше, чем вероятность влияния небольшого. Правомерность подобного уточнения представляется достаточно очевидной: она позволяет избежать больших случайных погрешностей. Следует, однако, заметить, что усложнение расчетов имеет смысл только тогда, когда размеры участков резко различны.

В роли параметра, на который «взвешивается» коэффициент рудоносности, выступают объемы блоков, площади сечений или линейные размеры участков (мощности или протяженности по простиранию).

В частности, в приведенном выше примере полиметаллического месторождения, расположенного в Таджикистане (см. рис. 3), коэффициент рудоносности в ряде случаев определялся путем взвешивания мощностей на длины влияния выработок, т. е. по формуле

$$\bar{K}_m = \frac{K_1 L_1 + K_2 L_2 + \dots + K_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} = \frac{\Sigma K_i L_i}{\Sigma L_i}, \quad (\text{II.11})$$

где L_i — длина влияния выработок.

Характерно, что величина коэффициента заметно менялась в зависимости от того, по какой формуле он вычислялся. Так, например, для блока III-B коэффициент рудоносности, определенный по формуле (II. 3), составил 0,28. Если же пользоваться формулой (II. 10), то он будет равен 0,22, т. е. разница между этими значениями достигает 21% (относительных).

Не следует, однако, механически пользоваться рассматриваемым приемом и взвешивать коэффициент рудоносности на тот размер, по которому он вычислялся, поскольку это приведет только к лишним расчетам. Такие случаи встречаются. В частности, можно привести следующий пример.

Месторождение меди, которое находится в Забайкалье, представлено крупными линзообразными и пластообразными телами в медистых песчаниках. С поверхности оно разведывалось канавами, а на глубину — в основном скважинами колонкового бурения. Подсчет запасов производился методом геологических блоков на проекции рудных тел на горизонтальную плоскость. Коэффициент рудоносности вычислялся по соотношению мощностей по каждой выработке в отдельности и по блоку в целом. Причем если по выработке он определялся по формуле (II. 3), то для блока величина его вычислялась как средневзвешенное на мощность рудоносной толщи, т. е.

$$\bar{K}_m = \frac{K_1 M_1 + K_2 M_2 + \dots + K_n M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n} = \frac{\sum K_i M_i}{\sum M_i}, \quad (\text{II. 12})$$

где K_1, K_2, \dots, K_n — коэффициенты рудоносности по отдельным выработкам; M_1, M_2, \dots, M_n — мощности рудоносной толщи, включая некондиционные и безрудные прослои, по тем же выработкам; $\sum M_i$ — сумма мощностей рудоносной толщи.

В данном случае авторы подсчета не учли того, что каждое произведение, например $K_1 M_1$ и т. д., по существу представляет собой просто мощность рудной части в данной выработке, так как

$$K_i = \frac{m_i}{M_i} \quad (\text{II. 13}) \text{ и выражение } K_i M_i = \frac{m_i M_i}{M_i} = m_i, \quad (\text{II. 14})$$

т. е. при таком «взвешивании» мы имеем дело с отношением суммы мощностей балансовых руд к сумме мощностей рудоносной зоны, вскрытых отдельными выработками.

Усложнение расчетов взвешиванием практически явилось здесь лишней операцией, ибо в конечном итоге коэффициент рудоносности по блоку определялся по формуле (II. 3).

Взвешивание на площади производилось, например, при подсчете запасов пологозалегающего ртутно-сурьмяного месторождения, расположенного в Таджикистане, которое было разведано сетью вертикальных колонковых скважин. Коэффициент рудоносности по сечению определялся соотношением суммы мощностей промышленных руд и суммы мощностей рудовмещающей толщи кремнистых брекчий, установленных скважинами. А коэффициент

рудности по блоку при подсчете запасов методом вертикальных параллельных сечений вычислялся путем взвешивания соответствующих коэффициентов по сечениям на площади этих сечений, т. е. по формуле

$$\bar{K}_m = \frac{K_1 S_1 + K_2 S_2}{S_1 + S_2}, \quad (II.15)$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты по смежным сечениям; S_1 и S_2 — соответственно площади рудоносной зоны в смежных сечениях.

Наиболее часто среднее значение коэффициента вычисляется путем суммирования, с одной стороны, параметров, характеризующих интервалы балансовых руд (площади, длины, мощности и т. д.) в отдельных выработках, а с другой — параметров, отражающих рудоносную зону (в тех же пересечениях), и последующего определения отношения этих сумм. Таким образом, средняя величина коэффициента определялась на Хайдарканском и Чаувайском ртутных, Кадамжайском сурьмяном и ряде других месторождений.

В эксплуатационных блоках при расчете средней величины обычно используются результаты опробования обнажений всех его сторон. Так, на упоминавшемся золоторудном месторождении на Урале, которое представлено жильными зонами, средний по блоку (рис. 8) коэффициент рудоносности определялся как отношение суммы длин интервалов с промышленным оруденением, вскрытых штреками сверху и снизу, а также длины промышленного контура, установленного очистными работами (западная стенка блока), ко всему периметру этого блока. В рассматриваемом случае

$$\bar{K}_l = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}{L_1 + L_2 + L_3}, \quad (II.16)$$

где l_1, l_2 и т. д. — протяженности рудных участков, вскрытых штреками на верхнем и нижнем горизонте, а также в забое блока; L_1 и L_2 — длины штреков в пределах блока; L_3 — длина забоя блока (в данном случае совпадающая с l_4 , так как весь забой вскрывает промышленную руду).

$$\bar{K}_l = \frac{10 + 6 + 10 + 33 + 6 + 8}{39 + 18 + 33} = \frac{73}{90} = 0,81.$$

Итак, в практике применения коэффициента рудоносности при подсчете запасов рудных месторождений легко обнаружить следующие характерные особенности.

1. Чаще всего для определения его пользуются соотношениями мощностей рудных тел и рудоносной зоны. Затем в порядке убывания частоты встречаемости располагаются способы, основанные на соотношении площадей, длин по простиранию, числа разведанных пересечений и, наконец, размеров рудных обособлений и рудоносной зоны по их ширине.

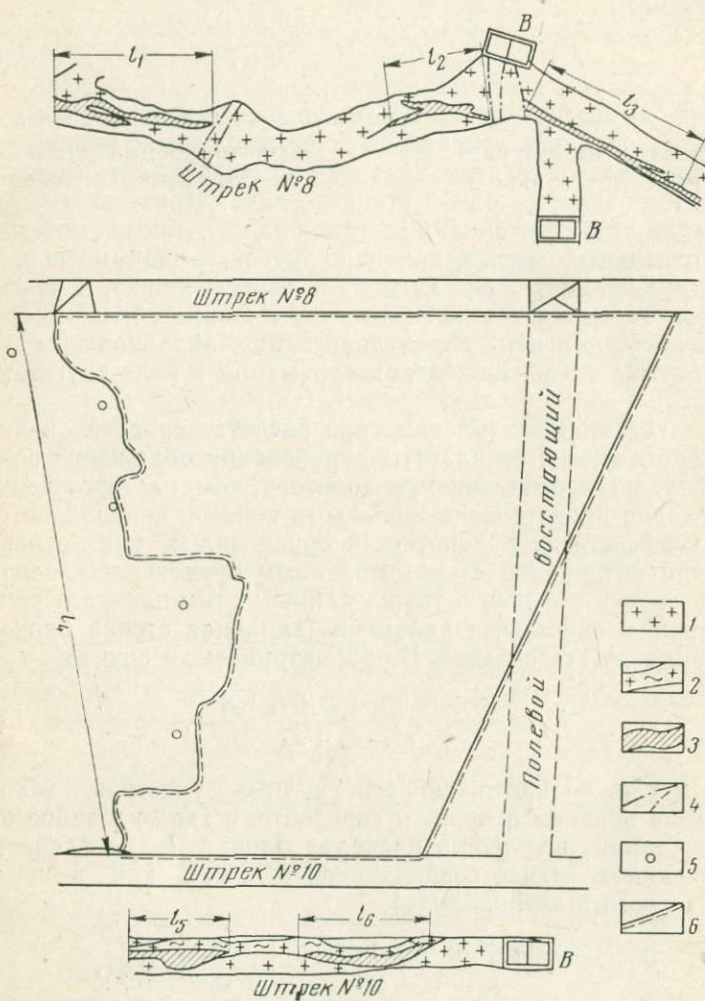


Рис. 8. План верхнего и нижнего горизонтов и проекция на вертикальную плоскость подсчетного блока на жильном месторождении золота Урала

1 — граниты нормальные, 2 — граниты разрушенные, 3 — рудный кварц, 4 — тектонические нарушения, 5 — пробы, 6 — границы подсчетного блока

2. В большинстве случаев средние значения коэффициента рудоносности вычисляются по отношению сумм параметров, характеризующих единичные замеры. Реже применяется взвешивание на тот или иной показатель и лишь в редких случаях средний коэффициент по блоку, участку, месторождению определяется как среднее арифметическое из данных по отдельным разведочным пересечениям.

3. Наблюдаются случаи методически неправомерного вычисления как частных, так и средних значений коэффициента рудоносности.

III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Остановимся прежде всего на определении понятия коэффициента рудоносности. В результате обобщения сведений, изложенных в предыдущих разделах, можно прийти к следующей наиболее общей формулировке. *Под коэффициентом рудоносности понимается отношение балансовых запасов руды к запасам горной массы**, выполняющей весь объем, ограниченный контурами подсчета.

Следовательно, наиболее правильным является определение коэффициента как весового отношения количества запасов, поскольку в итоге всех расчетов нас интересуют прежде всего запасы руды и металла. Применение коэффициента рудоносности имеет смысл только при соблюдении таких обязательных условий, как геометризация балансовых запасов при последующей детализации разведочных работ и возможность при эксплуатации селективной выемки промышленных руд или же целесообразность сортировки добытой горной массы для выделения последних.

Остановимся более подробно на характеристике коэффициента рудоносности.

Свойства коэффициента рудоносности

Из многочисленных особенностей этого показателя заслуживают внимания следующие: 1) пределы изменения; 2) относительная изменчивость; 3) зависимость от параметров кондиций; 4) связь с основными характеристиками рудных обособлений; 5) влияние анизотропности рудоносных зон на величину коэффициента; 6) отсутствие связи с морфологией рудных обособлений.

Рассмотрим каждое из этих свойств в отдельности.

Пределы изменения коэффициента рудоносности далеко не всегда очевидны. Верхним пределом его значений во всех слу-

* Обобщающий термин «горная масса» охватывает все в различной степени оруденелые образования — от пустых пород до богатых руд.

чаях является единица, поскольку он представляет собой отношение части (запасов или объема) к целому.

Вопрос о минимально допустимом значении вызывает много споров. Причем в большинстве случаев обнаруживается эмпирический подход к решению этого вопроса или же предельная величина устанавливается волевым путем.

Однако результаты исследований, проведенных В. В. Стефановичем в ЦНИГРИ и В. М. Гурецким и Э. Э. Асадулиным в САИГИМСе, позволяют в каждом конкретном случае определять нижний предел коэффициента рудоносности расчетным путем по выведенным формулам. Теоретически наименьшее значение коэффициента рудоносности может быть очень малым, если содержание металла в балансовой руде будет очень высоким. Практически же наименьшей величиной его можно считать 0,01. Более малая величина уже будет просто нереальной, поскольку, с одной стороны, нецелесообразно искать слишком мелкие рудные обособления в блоке, как «иголку в стоге сена», а с другой — эта цифра почти на порядок ниже точности («чувствительности») подсчета запасов.

Амплитуда колебания величины коэффициента рудоносности на одном и том же месторождении зависит от размера того участка, для которого он рассчитывается.

Так, в ряду следующих участков: зона влияния единичной выработки — площадь основания подсчетного блока — объем подсчетного блока — рудоносная залежь — месторождение и т. д. — амплитуда изменений коэффициента будет постепенно уменьшаться. В качестве иллюстрации можно сослаться на пример одного из сурьмяных месторождений, где линейный коэффициент рудоносности, вычисленный по каждой из 53 скважин, колеблется от 0,05 до 1,00. В то же время величина его в отдельных сечениях изменяется в более узком интервале (от 0,16 до 0,96), и еще ближе пределы колебаний его в среднем по блокам (от 0,16 до 0,84).

Относительную изменчивость коэффициента рудоносности можно выразить через коэффициент вариации рассматриваемого параметра. Величина последнего, рассчитываемая по обычной формуле *, будет меняться в зависимости от объема горной массы в целике, в пределах которого определяется степень рудоносности. Так, например, на Инкурском вольфрамовом штокверке вариация степени рудоносности, определявшейся по отдельным скважинам, составляет 37%, в то время как изменчивость коэффициента рудоносности, вычисленная по подсчетным блокам, значительно ниже (16%). Очевидно, чем крупнее подсчетные блоки, тем меньше будет меняться от одного из них к другому величина относительной насыщенности рудой. То есть наблюдается картина,

* Коэффициент вариации $V = \frac{\sigma_k}{\bar{K}} \cdot 100$; где σ_k — стандарт (среднее квадратическое отклонение) коэффициента рудоносности; \bar{K} — среднее значение коэффициента для данной статистической совокупности.

в общем аналогичная той, которая свойственна изменчивости содержаний полезного компонента. Аналогия является вполне закономерной, поскольку и содержание, и коэффициент рудоносности по существу являются показателями, характеризующими одно и то же понятие — концентрацию полезного компонента в рассматриваемом объеме. Но по сравнению с содержанием изменчивость степени рудоносности чаще оказывается несколько меньшей. Это положение иллюстрируется табл. 1.

Таблица 1

Месторождение	Коэффициент вариации		Примечание
	содержания металла	рудоносности	
Золоторудные жилы и жилные зоны			
Советское	51	11	} Вычислено по средним показателям подсчетных блоков
Жила Рождественская	39	10	
Жила Высокая	49	11	
Пластообразные сурьмяные месторождения			
Джиджикрут	60	33	То же
Кадамжай	28	15	Вычислено по средним показателям оснований блоков
Жилные зоны и пластообразные месторождения ртути			
Чаувай	67	46	} Рассчитано по средним показателям подсчетных блоков
Сымап	74	57	
Молибденовые и вольфрамовые штокверки			
Инкур	9	16	Рассчитано по средним показателям блоков
»	20	37	Рассчитано по средним показателям скважин
Сорское	26	52	Рассчитано по средним показателям подсчетных блоков
Жирекен	67	73	
Золоторудный штокверк	21	42	

Как видно из данных таблицы, в семи случаях из двенадцати изменчивость содержаний значительно выше (иногда почти в 5 раз) колебаний степени рудоносности.

Но на штокверковых месторождениях молибденовых, вольфрамовых и других руд наблюдается обратная картина, что легко объясняется своеобразными особенностями этих объектов. Штокверки, как правило, отличаются сравнительно низкими содержаниями полезного компонента, поэтому и размах их колебаний ниже, чем на других месторождениях, а степень рудоносности меняется столь же значительно.

Сравнивая вариации значений рассматриваемого показателя, определенных на одном и том же месторождении, с одной сторо-

ны, как средние по блокам, а с другой — по отдельным выработкам, убеждаемся, что разброс величин по разведочным пересечениям намного больше (месторождение Инкур).

Зависимость коэффициента рудоносности от параметров кондиций наиболее четко проявляется в отношении бортового лимита.

На одном из золоторудных месторождений Якутии автором были рассчитаны коэффициенты при четырех вариантах бортового содержания. Оказалось, что изменение средних значений рассматриваемого параметра при переходе от одного борта к другому имеет прямолинейный характер. Интересно, что такая закономерность прослеживается на всех горизонтах и флангах основной рудоносной зоны (рис. 9). Аналогичным образом выглядит и график

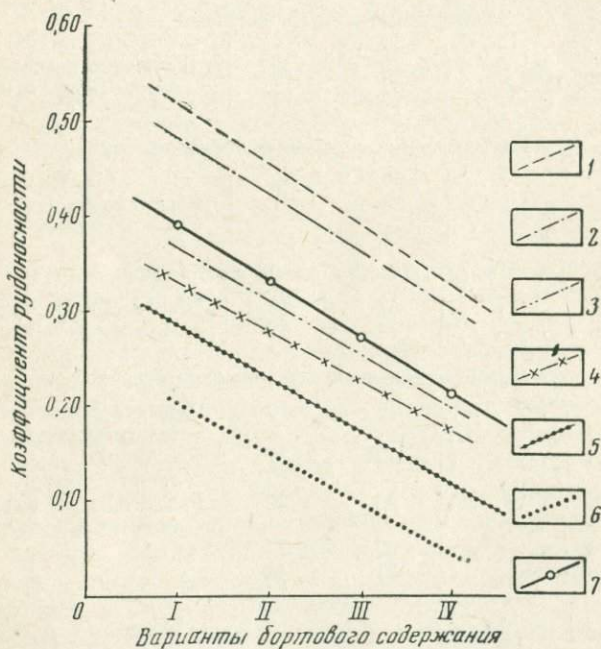


Рис. 9. Зависимость коэффициента рудоносности от величины бортового содержания металла на золоторудном месторождении Якутии

1 — горизонт штольни № 2, 2 — горизонты штольни № 1, 3 — горизонт штольни № 7, 4 — поверхности, 5 — горизонт штольни № 5; 6 — горизонт штольни № 6, 7 — в целом по месторождению

зависимости коэффициента рудоносности от бортового содержания и на одном из ртутных месторождений Средней Азии. Причем это ртутное месторождение по своим геологическим особенностям во-

обще и морфологии рудных тел, в частности, резко отличается от упомянутого золоторудного месторождения.

По-видимому, прямолинейная зависимость среднего значения коэффициента рудоносности от бортового содержания является общей закономерностью для месторождений с прерывистым оруденением, промышленные запасы которых оконтуриваются только по результатам опробования.

Кстати, вариация степени рудоносности при переходе от одного бортового лимита к другому не остается постоянной (табл. 2).

Таблица 2

Вариант бортового содержания в возрастающем порядке	Количество выработок	Среднее значение	Дисперсия	Стандарт	Коэффициент вариации
I	232	39	638	25	65
II	232	32	566	24	74
III	232	27	468	22	80
IV	232	21	366	21	91

Как видно из данных таблицы, чем выше бортовой лимит, тем выше изменчивость степени рудоносности, характеризуемая коэффициентом вариации.

Некоторое влияние на величину среднего коэффициента рудоносности оказывает и минимально допустимая мощность рудных тел. Однако этот вопрос остается недостаточно изученным. На рассмотренном выше золоторудном месторождении Якутии изменение минимальной мощности с 2 до 4 м привело к небольшому, но устойчивому уменьшению коэффициента — всего на 0,01, что составляет от 3 до 5% определяемой величины для разных вариантов подсчета.

На Ахейском ртутном месторождении при увеличении минимально допустимой мощности рудных тел последовательно от 1 до 5 м коэффициент рудоносности (при прочих равных условиях) уменьшался соответственно с 0,86 до 0,83 и 0,80, т. е. изменения его достигали 7%.

На рассмотренных только что примерах изучалось также воздействие другого параметра — максимальной мощности прослоев убогих руд и пустых пород. На Ахейском месторождении (при прочих равных условиях) наблюдается некоторый рост средних значений коэффициента рудоносности при увеличении мощности некондиционных прослоев (табл. 3, рис. 10).

В то же время на золоторудном месторождении подобная зависимость оказывается весьма слабой. Лишь на одном из разведочных горизонтов (из пяти) при подсчете запасов по двум (из четырех) вариантам бортового содержания также устанавливается некоторое увеличение среднего коэффициента рудоносности при

Параметр	Варианты допустимой мощности некондиционных прослоев, м				
	1	2	3	4	5
Средний коэффициент рудоносности	0,76	0,78	0,81	0,83	0,83

переходе от меньшего значения предельно допустимой мощности некондиционных прослоев к большему.

Характер связи между рассматриваемыми параметрами имеет в общем криволинейный вид, причем по мере увеличения допусти-

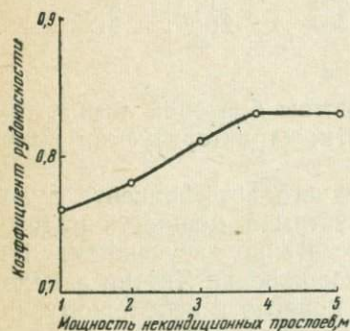


Рис. 10. Зависимость коэффициента рудоносности от допустимой мощности некондиционных прослоев на Ахейском ртутном месторождении

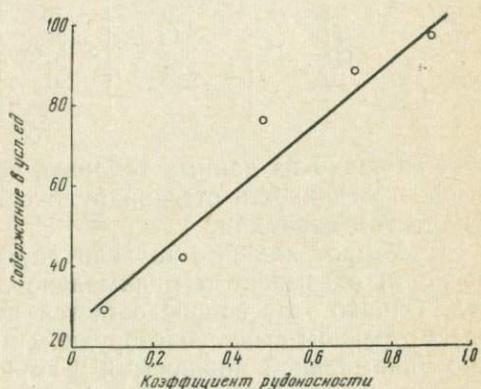


Рис. 11. Зависимость содержания металла от коэффициента рудоносности на молибденовом месторождении Жирекен

мой мощности прослоев вначале намечается заметный подъем кривой, а затем она стабилизируется на определенном уровне, переходя в прямую (рис. 10). Такой тип зависимости не является случайным. Можно утверждать априори, что он будет общим для любого месторождения, поскольку разубоживание балансовой руды некондиционными прослоями имеет свой предел, который определяется двумя факторами: с одной стороны, лимитом содержания, устанавливаемым условиями, а с другой — мощностью рудоносной зоны. При увеличении мощности прослоев выше определенного значения среднее содержание по разведочной выработке будет падать ниже лимита и тогда придется исключить из подсчета всю выработку. Кроме того, мощность рудоносной зоны является конечной величиной, не превышающей обычно единиц или

первых десятков метров. И лишь в редких случаях она достигает сотни метров.

Связь коэффициента рудоносности с основными характеристиками рудных залежей хорошо прослеживается на многих месторождениях. Наибольшее практическое значение имеет взаимозависимость коэффициента рудоносности и содержания металла в руде. В подавляющем большинстве случаев (рис. 11—13) устанавливается прямая зависимость между этими показателями, что, на первый взгляд, кажется нелогичным, если рассуждать с позиции: чем выше содержание, тем выше коэффициент рудоносности. Но стоит посмотреть на это явление с другой стороны, как все становится на свое место. Действительно, чем выше коэффициент рудоносности, тем выше и содержание. Где, как не в массивных рудах (точнее, в участках с максимальной концентрацией рудного вещества), можно ожидать наиболее высоких содержаний полезного компонента?

Рассматриваемая зависимость в общем, по-видимому, имеет криволинейный характер и достаточно сложна; но на ряде месторождений в первом приближении ее можно представить как прямолинейную, что намного упрощает возможность практического использования этой закономерности. К числу таких месторождений среди исследованных нами примеров относятся Жирекенское, Кадамджайское, Чаувайское и др. (см. рис. 11—13). Учитывая логнормальное распределение содержаний, установленное для многих месторождений цветных, редких и благородных металлов, была проверена связь коэффициента рудоносности как с натуральными значениями содержаний, так и с логарифмами последних. Результаты этих исследований показаны на рис. 12—15. Обращает на себя внимание, что прямолинейная зависимость наблюдается и в том и в другом масштабе. В одних случаях более четко это видно для натуральных значений (Чаувай), в другом — для логарифмов содержаний (Кадамджай).

Следует заметить, что рассматриваемая закономерность имеет корреляционную природу, а не функциональную, и проявляется более или менее определенно только для выборок, представляющих большие объемы, т. е. по усредненным данным. Об этом, в частности, свидетельствуют и относительно невысокие коэффициенты корреляции. Так что если установлена подобная зависимость по средним показателям подсчетных блоков, то это вовсе не значит, что ее можно наблюдать и по отдельным разведочным работкам в каждом из этих блоков. В этом отношении характерной иллюстрацией может служить Инкурское месторождение. По данным разведочных скважин установить корреляцию между коэффициентом рудоносности и содержанием триоксида вольфрама не удается (табл. 4).

Как видно из данных таблицы, с повышением коэффициента рудоносности происходит незакономерное изменение содержаний. Об этом же свидетельствует и величина коэффициента корреля-

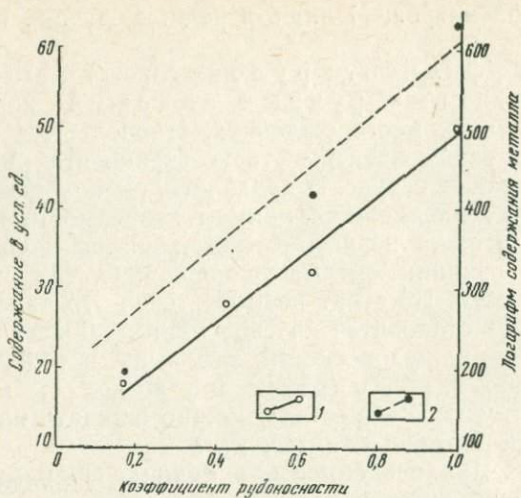


Рис. 12. Зависимость содержания металла от коэффициента рудоносности на ртутном месторождении Чаувай

1 — прямая, построенная по натуральным значениям содержаний, 2 — то же, по логарифмам содержаний

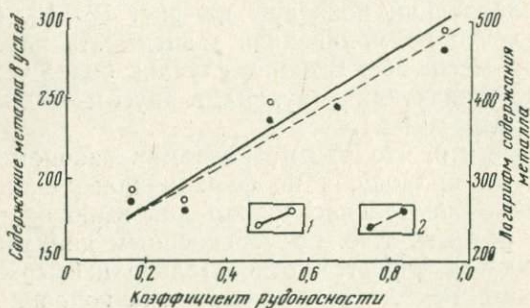


Рис. 13. Зависимость содержания металла от коэффициента рудоносности на сурьмяном месторождении Кадамджай

1 — прямая, построенная по натуральным значениям содержаний, 2 — то же, по логарифмам содержаний

ции, вычисленная по 104 скважинам и равная — 0,018. В то же время результаты обработки средних показателей по блокам подсчета запасов позволяют вполне определенно утверждать, что

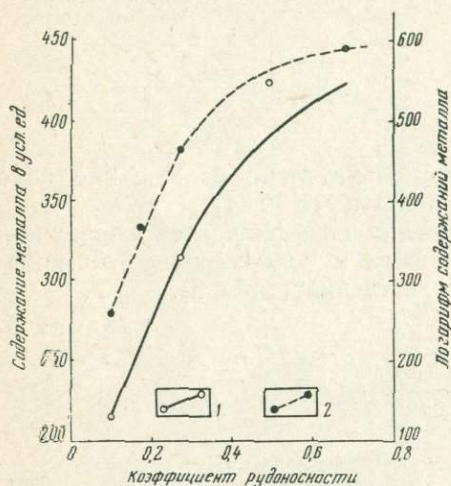


Рис. 14. Зависимость содержания металла от коэффициента рудоносности на сурьмяно-ртутном месторождении Джизжикрут 1 — кривая, построенная по натуральным значениям содержаний, 2 — то же, по логарифмам содержаний

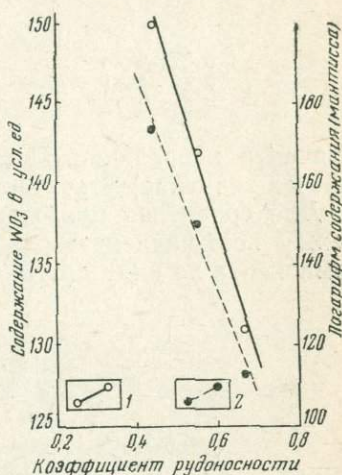


Рис. 15. Зависимость содержания полезного компонента от коэффициента рудоносности на вольфрамовом месторождении Инкур

1 — прямая, построенная по натуральным значениям содержаний, 2 — то же, по логарифмам содержаний

Таблица 4

Интервал значений коэффициента рудоносности	Среднее значение коэффициента рудоносности	Среднее значение условного содержания	Частота наблюдений
0,10—0,20	0,18	155	4
0,20—0,30	0,28	151	2
0,30—0,40	0,36	144	26
0,40—0,50	0,45	152	18
0,50—0,60	0,55	147	26
0,60—0,70	0,65	136	14
0,70—0,80	0,76	157	8
0,80—0,90	0,83	147	8
0,90—1,00	0,96	165	4

с увеличением коэффициента рудоносности содержание падает. Степень связи характеризуется коэффициентом корреляции — 0,53, а сама она приближается к прямолинейной (см. рис. 15 и табл. 5).

Как видно из табл. 5 и рис. 15, корреляция между коэффициентом рудоносности и содержанием полезного компонента достаточно тесная, что подтверждается также и оценкой значения коэф-

Таблица 5

Интервал значений коэффициента рудоносности	Средний коэффициент рудоносности	Среднее содержание в усл. ед.	Количество блоков подсчета запасов
0,37—0,49	0,44	150	21
0,49—0,61	0,55	142	14
0,61—0,73	0,67	131	4

фициента корреляции. Последний значительно больше (по абсолютной величине) утроенного стандарта его (0,34).

Для сравнения приведем значения коэффициентов корреляции между коэффициентом рудоносности и содержанием полезного компонента по ряду других месторождений (табл. 6).

Таблица 6

Месторождение	Коэффициент корреляции	Оценка значимости коэффициента корреляции	Примечание
Жирекен	+0,93	0,04	Наблюдается прямолинейная прямая зависимость
Кадамжай	+0,62	0,30	То же
Инкур (по блокам)	-0,53	0,34	Наблюдается прямолинейная обратная зависимость
Советское	-0,51	0,16	То же
Чаувай	+0,45	0,36	Наблюдается прямая зависимость, близкая к линейной
Джизжикрут	+0,44	0,34	Прямолинейная зависимость отсутствует
Золоторудное месторождение	+0,33	0,27	Наблюдается прямая зависимость, близкая к линейной
Сорское	+0,33	0,39	Прямолинейная зависимость отсутствует

Сопоставление значений коэффициентов корреляции и его оценок, приведенных в табл. 6, показывает, что в подавляющем большинстве случаев мы имеем дело либо с прямолинейной зависимостью, либо с близкой к ней криволинейной. Причем преобладает одинаковая направленность изменений содержаний и коэффициента рудоносности. Обратная связь наблюдается только на двух месторождениях. И лишь для Сорского месторождения коэффициент корреляции оказался ниже его оценки, что объясняется не отсутствием, а сложным криволинейным характером связи. О такой возможности, в частности, предупреждает Е. И. Пустыльник (1968), предостерегая от неверных выводов.

Взаимозависимость между рассматриваемыми параметрами иногда проявляется более четко, если группировать данные не по коэффициенту рудоносности, а по содержанию. Так, например, по

золоторудному месторождению «С» выявляется прямолинейная обратная зависимость между содержанием и коэффициентом рудоносности (рис. 16), которая может быть описана уравнением

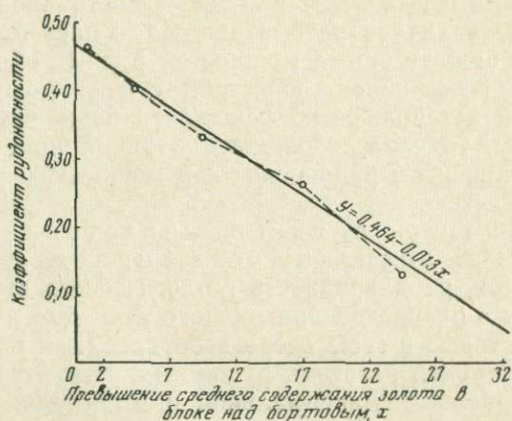


Рис. 16. Зависимость коэффициента рудоносности от содержания металла в руде

Пунктиром соединены фактические средние значения коэффициента рудоносности; сплошная линия — прямая, соответствующая уравнению $y = 0,464 - 0,013x$, где x — превышение среднего содержания золота в блоке над бортовым

$y = 0,464 - 0,013x$, где y — средний коэффициент рудоносности по блоку, а x — превышение среднего содержания (по блоку) над бортовым*.

Необходимо обратить внимание на то, что исследование корреляционной связи вообще и между приведенными двумя параметрами в частности отличается рядом нюансов, которые часто затрудняют выявление ее и требуют порой многовариантных расчетов. Поэтому если на каком-либо месторождении сразу не удастся выявить корреляцию, следует продолжить работы и проверить несколько вариантов различной группировки по классам одного или другого показателя прежде чем давать отрицательное заключение. Случаи отсутствия зависимости между содержанием и коэффициентом рудоносности (или, наоборот, между коэффициентом и содержанием), по-видимому, крайне редки, в то время как сложности ее выявления достаточно очевидны.

Следует также остановиться на связи описываемого показателя с другими характеристиками рудных залежей, среди которых, как известно, одной из основных является мощность рудных тел (или суммарная мощность рудных обособ-

* Вместо натурального значения содержания взята разница между средним его значением и бортовым лимитом.

лений). Поскольку одна из разновидностей коэффициента рудоносности определяется по соотношению мощностей рудных обособлений, с одной стороны, и рудоносной зоны, с другой, можно предположить, что при более или менее постоянной мощности рудоносной зоны величина рассматриваемого параметра будет тем большей, чем больше сумма мощностей рудных обособлений. Или вообще, если коэффициент вариации суммы мощностей рудных обособлений будет больше коэффициента вариации мощности рудоносной зоны, то следует ожидать наличия прямой корреляции между коэффициентом рудоносности и мощностью рудных обособлений.

Рассмотрим теперь влияние анизотропности рудоносных зон на величину коэффициента. Так же как в рудных залежах, неоднородность геологического строения определяет различия в распределении рудного вещества в разных частях и участках, которые в свою очередь обусловлены генезисом месторождения и историей развития рудоносных структур. Здесь можно наметить направления максимальной и минимальной изменчивости.

Принципы изучения степени рудоносности (коэффициента рудоносности) остаются теми же, что используются при разведке рудных месторождений.

Впервые, как уже указывалось, на этот аспект проблемы обратил внимание В. Э. Поярков (1955), который выдвинул тезис об изменении величины коэффициента рудоносности в зависимости от ориентировки естественного обнажения по отношению к элементам залегания основных рудоносных структур.

Анизотропия рудоносной зоны иногда проявляется не только в изменении насыщенности ее рудным веществом, но также и в смене типов и сортов руд. Так, на Сорском молибденовом месторождении значения коэффициента рудоносности, вычисленные отдельно для смешанных и сульфидных руд, как явствует из табл. 7, заметно различаются между собой.

Таблица 7

Руды	Линейный коэффициент рудоносности
Сульфидные	0,311
Смешанные	0,069

Теперь рассмотрим следующий пример. На одном из ртутно-сурьмяных месторождений распределение оруденения довольно четко контролируется структурно-литологическими факторами, основными из которых являются: наличие экранирующей поверхности, благоприятных пликативных структур и горизонта пористых трещиноватых пород. Промышленные концентрации металла приурочены к апикальным частям антиклинальных складок. Хрупкие, пористые роговиково-джаспероидные брекчии, наиболее интенсивно дробленные в замковой части антиклинали и вмещающие основ-

ную массу промышленных руд, перекрываются песчано-сланцевой толщей, которая служила экраном, препятствовавшим «распылению» рудоносных растворов. Естественно, что быстрее всего оруденение выклинивается с глубиной, так как в этом направлении происходит удаление от экрана и смена благоприятного для его локализации горизонта роговиково-джаспероидных брекчий более вязкими подстилающими известняками. В горизонтальной плоскости оруденение более стабильно, но наибольшая изменчивость распределения полезного компонента устанавливается в направлении, перпендикулярном к оси антиклинали, а в пределах упомянутого горизонта в значительной мере определяется расстоянием от сланцевого экрана. В то же время по простиранию складки, вдоль контакта рудовмещающих брекчий с песчано-сланцевой толщей, насыщенность рудными компонентами выше и распределение их более равномерное.

Для проверки рассматриваемого положения было проведено вычисление коэффициента рудоносности, с одной стороны, по данным горизонтальных горных выработок на двух смежных горизонтах, а с другой — по данным только вертикальных выработок (восстающих, шахт и скважин). Результаты этого эксперимента приводятся в табл. 8. Кроме того, по двум горизонтам были вычи-

Таблица 8

Выработки и их ориентировка относительно рудовмещающей зоны	Значения коэффициента рудоносности
Штреки, близкие к простиранию зоны . . .	0,30
Орты и рассечки вкрест простирания . . .	0,24
Все горизонтальные выработки I горизонта	0,26
Все горизонтальные выработки II горизонта	0,27
Вертикальные выработки (восстающие и скважины)	0,16

слены коэффициенты рудоносности отдельно по выработкам, имеющим направление, близкое к простиранию рудовмещающей зоны (штреки), и выработкам, пройденным вкрест простирания (орты, рассечки).

Данные таблицы свидетельствуют о том, что степень рудоносности в направлении простирания рудовмещающей толщи наибольшая. Несколько меньше величина ее в направлении мощности и еще меньше по вертикали. Установленная анизотропия рудовмещающей толщи вполне согласуется с геологическими особенностями месторождения. В данном случае, если будем определять коэффициент рудоносности только по штрекам, мы, очевидно, получим завышенные значения его. Величина этого параметра, вычисленная по данным только вертикальных выработок, пройденных в относительно небольшом количестве, главным образом на крыльях рудоносной структуры, будет заниженной. Наиболее близкое к истинному значению коэффициента дает определение его

по выработкам, пройденным вкрест простирания на двух горизонтах. Но вообще более точное определение коэффициента в данном случае дала сеть вертикальных выработок с достаточным количеством пересечений. Об истинном значении здесь можно судить по средней величине коэффициента рудоносности (0,22), которая рассчитана по данным всех (горизонтальных и вертикальных) выработок, пройденных в пределах рассматриваемого участка.

Изменение величины коэффициента рудоносности в зависимости от ориентировки разведочного пересечения можно проследить и на моделях рудоносных зон. Так, например, на плоской модели № 5, которая в схематизированном виде отражает фрагмент рудоносной зоны с линейным расположением различных по размеру (и отчасти по форме) рудных обособлений, удаленных друг от друга на разные расстояния, показаны по три различных варианта двух «разведочных площадей» (рис. 17). Одна из этих

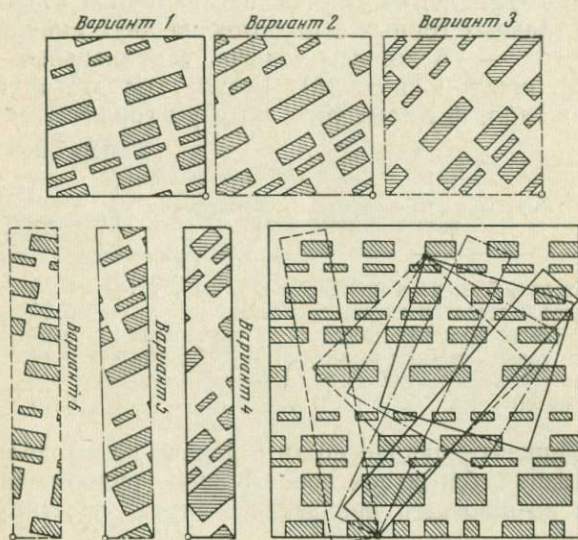


Рис. 17. Плоская модель № 5 рудоносной зоны с линейным расположением «рудных обособлений» различной формы и размера.

Варианты 1, 2 и 3 — фрагменты рудоносной зоны при различной ориентировке квадратного «разведочного окна». Варианты 4, 5, 6 и 7 — фрагменты рудоносной зоны при различной ориентировке прямоугольного «разведочного окна»

площадей имеет форму квадрата, другая — вытянутого прямоугольника. Каждая из них закреплена в одном из углов, местоположение которого выбрано случайно; также на случайный угол дважды были повернуты эти «разведочные окна». Сбоку и внизу на рисунке показаны различные участки «рудоносной зоны», со-

ответствующие тому или иному положению «разведочного окна» (разведанной площади). Отношение площади заштрихованных четырехугольников, имитирующих рудные обособления, к общей площади «разведочного окна» в данном примере представляет собой площадной коэффициент рудоносности, значение которого меняется при повороте этого «окна» в зависимости от его ориентировки по отношению к общему направлению вытянутости «рудоносных структур». Так, для вариантов 1, 2 и 3 коэффициент рудоносности составил соответственно 0,26; 0,28 и 0,27, а для вариантов 4, 5 и 6 — 0,33; 0,33 и 0,29. Различия между результатами отдельных вариантов, как видим, оказались достаточно существенными.

Другая модель (№ 6) позволяет выявить причины изменения величины коэффициента (рис. 18). Оказывается стандарт его (и, естественно, дисперсия) непрерывно растут при отклонении разведочной выработки (пересечения) от сечения «рудоносной зоны» вкрест ее простираия. На модели № 6 схематически показаны рудные обособления в виде вытянутых прямоугольников. Лучами дана ориентировка разведочной сети, представленной серией (более 50 отдельных пересечений) параллельных разведочных линий (рис. 19). По каждой линии вычислялся коэффициент рудоносности, представляющий собой отношение суммы рудных интервалов, т. е. участков линий, находящихся внутри черных прямоугольников, к общей длине разведочной линии в пределах «рудоносной зоны». Средний коэффициент рудоносности для данного варианта ориентировки «разведочной сети» определялся по отношению суммы всех рудных интервалов (по всем пересечениям) к сумме длин «разведочных линий» внутри контура «рудоносной зоны».

«Рудные обособления» в «зоне» расположены таким образом, что в любом из профилей (пересечений) вкрест ее простираия количество пересекаемых «рудных обособлений» постоянно, и, следовательно, дисперсия и стандарт коэффициента рудоносности при нормальном положении сети равны нулю. При отклонении сети от этого направления на 10, 15, 30° и т. д. стандарт коэффициента рудоносности постоянно растет со все большим ускорением (табл. 9).

Таблица 9

Показатели	Угол отклонения разведочной сети от нормали к простираию зоны					
	10°	15°	30°	45°	60°	75°
Средний коэффициент рудоносности	0,194	0,192	0,185	0,197	0,215	0,204
Стандарт	0,043	0,047	0,053	0,065	0,104	0,145
Коэффициент вариации степени рудоносности в %	22	24	29	33	48	70

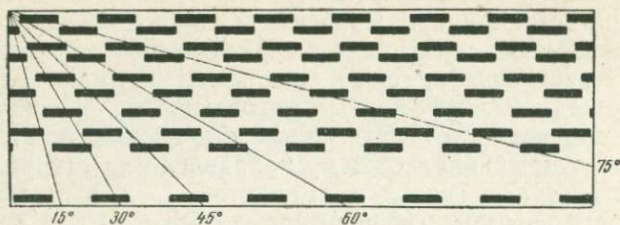


Рис. 18. Плоская модель № 6 рудоносной зоны
 Лучами показана различная ориентировка разведочной сети
 под углами 15, 30, 45, 60 и 75° к нормальному сечению

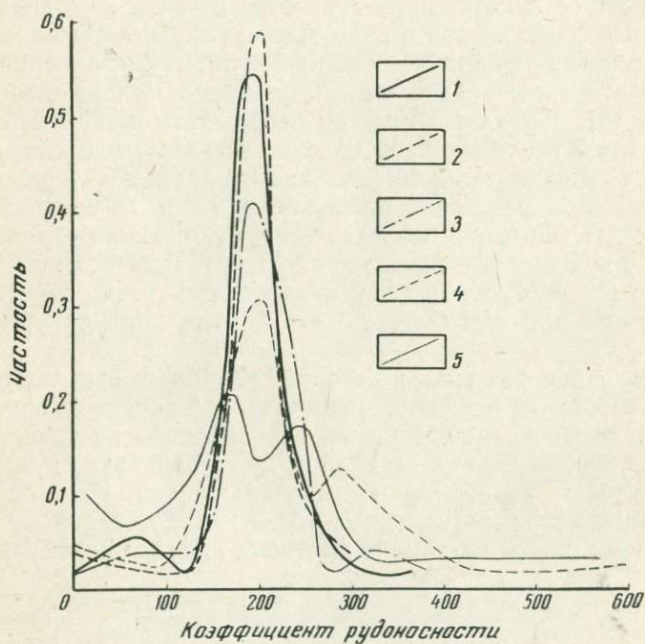


Рис. 19. Кривые плотностей вероятностей распределений
 коэффициентов рудоносности на модели № 6 при различной
 ориентировке разведочной сети относительно нормального сечения
 1 — под углом 15°, 2 — под углом 30°, 3 — под углом 45°, 4 — под
 углом 60°, 5 — под углом 75°

Как видно из таблицы, среднее значение линейного коэффициента рудоносности испытывает некоторые колебания при переходе от одного варианта к другому, но его отклонения от площадного коэффициента, который служит эталоном и равен 0,200, небольшие (не превышают 7,5%).

Необходимо отметить, что при последовательном изменении ориентировки разведочной сети изменяется и характер распределения отдельных его значений. Кривая плотностей вероятностей с увеличением угла отклонения сети от нормали становится все более пологой, хотя и остается в целом симметричной (рис. 19).

Результаты этих исследований имеют практическое значение, так как позволяют правильно оценивать величину коэффициента рудоносности, определенного в косых сечениях. Как известно, ошибка среднего значения статистического параметра определяется по формуле

$$m = \pm \frac{\sigma_k}{\sqrt{n}} U, \quad (\text{III.1})$$

где σ_k — стандарт (в данном случае — коэффициента рудоносности), n — число наблюдений (в данном случае — число разведочных пересечений); U — коэффициент вероятности. Из этого выражения следует, что для достижения одной и той же точности определения интересующего нас показателя, т. е. (при $m = \text{const}$) отношение чисел необходимых пересечений прямо пропорционально отношению дисперсий

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}. \quad (\text{III.2})$$

Следовательно, зная дисперсии показателя при разной ориентировке сети, мы можем рассчитать необходимое число пересечений для соблюдения установленной точности среднего значения.

Так, например, для определения среднего значения коэффициента рудоносности на модели № 6 (см. рис. 18) при ориентировке сети под углом 15° с точностью 3% (относительных) потребовалось 53 пересечения. В то же время для того, чтобы ошибка среднего значения коэффициента рудоносности при сети под углом 60° не превышала тех же 3%, уже требуется

$$n_2 = n_1 \frac{\sigma_{60^\circ}^2}{\sigma_{15^\circ}^2} = 53 \cdot \frac{0,104^2}{0,047^2} = 53 \cdot \frac{0,0108}{0,0022} = 251 \text{ пересечение,}$$

т. е. почти в пять раз больше! С другой стороны, эти же исследования свидетельствуют о резком увеличении погрешности в определении коэффициента по мере увеличения угла между нормальным сечением рудоносной зоны и косым. Величина средней квадратической ошибки определяется из того же уравнения

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad (\text{III.3})$$

т. е. она меняется пропорционально стандарту коэффициента рудоносности. В рассматриваемом примере при увеличении угла с 15 до 60° ошибка увеличится

$$m_2 = m_1 \frac{\sigma_{60^\circ}}{\sigma_{15^\circ}} = \frac{0,104}{0,047} = 2,21 m_1,$$

т. е. более чем в 2 раза.

Влияние анизотропности рудоносных зон на величину коэффициента рудоносности сказывается на искажении последнего в косых сечениях и, в частности, может явиться причиной завышения этого параметра.

Следует обратить внимание на то, что коэффициент рудоносности совершенно не отражает морфологии рудных обособлений, и этот отрыв от реальных геологических условий локализации промышленного оруденения является главным недостатком, который различные исследователи предлагают компенсировать по-разному. Но все без исключения сходятся на том, что для полной характеристики рудоносности той или иной зоны или залежи одного параметра мало. Необходимо кроме коэффициента рудоносности вводить какую-то дополнительную характеристику — либо «показатель рассредоточенности» (по Д. А. Зенкову), либо «показатель прерывистости» (по В. И. Бирюкову), либо «степень концентрации полезного компонента» (А. Н. Нацвин, Ф. И. Пономарев, М. А. Симонян, В. П. Федорчук и др.).

Условия применения различных форм коэффициента рудоносности и их относительная достоверность

В разделе «Практика применения коэффициента рудоносности при подсчете запасов» на конкретных примерах рудных месторождений уже были охарактеризованы различные формы коэффициента рудоносности. Здесь мы уточним только возможность применения и относительную достоверность той или иной из них в условиях разнотипных месторождений. На применимости соотношения объемов вряд ли нужно останавливаться, поскольку оно является своего рода эталоном, с которым сравнивают (после отработки какого-либо участка месторождения) результаты расчета коэффициентов рудоносности любой формы. Очевидно также, что коэффициент, определяемый по отношению площадей, будет предпочтительней линейных и числовых* его разновидностей, поскольку позволяет учитывать изменение геологических особенностей зоны в двух направлениях. Площадной параметр может быть применен на всех месторождениях, где контуры площадей рудных обособлений могут быть достаточно обоснованы по геологическим

* Под числовой разновидностью понимается коэффициент рудоносности, определенный по отношению числа «рудных» выработок к общему их числу в пределах подсчетного контура.

соображениям или же по результатам эксплуатации, т. е. для данной его разновидности ограничения в использовании связаны не с типом месторождения, а со степенью изученности объекта. Таким образом, площадной коэффициент рудоносности следует использовать на любых рудных месторождениях с прерывистым оруденением там, где имеются необходимые для этого данные и где, естественно, нельзя непосредственно подсчитать запасы без статистических показателей.

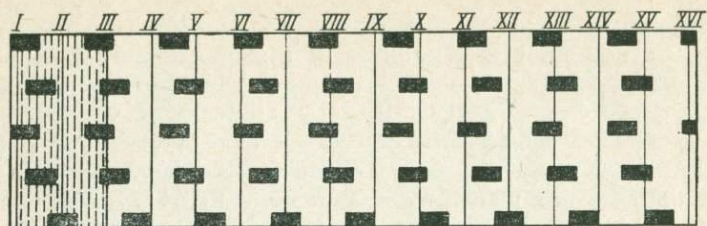
Достоверность этой разновидности коэффициента является наиболее высокой и может быть проконтролирована только результатами эксплуатации. При правильном использовании статистических данных надежность рассматриваемого способа не выходит за пределы точности подсчета запасов.

Значительно сложнее обстоит дело с линейными формами коэффициента рудоносности.

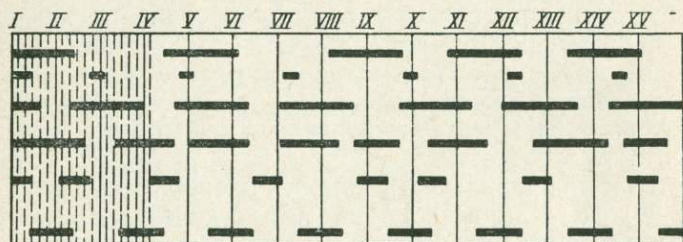
Теоретически правильность замены площадных отношений линейными с целью вычислений объемных долей доказал Ф. Чейз (1963). Правда, его разработки имели целью обосновать возможность вычисления объема, занимаемого в породе тем или иным минералом, по соотношению суммы линейных интервалов, попадающих на данный минерал, и суммы длин сечений всего шлифа. Однако почти полную идентичность способов, используемых петрографами и разведчиками для статистической оценки объема отдельных обособлений, находящихся внутри какого-либо трехмерного участка, подметил Р. И. Коган (1968) и применил выводы Ф. Чейза для обоснования правильности расчета коэффициента рудоносности. Следует подчеркнуть близкую аналогию условий определения статистических отношений в шлифе и в сечениях таких рудоносных зон, как штокверки. В то же время очевидны и существенные различия между особенностями распределения и морфологией рудных обособлений в рудоносных залежах, с одной стороны, и выделениями отдельных минералов в шлифах — с другой.

Поэтому представляют определенный интерес попытки сопоставления коэффициентов рудоносности, вычисленных по соотношению площадей с линейными отношениями, на примере конкретных месторождений, а также на плоских моделях. На одном из сурьмяных месторождений Ф. И. Пономарев, В. И. Ким, Е. С. Школин провели подобное сравнение по 31 подсчетному блоку запасов, квалифицированных в основном по категории В. Эти данные сведены в табл. 10.

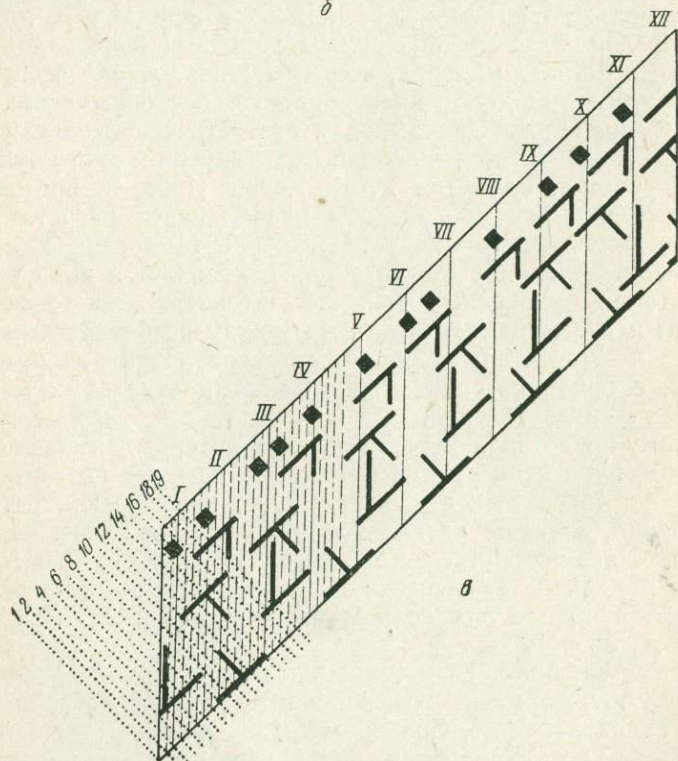
Данные таблицы свидетельствуют о наличии расхождений между двумя формами коэффициента рудоносности, имеющими разную направленность. Средние же значения его столь мало разнятся (всего на 7%) между собой, что нет основания говорить о систематическом различии этих двух форм. Но поскольку количество отклонений с одним знаком преобладает, интересно проверить значимость расхождений с помощью критерия Стьюдента.



a



b



v

Рис. 20. Определение коэффициента рудоносности на плоских моделях рудоносных зон
a — модель № 1, *b* — модель № 2, *v* — модель № 3. Римскими цифрами и сплошными линиями показано первоначальное положение «профилей» разведочной сети; штриховыми линиями и пунктиром — смещенные относительно первоначального положения начальные «профили» сети

№ блока	Линейный коэффициент рудоносности, K_m	Площадный коэффициент рудоносности K_s	Разница между величинами коэффициентов $K_m - K_s$	Относительное отклонение, %	№ блока	Линейный коэффициент рудоносности, K_m	Площадный коэффициент рудоносности, K_s	Разница между величинами коэффициентов $K_m - K_s$	Относительное отклонение, %
33-B	0,92	0,86	+0,06	+7	29-30-B	0,53	0,53	0	0
34-II-B	0,16	0,28	-0,12	-43	36-B	0,67	0,58	+0,09	+16
34-I-C ₁	0,11	0,09	+0,02	+22	35-I-B	0,41	0,38	+0,03	+8
25-I-B	0,21	0,09	+0,12	+133	35-II-B	0,51	0,68	-0,17	-25
25-II-B	0,28	0,26	+0,02	+8	35-III-B	0,56	0,49	+0,07	+14
25-III-B	0,58	0,56	+0,02	+4	37-B	0,26	0,03	+0,23	+767
26-III-B	0,52	0,47	+0,05	+11	37-B	0,30	0,13	+0,17	+131
27-B	0,61	0,60	+0,01	+2	38-C ₁ ⁰	0,15	0,10	+0,05	+50
26-B	0,50	0,52	-0,02	-4	42-B	0,20	0,09	+0,11	+122
32-II-B	0,67	0,69	-0,02	-3	43-B	0,67	0,63	+0,04	+6
32-II-B	0,66	0,65	+0,01	+1	44-B	0,70	0,66	+0,04	+6
24-B	0,65	0,51	+0,14	+27	45-B	0,96	0,98	-0,02	-2
34-II-B	0,16	0,19	-0,03	-16	46-B	0,66	0,65	+0,01	+1
28-I-B	0,20	0,13	+0,07	+54	Итого	14,52	13,78	+0,74	
28-II-B	0,33	0,37	-0,04	-11	Среднее	0,47	0,44	+0,03	+7
28-III-B	0,34	0,35	-0,01	-3					
29-B	0,42	0,38	+0,04	+10					
30-B	0,62	0,85	-0,23	-27					

Правомерность использования его обуславливается тем, что при достаточно большом количестве наблюдений, как это будет показано ниже, распределение коэффициента рудоносности имеет симметричный характер. Величина t , рассчитанная по формуле

$$t = \frac{|\bar{K}_m - \bar{K}_s|}{\sqrt{\frac{S_m^2 + S_s^2}{n-1}}} = \frac{0,47 - 0,44}{\sqrt{\frac{0,23 + 0,26}{31-1}}}, \quad (\text{III.4})$$

где S_m^2 и S_s^2 — оценки дисперсий \bar{K}_m и \bar{K}_s , оказалась равной 0,24.

Поскольку вычисленное значение существенно меньше табличного $t = 2,04$ при $n_1 + n_2 - 2 = 60$ степенях свободы и уровне значимости 0,05, то расхождения между средними значениями коэффициента рудоносности, вычисленными, с одной стороны, по соотношению мощностей (\bar{K}_m), а с другой — по соотношению площадей (\bar{K}_s), следует считать несущественными. Таким образом, в данном случае можно утверждать, что линейный способ определения коэффициента дает достаточно точные результаты и практически равнозначен с площадным. Этот вывод был проверен нами и на плоских моделях рудоносных зон (см. рис. 17 и 20).

На модели № 1 (см. рис. 20) показан наиболее простой случай с равномерным распределением одинаковых по размеру и простых

по форме «рудных обособлений», изображенных в виде черных прямоугольников. Модель № 2 иллюстрирует несколько более сложное размещение близких по форме, но различных по размеру «рудных обособлений», отстоящих уже на разных расстояниях друг от друга. На модели № 3 изображена сложная по внутреннему строению рудоносная зона с «рудными обособлениями» четырех видов, удаленных на различные расстояния друг от друга, как внутри рядов, так и между рядами.

Модель № 1 иллюстрирует гнездовое распределение промышленного оруденения, № 2 — жильное в параллельных трещинах, а № 3 — прожилковое и вкрапленное оруденение, включающее заполнения трещин различной ориентировки и комбинаций их. Разведочная сеть показана в виде профилей, обозначенных римскими цифрами. Положение начала сети неоднократно смещалось (при сохранении расстояний между профилями) для исключения случайных ошибок. Эти смещения показаны штриховыми линиями и обозначены мелкими арабскими цифрами.

Результаты экспериментов с моделями № 1, 2, 3 и 5 приведены в табл. 11.

Таблица 11

Название объекта исследований	Коэффициент рудоносности по мощности			Коэффициент рудоносности по площади	Разница между средними	
	от	до	средний		абсолютная	в %
Модель № 1	0,153	0,153	0,153	0,154	+0,001	+0,6
Модель № 2	0,100	0,112	0,107	0,105	-0,002	-1,9
Модель № 3	0,112	0,117	0,115	0,121	+0,007	+6,1
Модель № 5, варианты I—III . . .	0,258	0,293	0,277	0,268	-0,009	-0,3

Как видно из таблицы, отклонения линейных коэффициентов рудоносности от тех же параметров, вычисленных по отношению площадей, колеблются в ту и другую сторону и не превышают 6,5% относительных, т. е. не выходят за пределы точности подсчета.

Таким образом, можно считать установленным, что при достаточно большом количестве разведочных пересечений соотношение мощностей обеспечивает получение достаточно точной характеристики степени рудоносности, лишенной существенной систематической погрешности.

Значительно менее надежным представляется способ определения коэффициента рудоносности по соотношению длин интервалов по простиранию. При достаточно большой протяженности подсчетных блоков и отсутствии корреляции между содержанием полезного компонента и мощностью рудных обособлений погрешности, связанные со способом определения коэффициента, будут

иметь случайный характер, а в случае наличия корреляции и большой изменчивости мощности и содержания могут иметь место серьезные ошибки. Следовательно, применение этой разновидности коэффициента на месторождениях, характеризующихся такими особенностями, нежелательно. Однако иногда это неизбежно.

Наименее точным способом расчета линейной формы коэффициента рудоносности следует считать определение его по соотношению размеров соответственно рудных обособлений и рудоносной зоны в направлении ширины последней. Такой прием допустим в тех случаях, когда в процессе разведки месторождения горные выработки (в основном горизонтальные) вскрывают зону на всю ее ширину, образуя несколько полных пересечений. Но на практике это трудно достижимо из-за непостоянства элементов залегания рудоносной зоны, относительно высокой стоимости разведки и по другим причинам. При разведке же комбинацией, например, горизонтальными горными выработками и вертикальными скважинами, как было рассмотрено выше (см. рис. 6), допускается известная экстраполяция данных о рудоносности залежи, что при ограниченном количестве пересечений может привести к серьезным погрешностям как случайным, так и систематическим.

Остановимся на общих условиях применения разновидностей линейной формы параметра.

Коэффициент рудоносности определяется по соотношению мощностей, как правило, в тех случаях, когда подсчет запасов без использования статистических показателей невозможен, а для расчета доли рудных площадей* в сечениях блока разведочных данных недостаточно. Эта разновидность наиболее удобна для месторождений, представленных штокверками и мощными рудоносными зонами типа пластообразных залежей или жильных зон большей мощности (более 2 м) с кулисообразным или многорядным (в направлении мощности) расположением отдельных рудных обособлений.

Коэффициент рудоносности по соотношению длин по простиранию может вычисляться на месторождениях, представленных маломощными рудоносными залежами или жильными зонами с близким к линейному однорядным расположением отдельных рудных обособлений и при условии либо отсутствия четкой корреляции между мощностью и содержанием, либо относительного постоянства этих параметров. Средняя мощность рудоносной зоны, как правило, укладывается в сечении разведочных выработок, т. е. обычно не превышает 2 м.

Коэффициент рудоносности по соотношению размеров в направлении ширины залежи может определяться только для маломощных горизонтальных или пологозалегающих лентообразных рудоносных зон сравнительно небольшой ширины (метры, первые десятки метров) с однорядным (по мощности) расположением

* Для определения площадной формы коэффициента рудоносности.

рудных обособлений и при условии либо отсутствия корреляции между мощностью последних и содержанием полезного компонента, либо при относительном постоянстве одного из этих параметров. Мощность рудоносной зоны, как правило, вписывается в высоту горизонтальной разведочной выработки, т. е. не превышает 1,5—2,0 м.

Наименее приемлемой формой коэффициента рудоносности, как уже указывалось выше, является его разновидность, определяемая по соотношению чисел выработок (числовая форма). Такой способ расчета чреват возможностью наиболее грубых ошибок. Основная причина погрешностей кроется в том, что в расчетах не учитывается изменение мощностей рудных обособлений или их суммы (особенно в случае многоярусного расположения) от одной выработки к другой. Только за счет различия в мощностях величина коэффициента может быть искажена в несколько раз. Значительную роль играет также и неравномерность разведочной сети, в результате чего влияние («вес») различных выработок на рассматриваемый параметр оказывается разным, что особенно важно при резкой изменчивости основных характеристик рудных обособлений, которая свойственна большинству месторождений с прерывистым оруденением. Следовательно, коэффициент рудоносности, вычисленный по отношению числа выработок, вскрывших промышленную руду, к общему их числу в пределах подсчетного контура, может быть применен на месторождениях с относительно постоянными мощностями рудоносной зоны и рудных обособлений, при одноярусном расположении последних и при условии разведки равномерной сетью.

Способы расчета среднего значения коэффициента рудоносности

Выше уже упоминались наиболее часто встречающиеся способы вычисления среднего коэффициента по блоку, участку и т. д. Здесь мы остановимся только на рассмотрении (правда, в несколько ином порядке) сравнительной точности каждого из них и разберем некоторые методически неправильные приемы.

До сих пор еще бытует заблуждение, что в подсчетных блоках, ограниченных горными выработками с двух и более сторон, можно определить площадной коэффициент рудоносности путем умножения его линейных форм, вычисленных в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для опровержения этого положения нами использованы модели № 4 и 5 (см. рис. 17 и 21). С помощью модели № 4 путем несложных, но довольно громоздких вычислений ниже будет доказано, что на месторождениях, представленных сериями прерывистых жил, которые под косым углом вскрываются горными выработками, ограничивающими блок, произведение двух линейных коэффициентов рудоносности, вычисленных во взаимно перпендикулярных направлениях, всегда будет меньше истинного.

$$\text{и } S_5 = \frac{LM}{2}. \quad (\text{III.9})$$

Очевидно также, что площадь маломощной «жилы» равна разности площадей $S_{\Delta AEN} - S_{\Delta AKF} = S_2 - S_1$. Эта разность, согласно приведенным выше формулам, после небольших преобразований будет равна

$$S_2 - S_1 = \frac{a m'_b + m'_2 b + m'_2 m'_b}{2}. \quad (\text{III.10})$$

Площадь второй маломощной жилы равна разности площадей треугольников ARS и AOP или

$$S_4 - S_3 = \frac{a m''_b + m'_2 m''_b + x m''_b + m''_2 b + m''_2 m'_b + m''_2 y + m''_2 m''_b}{2}. \quad (\text{III.11})$$

Следовательно, алгебраическое выражение для площадного коэффициента рудоносности, характеризующего верхнюю половину блока, должно представлять собой отношение суммы рудных площадей к общей площади половины блока, т. е.

$$K_S = \frac{(S_2 - S_1) + (S_4 - S_3)}{S_5}. \quad (\text{III.12})$$

Используя выражения площадей через стороны треугольников и сокращая 2, получим

$$K_S = \frac{a m'_b + m'_2 b + m'_2 m'_b + a m''_b + m'_2 m''_b + x m''_b + m''_2 m'_b + m''_2 y + m''_2 m''_b}{LM}.$$

Если же определять коэффициент рудоносности как произведение двух линейных соотношений во взаимно перпендикулярных направлениях, то в нашем случае это будет выглядеть так:

$$K' = \frac{(m'_2 + m''_2)}{L} \cdot \frac{(m'_b + m''_b)}{M} = \frac{m'_2 m'_b + m'_2 m''_b + m''_2 m'_b + m''_2 m''_b}{LM}. \quad (\text{III.13})$$

Теперь вычтем из выражения площадного коэффициента значение его, полученное путем произведения двух линейных величин, т. е. $K_S - K'$.

Используя правые части последних двух уравнений и сгруппировав слагаемые, получим

$$K_S - K' = \frac{a m'_b + b m'_2 + m''_b (a + x) + m''_2 (b + y)}{LM}. \quad (\text{III.14})$$

Поскольку правая часть уравнения (III.8) представляет собой положительное число, очевидно, что площадной коэффициент рудо-

ности (K_s) для модели № 4 будет всегда больше коэффициента, определенного из произведения двух линейных соотношений (K'), вне зависимости от того, какие значения будут принимать отдельные буквенные символы, входящие в формулу. Вторая половина блока, заключенная внутри треугольника BCD , по строению полностью аналогична первой, поэтому и «степень рудоносности» здесь такая же. Таким образом, занижение этого показателя характерно для всего блока.

Эти выводы были проверены на модели № 5 (табл. 12): Как

Таблица 12

Варианты	Площадь блока, см^2	Периметр блока, см	Сумма площадей рудных обособлений, см^2	Сумма протяженности рудных интервалов, см	Коэффициент рудоносности				Отклонения коэффициентов от площадного, %		
					площадной	по периметру	по произведению двух линейных		по периметру	по произведению двух линейных	
							1-я пара сторон	2-я пара сторон		по 1-й паре сторон	по 2-й паре сторон
I	100	40	25,61	11,6	0,256	0,279	0,108	0,052	+8	-238	-493
II	100	40	27,80	10,3	0,278	0,258	0,107	0,034	-8	-260	-818
III	100	40	27,09	11,7	0,271	0,293	0,040	0,101	+7	-677	-268
IV	60	46	19,96	14,7	0,333	0,320	0,026	0,136	-4	-1280	-245
V	60	46	19,66	14,8	0,328	0,322	0,235	0,095	-2	-140	-345
VI	60	46	17,50	13,5	0,292	0,294	0	0	+1	-	-

видно из данных таблицы, значения коэффициента рудоносности, вычисляемого как произведение двух линейных форм его, очень сильно отличаются от площадного (иногда даже в 25 раз!). При чем этим путем (перемножением двух линейных разновидностей коэффициента) мы всегда занижаем степень рудоносности. Наличие такой большой систематической погрешности делает этот способ совершенно неприемлемым.

Рассмотрим еще один прием вычисления среднего коэффициента рудоносности, когда последний определяется по отношению суммы длин рудных пересечений к периметру блока, точнее к сумме длин выработок, ограничивающих блок. Данные табл. 12 свидетельствуют о том, что и этот прием дает результаты, отличающиеся от истинного значения (соотношения площадей) иногда до 8%, и все же они достаточно близки к действительности. Собственно говоря, вычисление по периметру по существу представляет собой определение среднего арифметического значения коэффициента в тех случаях, когда стороны блока равны. Если же последний имеет разные стороны (см. рис. 17, варианты № 4, 5, 6), то вычисление рассматриваемым способом будет, как уже отмечалось, являться своеобразным взвешиванием его значений на размеры соответствующих сторон.

Однако здесь необходимо учитывать различную ориентировку сторон блока по отношению к направлению наибольшей изменчивости оруденения. Если одна из выработок совпадает с этим направлением, то данные ее наиболее представительны и позволяют точно определить значение коэффициента, тогда как выработки другого направления (перпендикулярного к первому) вносят некоторые искажения в вычисляемую величину параметра. Но зачастую количество полноценных* разведочных пересечений в блоке оказывается недостаточным и поэтому включение дополнительных сечений приводит к тому, что погрешность, связанная с «непредставительностью» выработок иного, чем оптимальное, направления, компенсирует ошибку, вызываемую случайностью данных единичных наблюдений. По-видимому, в каждом конкретном случае необходимо решать дилемму: какое зло меньше? Недостаточное количество данных и возможность грубой случайной ошибки или же привнос некоторой, как правило систематической, погрешности за счет включения в расчет дополнительных выработок, уменьшающих влияние случайности? В подавляющем большинстве случаев систематический характер погрешности определяется тем, что в расчетах используются выработки по руде (штреки или восстающие), специально задаваемые в том направлении, в котором оруденение более устойчиво.

Естественно, коэффициент рудоносности, рассчитанный по данным выработок, прослеживающих промышленную руду, будет выше среднего его значения для данного объема. Это завышение хорошо прослеживается не только на приведенном (см. стр. 41) примере конкретного месторождения, но намечается и на модели № 6, где среднее значение параметра при отклонении сети от нормали к простиранию зоны несколько увеличивается, особенно при углах 45° и более.

Заслуживает внимания также вопрос о порядке вычисления среднего значения линейного коэффициента рудоносности, определяемого по ряду пересечений (выработок) для всего подсчетного блока. Вычислять ли его по отношению сумм мощностей (или протяженностей) рудных обособлений, с одной стороны, и мощностей рудоносной зоны, с другой, или же путем определения среднего арифметического из величин этого параметра по выработкам? Попробуем это решить аналитическим путем.

Предположим, что блок опирается только на два разведочных пересечения (две выработки), и мы хотим найти разницу между средними значениями коэффициента рудоносности, вычисленного этими способами. Обозначим мощности рудных обособлений через m_1 и m_2 соответственно по первому и второму пересечению, а мощности рудоносной зоны — соответственно через M_1 и M_2 .

* Под полноценным пересечением в данном случае понимается выработка, пройденная по направлению наибольшей изменчивости оруденения.

Тогда средний коэффициент, определенный способом среднего арифметического, будет равен

$$\bar{K}_a = \frac{1}{2} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \quad (\text{III.15})$$

или

$$\bar{K}_a = \frac{m_1 \cdot M_2 + M_1 m_2}{2 M_1 M_2}, \quad (\text{III.16})$$

а коэффициент, определенный по способу сумм,

$$\bar{K}_c = \frac{m_1 + m_2}{M_1 + M_2}. \quad (\text{III.17})$$

В общем случае соотношения мощностей будет различными. Обозначим

$$\frac{M_2}{M_1} = a \text{ и } \frac{m_2}{m_1} = b. \quad (\text{III.18})$$

Тогда

$$M_2 = a M_1 \text{ и } m_2 = b m_1. \quad (\text{III.19})$$

Подставив эти значения в формулы (III.15) и (III.17) и сделав несложные преобразования, найдем, что

$$\bar{K}_a = \frac{m_1 (a + b)}{2 a M_1} \quad (\text{III.20})$$

и

$$\bar{K}_c = \frac{m_1 (1 + b)}{M_1 (1 + a)}. \quad (\text{III.21})$$

Разделив обе части уравнения (III.20) на уравнение (III.21) и сделав упрощения, определим разницу γ между двумя способами вычисления среднего значения коэффициента рудоносности

$$\gamma = \frac{\bar{K}_a}{\bar{K}_c} = \frac{(a + b) (a + 1)}{2 a (b + 1)}. \quad (\text{III.22})$$

Итак, при различных соотношениях мощностей рудоносных зон a и рудных обособлений b коэффициент рудоносности, вычисленный как среднее арифметическое из двух его значений, будет в γ раз больше или меньше среднего коэффициента, определенного по соотношению сумм. Результаты вычисления γ для различных соотношений мощностей представлены в виде номограммы (рис. 22).

Рассмотрение номограммы показывает, что в подавляющем большинстве случаев среднеарифметический коэффициент рудоносности превышает среднее значение этого параметра, выведенное по отношению сумм мощностей, и лишь в весьма узкой области оказывается несколько меньше последнего. Следовательно, можно сделать вывод, что способ среднего арифметического по двум пере-

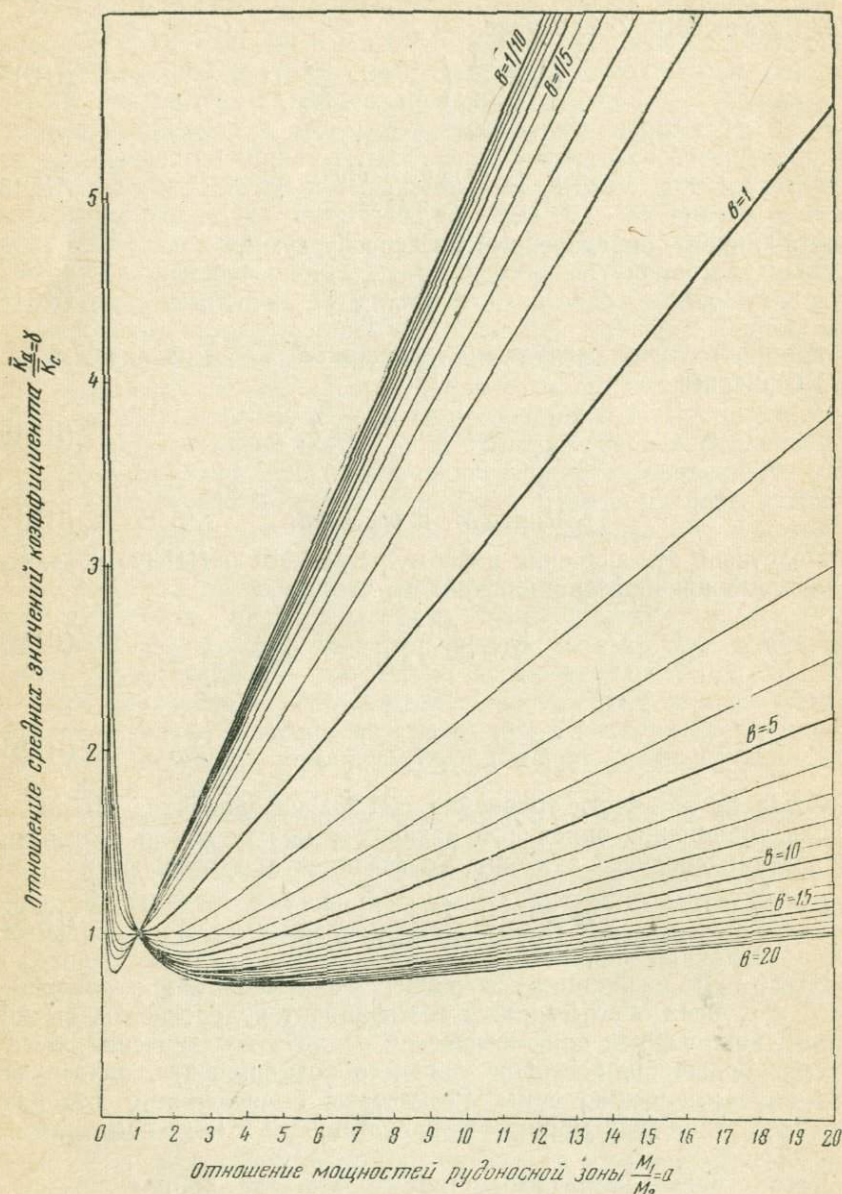


Рис. 22. Номограмма для определения кратности расхождений между средними значениями коэффициента рудоносности, вычисленными методом среднего арифметического (K_a) и по соотношению (K_c) мощностей M_1 и M_2 — мощности рудоносной зоны; m_1 и m_2 — соответственно мощности рудных обособлений; $a = \frac{M_2}{M_1}$ и $b = \frac{m_2}{m_1}$

сечениям может привести к существенному искажению (иногда многократному) среднего коэффициента рудоносности.

Следует заметить, что составленная номограмма, конечно, не исчерпывает всей сложности различных сочетаний мощностей, которые могут встретиться в рудоносных зонах различных месторождений, тем более при большом числе разведочных пересечений (значительно больше двух). Однако она достаточно четко отображает разницу между двумя возможными способами вычисления средних значений параметра по блоку. Для большинства месторождений, представленных штокверками и мощными пластообразными рудоносными зонами, наибольшей изменчивостью отличается мощность (точнее, сумма мощностей) рудных обособлений, тогда как мощность самой зоны испытывает меньшие колебания. Область таких месторождений на номограмме ограничена большими значениями b и, наоборот, небольшими величинами a , когда разница между результатами вычисления различными способами относительно невелика.

Кроме того, следует заметить, что при увеличении числа разведочных пересечений эта разница уменьшается, т. е. γ стремится к единице, и, надо полагать, что уже при наличии 20—25 выработок расхождения практически не будут ощутимы.

В практике использования коэффициента рудоносности способ сумм является предпочтительным, поскольку он косвенно позволяет учесть разницу в объемах участков рудоносных зон, которые характеризует то или иное разведочное пересечение.

Распределение величины коэффициента рудоносности

Изучение закона распределения коэффициента рудоносности как случайной величины имеет большое значение для правильного использования аппарата математической статистики при обработке результатов расчета. Сведения об этом в опубликованной литературе отсутствуют.

Эмпирические распределения значений коэффициента рудоносности изучались на ряде конкретных месторождений. Кривые плотности вероятностей показаны на рис. 23—25. Характер распределения коэффициента проверялся также на плоских моделях рудоносных зон. Прежде чем рассмотреть примеры, необходимо сделать общие замечания, касающиеся специфики этого параметра. Как уже указывалось, выявленные закономерности и свойства коэффициента рудоносности более или менее четко проявляются в обобщенных цифрах, охватывающих большое количество единичных наблюдений. Такое явление, по-видимому, можно объяснить, с одной стороны, большим количеством (различных) условий, в рамки которых должен вписываться коэффициент рудоносности (например, соблюдение бортового лимита содержания при оконтуривании промышленных руд, ограничения мощности рудных тел и

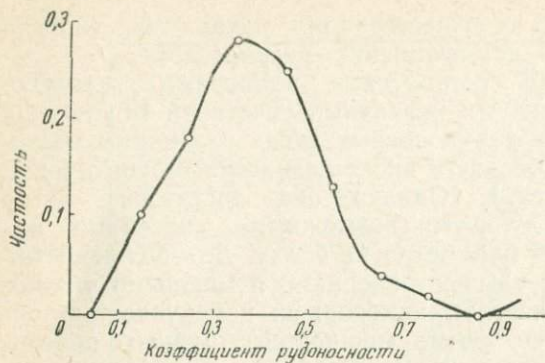


Рис. 23. Распределение значений коэффициента рудоности на золоторудном месторождении Енисейского края

Рис. 24. Распределение значений коэффициента рудоности на золоторудном месторождении «М», построенное по 91 наблюдению

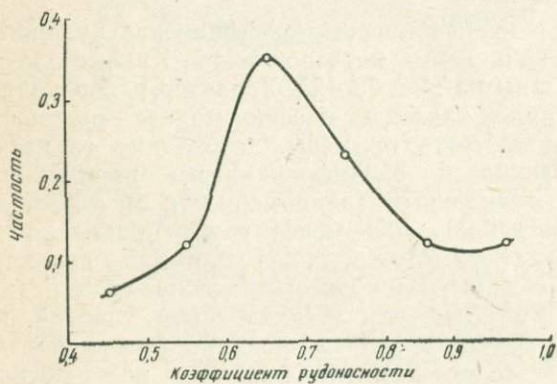
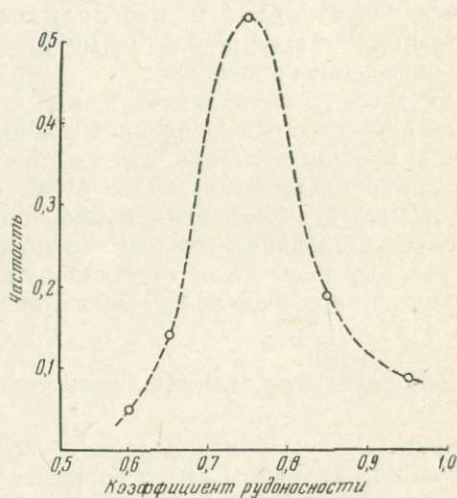


Рис. 25. Распределение значений коэффициента рудоности на золоторудном месторождении «М» по 17 наблюдениям

некондиционных прослоев и т. д.), а с другой — неоднородностью выборки этой величины. Ведь в эту выборку часто входят (если она составлена по средним показателям) и эксплуатационные блоки размером в среднем $40-60 \times 40-60$ м и большие подсчетные блоки, построенные по данным предварительной разведки, протяженностью не в одну сотню метров и величиной по падению 100 м и более. Таким образом, единичное значение коэффициента в одном случае представляет степень рудоносности объема в тысячи кубометров, а в другом — в десятки и сотни тысяч кубометров. Наглядной иллюстрацией неоднородности выборки могут служить данные по золоторудному месторождению в Енисейском кряже, где наиболее крупные подсчетные блоки превышают самые мелкие в 2 тысячи и более раз. Причем средние запасы руды в блоке в 200 раз больше запасов наименьшего и в 9 раз меньше наибольшего блока. Коэффициент вариации объема блока здесь, равный 134%, в 12 раз выше показателя изменчивости самого изучаемого параметра (11%).

Еще одна особенность, осложняющая выявление закона распределения величины коэффициента рудоносности, заключается в том, что объем выборки часто бывает явно недостаточным для этой цели, поскольку число подсчетных блоков высоких категорий на многих месторождениях измеряется если не единицами, то первыми десятками. Опираясь же в своих выводах на показатели запасов категории C_2 вряд ли можно, ибо они порой не только недостаточно точны, но часто просто определяются по аналогии с другими участками или же путем неограниченной экстраполяции характеристик примыкающих к ним блоков с запасами высоких категорий.

Теперь, с учетом специфики описываемого параметра, будут более понятными сложные формы кривых плотности вероятностей, построенных для ряда месторождений. При рассмотрении их прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что чем больше выборки, тем ближе к симметричному оказывается распределение величины коэффициента рудоносности. На золоторудном месторождении в Енисейском кряже кривая, построенная по данным 181 подсчетного блока (см. рис. 23), близка к симметричной, хотя и имеет небольшую правую асимметрию. Еще больше близка по своей форме к симметричной кривая, построенная по 91 блоку на золоторудном месторождении «М» (см. рис. 24). Причем следует обратить внимание на весьма характерное явление. Кривая распределения плотностей вероятности коэффициента рудоносности, построенная ранее (в начальный период разведки) всего лишь по 17 блокам, имеет хорошо выраженную правую асимметрию (см. рис. 25).

Наконец, распределение величины коэффициента рудоносности, определенное на моделях (в частности, модели № 6), отличается строго симметричным характером. Причем симметрия не нарушается даже при изменении стандарта коэффициента рудонос-

ности, определенного при различной ориентировке разведочной сети.

Во всех перечисленных случаях распределение, к сожалению, заметно отклоняется от нормального и характеризуется довольно большим положительным эксцессом. Иногда оно в какой-то мере приближается к логнормальному, но не настолько, чтобы его можно было аппроксимировать этим законом.

Эмпирические распределения, построенные для других месторождений по ограниченному количеству блоков, обнаруживают как левую, так и правую, порой весьма значительную асимметрию.

Проведенные исследования позволяют предположить, что генеральные совокупности величины коэффициента рудоносности при достаточно большом количестве наблюдений должны иметь симметричный характер, но отклоняться от нормального закона по величине эксцесса, а от логнормального — по асимметрии.

Достоверность средних значений коэффициента рудоносности и ее оценка. Группировка наиболее характерных ошибок

Достоверность коэффициента рудоносности обуславливается наличием возможных погрешностей в его определении. Все ошибки, которые могут возникнуть при расчете этого параметра, можно разделить на две группы: систематические и случайные.

К числу систематических относятся те погрешности, которые имеют определенную направленность, связаны с методикой определения коэффициента и не зависят от числа наблюдений; к случайным — неточности, имеющие различную направленность и возникающие при недостаточном объеме исходных данных, т. е. ошибки, зависящие от числа наблюдений. Причем чем больше число наблюдений, тем ближе к истинному (при прочих равных условиях) среднее значение параметра.

Наиболее опасными являются систематические погрешности, поскольку они приводят к одностороннему искажению результатов. Кстати, почти все известные случаи несоответствия вычисленных по разведочным данным коэффициентов рудоносности тем значениям параметра, которые получены после отработки месторождения (или его участка), обязаны систематическим погрешностям.

Попробуем выделить основные методические ошибки, приводящие к неподтверждению вычисленных величин коэффициента.

Одной из главных причин ошибок является несоответствие условий, учитываемых в расчетах, фактическим условиям эксплуатации месторождения. Дело в том, что на ранних стадиях разведки месторождения представления геологов о форме и размерах отдельных обособлений балансовых руд внутри рудоносной зоны являются весьма приблизительными, и тем более неясными представляются условия эксплуатации. Поэтому при расчете величины

коэффициента рудоносности принимаются во внимание все интервалы с промышленным содержанием полезного компонента, которые вскрываются отдельными выработками. Обычно при подсчете запасов трудно правильно оценить возможность селективного извлечения из недр каждого обособления балансовых руд, соответствующего тому или иному интервалу с промышленным содержанием в той или иной выработке. Механический подход к решению рассматриваемой задачи неизбежно ведет к просчетам, даже если условия принятых кондиций будут строго соответствовать возможностям намечаемых систем разработки. Кстати, случаи, когда установленные кондициями величины минимальной мощности балансовых руд и максимальной мощности некондиционных по содержанию прослоев не увязываются с параметрами намечаемых систем разработки, на практике все еще встречаются. На месторождениях со сложным распределением промышленного оруденения внутри рудоносной толщи и разнообразными по форме и размерам обособлениями балансовых руд по данным отдельных выработок далеко не всегда можно решить вопрос о взаимной ориентировке выработки и обособления, не говоря уже о величине последнего. Поэтому при расчете коэффициента рудоносности нередко принимаются во внимание промышленные интервалы, соответствующие небольшим рудным обособлениям, которые по условиям отработки не могут быть селективно извлечены из недр и в процессе эксплуатации чаще всего теряются, т. е. либо остаются в недрах, либо идут в отвал пустых пород или забалансовых руд.

Чтобы избежать ошибок при вычислении коэффициента рудоносности, очевидно, необходимо учитывать распределение рудных обособлений по размерам. Последние не следует принимать в расчет, если величина их меньше размера ячейки сети эксплуатационной разведки. При этом следует учитывать способ отработки месторождения, поскольку сеть выработок в карьере существенно отличается (по размерам) от сети эксплуатационной разведки при подземном способе добычи.

Для ориентировочной оценки поправки, которую необходимо вводить в вычисленный коэффициент рудоносности, необходимо знать долю неизвлекаемых мелких рудных обособлений в общих запасах руды. Предположим, она составляет 20%. Значит рассчитанный коэффициент должен быть соответственно уменьшен, т. е. величину его необходимо умножить на 0,8.

Важно также учитывать преобладающие соотношения между основными размерами рудных обособлений для правильного обоснования кондиций. Такие соотношения были установлены, в частности, на некоторых ртутно-сурьмяных месторождениях Южной Ферганы. Для выявления статистических показателей необходимо располагать данными эксплуатационных работ, выполненных на рассматриваемом месторождении. Оценка «извлекаемости» рудных обособлений в соответствии с их размерами по аналогии с другими месторождениями вряд ли будет достаточно точна.

Кстати, следует заметить, что для месторождений, на которых применяется коэффициент рудоносности, следовало бы в кондициях оговаривать минимальные размеры рудных обособлений и более строго подходить к установлению минимальной мощности промышленных руд, используя статистические данные о соотношении этих размеров.

Возможен и еще один источник систематических погрешностей. Но для того, чтобы выявить его роль, необходимо вспомнить о существовании параметра. Степень рудоносности призвана оценить соотношение запасов балансовых руд и горной массы в пределах подсчетного контура, которое выражается формулой

$$K_q = \frac{q}{Q} = \frac{v d}{V D} \text{ или } K_q = K_v \frac{d}{D}, \quad (\text{III.23})$$

где K_q — коэффициент рудоносности по соотношению запасов; q — запасы балансовой руды; Q — запасы горной массы; v — объем балансовых руд; d — их объемный вес; V — общий объем горной массы, заключенной внутри подсчетного контура; D — объемный вес горной массы; K_v — коэффициент рудоносности по соотношению объемов.

Во всех случаях применения коэффициента рудоносности мы учитываем только те параметры, которые с той или иной степенью точности позволяют приблизиться к соотношению указанных объемов, и совершенно упускаем из вида объемные веса. А ведь их отношение $\frac{d}{D}$ далеко не всегда равно единице. Для некоторых месторождений, характеризующихся рудами с большим объемным весом (например, многосульфидные руды) и слабооруденелыми вмещающими породами (с относительно низким объемным весом), это обстоятельство имеет существенное значение. Действительно, если $\frac{d}{D} > 1$, то очевидно, что $K_v < K_q$.

Таким образом, для месторождений с заметно различающимися значениями объемного веса руд и вмещающих пород значения коэффициентов рудоносности, вычисленных, с одной стороны, по соотношению запасов руды и горной массы (весовая форма), а с другой — по соотношению объемов, площадей или линейных размеров, тоже будут разными.

Так, например, на Ховуаксинском никеле-кобальтовом месторождении объемный вес балансовых руд достигает 4,2, в то время как в среднем для вмещающих пород он равен 2,6. Если объемный вес горной массы равен 3,4, то разница в величине весового и объемного коэффициентов составит 24% $\left(\frac{4,2}{3,4} = 1,24 \right)$.

Следовательно, нельзя непосредственно вычислять запасы руды путем умножения запасов горной массы на объемный, площадной или линейный коэффициент рудоносности.

При расчете коэффициента по данным выработок, вскрывающих рудоносную зону под углом к направлению наибольшей изменчивости, как уже упоминалось, также может возникнуть систематическая погрешность. В этом отношении особенно характерно использование результатов рудных штреков, по которым степень рудоносности будет всегда выше средней.

Как уже было показано выше, использование не подходящих для данных геологических условий форм или разновидностей коэффициента рудоносности также может привести даже к двукратному (и более) искажению его величины.

Тут следует остановиться на возможности систематической погрешности, связанной с ограниченной экстраполяцией данных отдельных выработок. Она будет иметь место в том случае, когда средний размер рудных обособлений существенно меньше расстояния между разведочными пересечениями. Ведь при статистическом подсчете запасов с использованием коэффициента рудоносности данные каждой выработки распространяются на всю зону ее влияния, т. е. на все расстояние между разведочными пересечениями (наполовину его в одну сторону и наполовину — в другую).

Следовательно, встреченному рудному интервалу приписывается размер, равный расстоянию между выработками, а фактически он оказывается существенно меньшим. При достаточно большом количестве пересечений мы получаем близкое к истинному соотношение между объемами руды и горной массы, а при относительно редких разведочных пересечениях, что характерно для практики геологоразведочных работ, ошибка может оказаться весьма значительной. Можно себе представить, каким бы оказался коэффициент рудоносности, если бы на Сымапском месторождении (см. рис. 1) вскрытые расщелками рудные обособления протягивались на половину расстояния между ними в одну и другую стороны от выработки. Применение же площадного коэффициента рудоносности в сочетании с правильной геологической интерпретацией формы и размеров рудных обособлений исключало ошибки, которые могли возникнуть при использовании линейной формы параметра.

Наконец, причиной систематической погрешности может служить неправильный способ вычисления средних значений параметра. В частности, отказ от «взвешивания» приводит к ошибкам в десятки процентов (относительных), а использование среднего арифметического из частных значений теоретически может стать причиной многократных искажений.

Рядом со столь значительными и опасными систематическими погрешностями случайные ошибки, на первый взгляд, могут показаться несущественными. Однако чем меньше наблюдений, тем больше роль этих ошибок. А при определенных обстоятельствах они по своему значению могут быть сопоставимыми с описанными выше систематическими отклонениями.

Случайные ошибки можно разделить на две группы, относя к одной из них погрешности, связанные со случайным положением разведочной сети относительно структуры рудоносной зоны и отдельных рудных обособлений, а к другой — искажения параметра, обуславливающие недостаточному числу разведочных пересечений.

Следует заметить, что такое разделение является несколько условным, поскольку первая группа ошибок по существу является производной второй группы, т. е. при весьма большом количестве выработок положение сети не имеет значения. Однако при разведке рудных месторождений изменение «начала отсчета» (положения сети), как правило, заметно сказывается на результатах расчетов.

Ниже будут рассматриваться только отклонения второй группы.

Для оценки случайной ошибки можно использовать известные положения математической статистики. Выше было показано, что изучение выборок параметра по отдельным месторождениям, а также по плоским моделям показывает, что эмпирические распределения довольно значительно отличаются от таких достаточно хорошо изученных распределений, как нормальное, логнормальное, биномиальное, Пуассона, Стьюдента и др. Поскольку характер распределения еще не расшифрован, для оценки величины ошибки среднего значения коэффициента рудоносности можно воспользоваться весьма общей формулой, вытекающей из неравенства Чебышева (Пустыльник, 1968)

$$m_{\bar{k}} = \pm \frac{\sigma_k}{\sqrt{np}}, \quad (\text{III.24})$$

где $m_{\bar{k}}$ — ошибка среднего значения коэффициента рудоносности; σ_k — стандарт коэффициента; n — число наблюдений (подсчетных блоков, их сечений или выработок); p — уровень значимости (равный $1 - P$, где P — вероятность ошибки).

По этой формуле можно рассчитать, например, величину доверительного интервала или, что одно и то же, ошибки среднего $m_{\bar{k}}$ по месторождению в целом. Так, для месторождения Инкур $m_{\bar{k}} = \pm \frac{0,173}{\sqrt{39 \cdot 0,05}} = |0,124|$ при уровне значимости 0,05 (вероятность 0,95). Следовательно, среднее по месторождению значение коэффициента рудоносности (при отсутствии систематических погрешностей) определено с точностью до $\pm 0,124$, т. е. $\bar{K} = 0,250 \pm \pm 0,124$.

Но такие жесткие условия, как правило, не являются необходимыми. В различных геологостатистических исследованиях допускается вероятность 0,67, которой в данном случае соответствует ошибка $m_{\bar{k}} = 0,048$ и тогда $K = 0,250 \pm 0,048$.

Небольшое количество блоков обуславливает здесь сравнительно низкую достоверность среднего значения коэффициента.

На месторождениях с большим количеством их достоверность резко возрастает. Так, например, для Советского месторождения достоверность среднего (по месторождению) значения коэффициента рудоносности оказалась достаточно высокой ($\pm 0,015$), что составляет менее 4% измеряемой величины.

Эту же формулу можно использовать и при расчете числа блоков или разведочных пересечений, необходимых для определения средней величины коэффициента рудоносности с заданной точностью и при определенной вероятности этой ошибки

$$n = \frac{\sigma_k^2}{m_k^2 p} \quad (III.25)$$

Так, например, на Инкурском месторождении, для того чтобы определить средний по блоку коэффициент рудоносности с точностью $\pm 10\%$ при вероятности этой ошибки 0,67, необходимо, чтобы в этот блок входило 42 выработки, а при точности $\pm 25\%$ — примерно 17 выработок ($\sigma_k = 0,188$).

Следует заметить, что неравенство Чебышева позволяет производить только весьма грубые оценки, при которых ошибки получаются явно завышенными. Для более точной оценки необходимо знать закон распределения значений коэффициента рудоносности. Так, для тех месторождений, где наблюдается симметричное одновершинное распределение (золоторудное «М», Советское и др.), можно применить формулу, определяющую более узкий доверительный интервал и соответственно меньшее значение случайной ошибки при той же вероятности, что позволит также обосновать возможность сокращения числа выработок для определения среднего по блоку коэффициента рудоносности (при прочих равных условиях).

Для симметричного одновершинного распределения

$$m_k = \pm \frac{2 \sigma}{3 \sqrt{np}} \quad \text{и} \quad (III.26)$$

$$n = \frac{4 \sigma^2}{9 m_k^2 p} = \frac{0,445 \sigma^2}{m_k^2 p} \quad (III.27)$$

Таким образом, использование этих формул позволяет более чем в 2 раза сократить необходимое число пересечений для обеспечения заданной точности при той же вероятности ошибки.

В заключение приведем таблицу, в которой показана группировка типичных ошибок в определении коэффициента рудоносности (табл. 13).

Характеристика ошибок	Возможные ошибки в определении коэффициента рудоносности, связанные с			
	несоответствием принятой методики разведки морфологии рудных обособлений	оценкой извлекаемости рудных обособлений	анизотропией рудоносной зоны	
	Систематические			
Сущность ошибки	Ориентировка разведочных пересечений вдоль длинной оси рудных обособлений	Размеры и форма ячейки разведочной сети существенно отличаются от размеров и формы рудных обособлений	Мелкие рудные обособления, учтенные при выводе коэффициента рудоносности, фактически не извлекаются	Коэффициент рассчитан по данным выработок, существенно отклоняющихся от направления максимальной изменчивости оруденения
Направленность искажения коэффициента	Более вероятно завышение, но возможно и занижение	Если ячейка больше среднего размера рудного обособления — завышение, если меньше — занижение	Завышение	Более вероятно завышение, но возможно и занижение

IV. ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПРИМЕНИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ

Изучение свойств коэффициента рудоносности, его разновидностей, а также опыта применения в практике подсчета запасов позволяет обобщить и в какой-то мере систематизировать накопленные сведения. Одним из итогов такой работы является предлагаемая группировка месторождений с прерывистым оруденением, которая является попыткой разделения их на типы (или группы) по принципу применимости различных разновидностей коэффициента.

Месторождения с прерывистым оруденением, на которых применяется коэффициент, в подавляющем большинстве случаев представлены однотипными рудоносными зонами. Под рудоносной зоной следует понимать характерное для месторождения сплошное геологическое тело сравнительно простой формы, включающее рудные обособления и являющееся объектом разведки на первых ее стадиях.

Поскольку рудоносные зоны являются основной геологоструктурной единицей и, как правило, полностью отражают главные геологические особенности месторождений с прерывистым оруде-

делении коэффициента рудоносности, связанные с				
формой коэффициента рудоносности	способом вычисления		положением разведочной сети	недостаточным числом пересечений
	частных значений коэффициента рудоносности	средних значений коэффициента рудоносности		
ошибки			Случайные ошибки	
Форма коэффициента не соответствует геологическим особенностям рудоносной зоны	Использование неправильных приемов расчета частных значений коэффициента	Отказ от взвешивания, учитывающего объем или размеры участка	Использование нехарактерных данных по пересечениям в связи со случайным положением разведочной сети относительно отдельных рудных обособлений и структуры рудоносной зоны	Недостаточная представительность разведочных пересечений
Возможно и завышение и занижение	Чаще наблюдается занижение, но возможно и завышение	Возможно и завышение и занижение	Завышение и занижение равновероятны	

нием, они и являются объектом рассмотрения в приводимой ниже группировке.

Выше уже говорилось о том, что объемная и площадная формы коэффициента рудоносности являются наиболее надежными для определения значений этого параметра. Использование их на любом из месторождений является предпочтительным по сравнению со всеми другими разновидностями коэффициента. Вряд ли нужно доказывать, что они применимы везде, где мы располагаем для этого необходимыми данными.

Определения коэффициента по соотношению числа пересечений следует избегать. Что же касается линейной формы его, наиболее часто используемой в практике подсчета запасов и геолого-промышленной оценки, то для успешного применения различных разновидностей ее должны существовать определенные условия.

Детальное изучение этих условий показывает, что основную роль здесь играет мощность рудоносных зон. Маломощные зоны могут быть прослежены одной выработкой, пройденной по их простиранию, тогда как в мощных зонах, часто отличающихся многорядностью расположения рудных обособлений, даже нескольких выработок по простиранию оказывается недостаточно для установления средней степени рудоносности. Группировка ме-

Таблица 14

Типы рудоносных зон по мощности	Применимые разновидности линейной формы коэффициента рудоносности	Основная характеристика рудоносных		
		Условия залегания	Форма	Изменчивость концентрации рудного вещества
Очень большой мощности	По соотношению лобых размеров	Неопределенного залегания	Штокообразные зоны (штокверки)	Высокая
Большой мощности (более 2 м)	По соотношению мощностей	Горизонтально залегающие и пологопадающие	Пластообразные залежи	То же
			Наклонные (падающие под средними и крутыми углами)	То же
Небольшой мощности до 2 м	По соотношению размеров по ширине	Горизонтально залегающие и пологопадающие	Линейные тектонические зоны дробления	То же
			Кулисообразные и четковидные жильные зоны	То же
Небольшой мощности до 2 м	По соотношению длин по простиранию	Наклонные (падающие под средними и крутыми углами)	Линзообразные залежи	Невысокая
			Жилообразные линейновытянутые зоны	То же

сторождений с прерывистым оруденением с учетом этого положения приведена в табл. 14.

Среди рудоносных зон, характеризующихся большой мощностью, отчетливо выделяются штокверковые месторождения. Они отличаются от других типов не только очень большой мощностью, которая порой приближается к размерам зоны по простиранию и падению, но также еще одной особенностью: только в штокверках изменчивость степени рудоносности выше вариации содержаний полезного компонента, и, наконец, анизотропность их наименее четко проявлена (по сравнению со всеми другими месторождениями). Характер распределения оруденения часто приближается к изотропному, и поэтому условия залегания и выбор направления

зон	Основная характеристика рудных обособлений		Примеры месторождений	Фактические значения коэффициента рудоносности		
	Характер анизотропности по распределению рудного вещества	Преобладающая форма		Изменчивость содержания полезного компонента	Пределы	
от			до			
Близок к изотропному	Штокообразная, гнездообразная	Невысокая	Инкур Жирекен Сорское	0,14	0,60	0,50 0,64 0,40
Небольшая по мощности, наименьшая по простиранию	Гнездообразная и жилообразная	Высокая	Джижикрут Чаувай Кадамджай Хайдаркан	0,09 0,02	1,00 0,68	0,32 0,59 0,52 0,14
То же	Жилообразная и линзообразная	То же	Нежданинское	0,12	0,57	0,35
То же	Гнездообразная и жилообразная	Очень высокая	Советское Сымап Канимансур и Караташ-Котан	0,10	0,65	0,39 0,28 0,34
Резко преобладает по мощности	Плитообразная	Высокая	Некоторые залежи Лебединого месторождения			
То же	Жилообразная	То же	Кочкарь, Ново-Троицкое, Тызыльское			

наибольшей изменчивости здесь отодвигаются на второй план. В идеальном штокверке выработки любой ориентировки будут равноценными для определения коэффициента рудоносности. Наиболее характерными представителями являются Сорское месторождение и Инкурский вольфрамовый штокверк.

Следующий тип — рудоносные зоны большой мощности — включает различные по морфологии и условиям залегания месторождения, общей чертой которых является высокая изменчивость как степени рудоносности, так и содержания. Он является как бы промежуточным, связующим звеном между первым и третьим типами. Это довольно хорошо прослеживается и в преобладающей форме рудных обособлений, переходной от изометричных

обособлений первого типа к резко уплощенным в третьем. В рудоносных зонах большой мощности наблюдаются, как правило, одновременно различные формы рудных скоплений, например, гнездобразная и жилообразная, жилообразная и линзобразная, порой весьма своеобразных комбинаций.

Выделение подтипов по условиям залегания произведено в связи с некоторыми различиями не только в мощностях рудоносных зон, которые в пластообразных месторождениях порой достигают 100 м и более, но также в изменчивости содержаний полезного компонента.

Несмотря на относительное многообразие месторождений, входящих во второй тип, для каждого из них оптимальным является определение коэффициента рудоносности по соотношению мощностей (если, конечно, недостаточно данных для расчета площадного коэффициента). Целесообразность применения именно этой разновидности линейной формы коэффициента подчеркивается, как правило, многоярусным или многорядным расположением рудных обособлений внутри рудоносной зоны или рудоносной толщи.

Наиболее характерными представителями месторождений этого типа можно считать Хайдаркан, Джижикрут и Караташ-Котан.

К третьему типу отнесены рудоносные зоны мощностью до 2,0 м, т. е. мощность их вписывается в сечение прослеживающей выработки. Относящиеся к этому типу месторождения отличаются прежде всего резко уплощенной формой рудоносных зон и четко выраженной изменчивостью оруденения в направлении мощности. Характерным является также преобладание изменчивости содержаний над изменчивостью степени (коэффициента) рудоносности. Одним из обязательных условий для отнесения рудоносной зоны к третьему типу является однородность (одноярусность) расположения в ней рудных обособлений.

Выделение подтипов по условиям залегания обусловливается здесь главным образом различием формы рудных обособлений и несколько различным подходом к определению коэффициента рудоносности. Если на пологозалегающих лентообразных залежах коэффициент вычисляется по соотношению размеров по ширине, то для наклонных жилообразных зон расчет этого параметра производится по соотношению длин по простиранию.

Существенное различие в способе вычисления коэффициента, казалось бы, может служить основанием для выделения самостоятельного типа рудоносных зон (вместо подтипа). Однако примеры подобных месторождений крайне ограничены и поэтому широкие обобщения пока преждевременны.

Типичными примерами месторождений третьего типа являются некоторые так называемые «жилы» (по существу жильные зоны) Кочкарского и Ново-Троицкого месторождений, а также Тызильское полиметаллическое месторождение.

Кроме того, необходимо еще раз напомнить о том, что боль-

шинство закономерностей, обнаруживаемых при использовании коэффициента рудоносности, проявляются в весьма общих формах. Определенную роль здесь играют, с одной стороны, неоднородность исходных данных, а с другой — недостаточная изученность рассматриваемого вопроса. Поэтому не случайно, что в приведенной группировке месторождений основные характеристики даются в общих выражениях и отсутствуют какие-либо цифровые показатели. Кстати, оценки изменчивости содержания и коэффициента рудоносности даются главным образом с целью подчеркнуть вариации этих параметров друг относительно друга.

Несмотря на неизбежные в первой попытке недоработки, приведенная систематизация сведений представляется полезной, ибо она позволяет в общем правильно ориентироваться в применимости той или иной разновидности коэффициента рудоносности на конкретных месторождениях.

V. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ ПРИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Одной из основных задач геолого-промышленной оценки, как известно, является разделение запасов на балансовые и забалансовые, которое осуществляется путем применения установленных кондиций. Меньшее значение, но тоже немаловажное имеет правильная категоризация их, выделение различных технологических сортов руд, выбор оптимальных систем разработки и другие факторы.

В решении комплекса перечисленных вопросов на месторождениях с прерывистым оруденением определенное влияние падает и на долю коэффициента рудоносности.

Можно выделить две функции этого параметра: 1) непосредственное участие в разделении запасов на балансовые и забалансовые в качестве лимита установленных кондиций и 2) косвенное влияние на ряд показателей, определяющих промышленную ценность руд.

Рассмотрим каждую из них отдельно. В последней инструкции ГКЗ в пункте, касающемся состава кондиций, совершенно определенно указывается на необходимость установления минимально допустимого значения коэффициента рудоносности. Однако пути решения этого вопроса не указываются, и поэтому каждый исследователь, занимающийся составлением кондиций, применяет свои разработки и эмпирические формулы. Величина минимально допустимого коэффициента рудоносности рассчитывается либо из экономической целесообразности разведочных работ, связанных с прерывистостью оруденения, либо из соображений рентабельности отработки рассматриваемого конкретного месторождения.

Если при прочих равных условиях значение коэффициента в каком-либо блоке окажется ниже установленного минимума, то запасы его должны квалифицироваться как забалансовые. Однако такой подход при более детальном рассмотрении оказывается весьма условным. Дело в том, что минимальная величина этого параметра должна соответствовать какому-то наибольшему содержанию в блоке, поскольку очевидно, что чем выше концентрация металла в балансовой руде, тем меньше этой руды может быть в одном и том же объеме рудоносной зоны. Иными словами, между минимальным значением коэффициента рудоносности и содержанием металла должна существовать обратная зависимость. Проведенные исследования показывают, что эта связь не просто обратно пропорциональная, а имеет довольно сложный криволинейный характер (рис. 26).

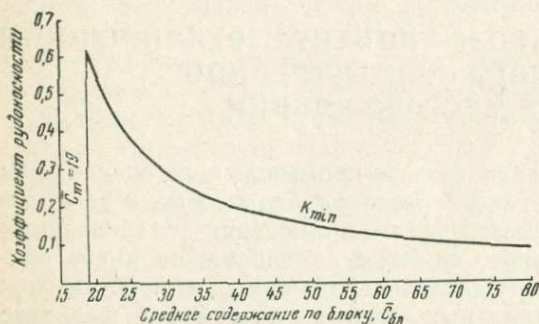


Рис. 26. Зависимость минимального коэффициента рудоносности от содержания металла в руде

Исходя из того, что кондиции рассчитываются на основе использования принципа окупаемости всех затрат на добычу и переработку 1 т руды и ценностью извлекаемого из нее металла, сравним между собой два одинаковых (по горногеологическим условиям) блока, которые различаются только средними содержаниями полезного компонента и значениями коэффициента

рудоносности. Допустим, что в одном из них содержание металла соответствует минимальному промышленному C_m , а коэффициент рудоносности равен тому значению его K_0 , которое обычно определяется по результатам прямого оконтуривания для соответствующего варианта бортового содержания. Другой блок характеризуется значительно более высоким содержанием $C_{бл}$ и минимально допустимым коэффициентом рудоносности K_{min} . Обозначим ценности металла, извлекаемого из первого и второго блока соответственно через Y_0 и $Y_{бл}$, а удельные затраты на добычу и переработку одной тонны руды через X . Тогда можно будет записать

$$K_0(Y_0 - XH) = K_{min}(Y_{бл} - XH)^*, \quad (V.1)$$

где H — накладные расходы, учитывающие цеховые и общекорпоративные издержки.

Отсюда получим

$$K_{min} = K_0 \frac{Y_0 - XH}{Y_{бл} - XH}. \quad (V.2)$$

Ценности извлекаемых из блоков запаса металла соответственно равны

$$Y_o = \bar{C}_m \cdot C \cdot P \cdot K' \quad \text{и} \quad (V.3)$$

$$Y_{ол} = C_{ол} \cdot C \cdot P \cdot K'', \quad (V.4)$$

где C — цена единицы металла, принятая при расчете кондиций; P — поправка, связанная с потерями и разубоживанием руды в процессе ее добычи и равная

$$P = (1 - K_p) K_{ин}, \quad (V.5)$$

где K_p — коэффициент разубоживания руды (в долях единицы); $K_{ин}$ — коэффициент извлечения руды из недр, обусловленный потерями ее при добыче; K' и K'' — сквозные коэффициенты извлечения металла при переработке руды на обогатительной фабрике и металлургическом переделе.

Удельные затраты на добычу и переработку тонны руды для различных условий эксплуатации месторождения будут разными. С этой точки зрения возможные варианты отработки можно обобщить, выделив следующие четыре технологические схемы:

1. Все запасы горной массы данного подсчетного блока добываются и выдаются на поверхность, где происходит уже разделение на руду и вмещающие породы. В этой схеме могут быть два варианта, определяемых способом отработки. При открытой добыче, как правило, вся руда и вмещающие породы выдаются на дневную поверхность, а затем руда идет на обогатительную фабрику, пустая же порода — в отвал. При подземном способе добычи выданная на поверхность горная масса подвергается сортировке либо непосредственно на руднике, либо же на конвейере обогатительной фабрики.

2. Производится отбойка всей горной массы, но на поверхность выдается только руда. В очистном пространстве путем сортировки горная масса разделяется на руду и вмещающую породу, причем последняя обычно идет на закладку. Таким образом, разделение на руду и пустую породу производится после отбойки горной массы.

3. Производится селективная отбойка руды и пустой породы. Последняя оставляется в очистном пространстве, а руда выдается на дневную поверхность.

4. Путем дальнейшей эксплуатационной разведки оконтуриваются собственно рудные тела и отбивается только руда, а вмещающие породы остаются в целике. В последних двух схемах разделение осуществляется в недрах.

Очевидно, что многообразие условий эксплуатации месторож-

* Это равенство основывается на постоянстве удельных затрат на добычу 1 т горной массы (руды и пустой породы), заполняющей весь объем блока.

дений, каждое из которых характеризуется своими особенностями, не ограничивается только типовыми схемами, приведенными выше. Однако детали в организации добычных работ, свойственные тому или иному из них, не влияют существенно на методику определения минимально допустимого коэффициента рудоносности.

Для каждой из выделенных технологических схем характерен определенный состав переменных затрат, т. е. тех издержек производства, которые будут меняться при изменении величины коэффициента рудоносности.

Для первой схемы переменные затраты связаны только с переработкой руды на обогатительной фабрике и металлургическим переделом. Для второй схемы переменные затраты складываются из издержек на выпуск руды из очистного пространства, рудничную транспортировку, выдачу руды на поверхность, транспортировку ее до фабрики, обогащение и металлургический передел.

Для третьей схемы помимо затрат, характерных для второго варианта отработки месторождения, включается разница в издержках по отбойке руды и вмещающих пород из целика. Наконец, по четвертой схеме необходимо учитывать все затраты, принимаемые для предыдущего варианта, включая полные издержки по отбойке руды.

Следует заметить, что предлагаемая методика определения минимально допустимого значения коэффициента рудоносности по существу является дальнейшим развитием способа, предложенного А. П. Прокофьевым (1963).

Помимо непосредственного участия в геолого-промышленной оценке месторождений в качестве браковочного предела коэффициент рудоносности косвенно влияет на разделение запасов на балансовые и забалансовые, будучи тесно связан с другими параметрами. В частности, при открытой разработке месторождений одним из параметров кондиций является коэффициент вскрыши, который часто тоже выступает в роли браковочного предела. А он в свою очередь функционально связан определенной зависимостью с коэффициентом рудоносности, которая, как показал М. К. Абрамов (1965), может быть выражена следующей формулой:

$$K_r = \frac{V_0 + V_B}{V_0(1 + K)}, \quad (V.6)$$

где K_r — допустимый коэффициент рудоносности; V_0 — общий объем подсчетного блока; V_B — объем собственно пород вскрыши (без учета безрудных участков); K — допустимый коэффициент вскрыши.

Кроме того, коэффициент рудоносности нередко влияет на выбор системы отработки. Так, необходимость селективной выемки рудных обособлений (при подсчете запасов с коэффициентом рудоносности) исключает возможность применения систем отработки на массу, которые, как известно, характеризуются высокой произ-

водительностью и относительно низкой стоимостью добычи руды. Следовательно, при прочих равных условиях, использование коэффициента рудоносности может привести к снижению экономических показателей рудника, а отсюда — к повышению кондиций и некоторому сокращению балансовых запасов.

На ряде месторождений низкие значения коэффициента заставляют снижать категорию запасов, что также косвенным образом сказывается на определении степени разведанности того или иного участка, на цифрах производительности горнодобывающего предприятия и, в конечном итоге, на геолого-промышленной оценке рассматриваемых объектов.

Наконец, выявленная зависимость между содержанием полезного компонента и коэффициентом рудоносности и наличием направленности в изменении последнего в ряде случаев позволяют оценить перспективы слабо изученных флангов и глубоких горизонтов месторождений.

В то же время нельзя забывать и о том, что этот показатель, несмотря на многогранность своего участия в геолого-промышленной оценке подсчитанных запасов, остается всего лишь статистическим параметром, который требует чисто геологической корректировки, в частности, с точки зрения оценки количества, размеров и извлекаемости отдельных рудных обособлений.

Этот серьезный недостаток коэффициента рудоносности заставляет очень осторожно подходить к окончательным выводам, сделанным только на основании его использования, и проверять правильность их с общих геологических позиций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коэффициент рудоносности является статистическим показателем концентрации промышленного оруденения в рудоносных зонах и имеет много общих черт с таким важнейшим показателем, как содержание полезного компонента. Эта общность проявляется в относительно высокой изменчивости значений, частом совпадении направлений максимальной изменчивости, тесной связи с параметрами кондиций и наличием в большинстве случаев корреляционной зависимости этих параметров между собой.

Применение коэффициента рудоносности при подсчете запасов целесообразно только тогда, когда по данным разведки нельзя в достаточной мере обоснованно оконтурить отдельные рудные тела (рудные обособления). Во всех остальных случаях следует избегать использования статистических параметров в расчетных операциях по подсчету запасов во избежание привноса некоторой неопределенности, связанной со случайно-вероятностным характером их и опасностью пропуска завуалированных систематических погрешностей.

При применении коэффициента нельзя упускать из вида влияния на него геологоструктурных, геохимических, литологических

и других особенностей, таких, как первичная и вторичная зональность, наличие экранов для рудоносных растворов, состав вмещающих пород, дорудная и пострудная тектоника, распределение сортов руд и т. д., т. е. анизотропный характер месторождений.

Путем несложного статистического анализа необходимо выявлять корреляционные связи этого показателя с содержанием, мощностью и иными параметрами рудных обособлений и рудоносных зон и учитывать их при характеристике относительно крупных частей рудоносной зоны и особенно мало изученных участков, таких, как фланги и глубокие горизонты месторождения.

Выявленные закономерности и связи проявляются в самом общем виде при обработке укрупненных или усредненных данных.

Чтобы избежать серьезных систематических погрешностей на эксплуатируемых или весьма детально изученных представительных участках месторождения, следует изучать распределение рудных обособлений по их размерам и вводить поправку в значение коэффициента рудоносности, учитывающую долю селективно извлекаемых мелких рудных обособлений.

Наиболее надежным средством проверки правильности рассчитанных величин коэффициента является опытная эксплуатация, которую, по-видимому, следует рекомендовать для вновь разведываемых месторождений при отсутствии аналогичных достаточно изученных объектов в пределах данного рудного поля.

Заметной систематической разницы между площадной и линейными формами коэффициента рудоносности не установлено. Однако во всех случаях, когда для этого есть необходимые данные, площадную форму коэффициента рудоносности следует предпочесть всем другим его разновидностям, поскольку она позволяет учитывать изменение оруденения в двух измерениях. Вычисление площадного коэффициента рудоносности путем умножения двух линейных его разновидностей, определенных во взаимно перпендикулярных направлениях, является порочным, математически неверным приемом.

Применять коэффициент, рассчитанный по соотношению числа выработок, вскрывших рудные обособления, к общему их числу в пределах контура запасов не следует, так как эта форма параметра чревата возможностью грубых систематических ошибок и может быть успешно использована лишь в редких случаях при выполнении ряда условий.

Чтобы исключить возможность завуалированных ошибок, при подсчете запасов руды следует умножать характеристику рудоносной зоны (площадь, мощность и т. д.) на коэффициент рудоносности, вычисленный по отношению соответствующих параметров (площадей, мощностей и т. д.).

Статистические выборки значений коэффициента рудоносности (особенно средних по бокам) характеризуются большой неоднородностью, что затрудняет аппроксимацию их одним из известных законов распределения. Расчет необходимого числа наблюдений

(разведочных пересечений, подсчетных блоков и т. д.) с целью исключения случайной ошибки для любых статистических коллективов можно производить по формулам, вытекающим из неравенства Чебышева, а в случаях симметричного одновершинного распределения — по усиленным формулам, которые позволяют сократить необходимый объем наблюдений.

Вычислять средние значения коэффициента следует по отношению сумм, площадей или линейных параметров, а в случаях существенно различающихся по своим размерам участков (или длин влияния) — путем взвешивания на площади или линейные величины, не участвующие в расчете определяемого показателя.

При геолого-промышленной оценке месторождений с прерывистым оруденением необходимо учитывать зависимость коэффициента рудоносности от лимитов кондиций и связь с параметрами рудных обособлений и рудоносной зоны.

Минимально допустимое значение коэффициента рудоносности должно рассчитываться (или определяться по номограммам) для каждого подсчетного блока отдельно в зависимости от среднего содержания полезного компонента в руде и установленного лимита минимального промышленного содержания.

Для оценки промышленного значения того или иного блока большое значение имеют правильно определенные размеры минимальной мощности рудных тел и максимально допустимой мощности некондиционных промежутков, которые влияют и на величину коэффициента. Для полной характеристики степени рудоносности (помимо коэффициента) необходимо определять количество рудных обособлений. Число месторождений, при оценке и подсчете запасов которых применяется коэффициент рудоносности, постоянно увеличивается, а круг функций его расширяется.

Методика использования этого параметра до последнего времени оставалась слабо разработанной, что давало повод для ошибочных рекомендаций в публикуемой литературе и приводило к существенным погрешностям в практике подсчета запасов месторождений с прерывистым оруденением.

Выполненный анализ многочисленных литературных источников, фондовых материалов и результатов экспериментов с плоскими моделями рудоносных зон и обобщение накопленных сведений позволяют ориентироваться в выборе той или иной формы коэффициента рудоносности и способов расчета как частных, так и средних его значений применительно к условиям конкретных месторождений.

Учет свойств коэффициента, зависимостей его от установленных кондиций и корреляционных связей с различными характеристиками рудоносных зон и рудных обособлений, а также предвидение возможных ошибок дают основание надеяться на значительное повышение точности подсчета запасов и геолого-промышленной оценки тех рудных месторождений, где применение этого параметра неизбежно.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамов М. К. Определение допустимых коэффициентов вскрыши и рудоносности как кондиционных требований при подсчете запасов. Науч. тр. Иркутского НИИ редких металлов, вып. 12, Иркутск, 1965.

Барышев Н. В., Красников В. И., Левоник Б. С. Разведочное дело, ч. VI. Подсчет запасов. М., ОНТИ НКТП, 1937.

Бирюков В. И. Показатель прерывистости форм месторождений полезных ископаемых. Изв. вузов, «Геология и разведка», М., 1963, № 12.

Галкин Б. И., Бирюков В. И. и др. Разведка штокерковых месторождений цветных и редких металлов. М., Госгеолтехиздат, 1962.

Глинков Г. П. К оценке достоверности разведки Урупского медноколчеданного месторождения. В сб. «Материалы 2 науч. конфер. молод. уч. Ростовской обл.», секц. естест. наук, Ростов-на-Дону, 1968.

Денисов М. Н., Куличихин С. Н. и др. Штокерковые месторождения и рациональная методика их предварительной разведки. ВИЭМС, М., 1970.

Зенков Д. А. Некоторые особенности разведки и подсчета запасов прерывистого оруденения. «Советская геология», 1963, № 10.

Казак В. М. Оценка сложности формы рудных залежей Криворожского бассейна. «Советская геология», 1963, № 5.

Киевленко Е. Я. Геолого-статистические методы подсчета запасов полезных ископаемых. «Разведка и охрана недр», 1964, № 2.

Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Кобленц Э. Л., Субботин В. Е., Татарский Д. И. О применении коэффициента рудоносности. «Разведка и охрана недр», 1959, № 4.

Коган И. Д. Принципы определения коэффициента рудоносности. «Разведка и охрана недр», 1966, № 3.

Коган Р. И. О коэффициенте рудоносности. Бюлл. МОИП, отд. геол., т. XIII, вып. 3, 1968.

Крейтер В. М. Поиски и разведка полезных ископаемых. Львов, 1940.

Крениг А. А., Пожарицкий К. Л., Розин А. А. Руководство по подсчету запасов месторождений золота. М., ОБТИ, 1940.

Методические указания по производству геологоразведочных работ. вып. VI. Разведка месторождений молибдена, вольфрама, олова, висмута, сурьмы и ртути. М., Госгеолтехиздат, 1957.

Нацвин А. Н., Никифоров Н. А. и др. Анализ методики разведки и сопоставления запасов ртутно-сурьмяных месторождений Южной Ферганы. Тр. Ср.-Аз. НИИ геол. и минер. сырья, вып. 6. Ташкент, 1965.

Никифоров Н. А. Ртутно-сурьмяное оруденение Южного Тянь-Шаня, г. Фрунзе, изд-во «Илим», 1969.

Поярков В. Э. Оценка месторождений при поисках и разведках. Сурьма и ртуть, вып. 15, М., Госгеоллиздат, 1955.

Прокофьев А. П. Практические методы подсчета запасов рудных месторождений. М., Госгеоллиздат, 1953.

Прокофьев А. П. Оконтуривание рудных тел при подсчете запасов. М., Госгеоллиздат, 1955.

Прокофьев А. П. Учет вскрышных работ и коэффициента рудоносности при определении кондиций на рудоминеральное сырье. «Разведка и охрана недр», 1963, № 4.

Прокофьев А. П. Проверка кондиций при подсчете запасов минерального сырья. «Разведка и охрана недр», 1966, № 5.

Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., изд-во «Наука», 1968.

Руководство по методам разведки и подсчету запасов золоторудных месторождений. ОНТИ Нигризолото, М., 1956.

Садвакасов М. С. О коэффициенте рудоносности. «Узб. геол. ж.», Ташкент, 1968, № 5.

Смирнов В. И. Геологическая служба на одном из ртутных рудников. Рудничная геология. Сб. статей под ред. В. М. Крейтера и В. И. Смирнова. М.—Л., Госгеолиздат, 1946.

Смирнов В. И. Подсчет запасов минерального сырья. М., Госгеолиздат, 1950.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М., Изд-во МГУ, 1954—1957.

Смирнов В. И., Прокофьев А. П. и др. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., изд-во «Наука», 1965.

Справочник маркшейдера, ч. II. (под ред. Т. В. Буткевича и Д. Н. Оглоблина). М., Металлургиздат, 1955.

Стефанович В. В. Применение коэффициента рудоносности при подсчете запасов рудных месторождений. Тр. ЦНИГРИ, вып. 86, ч. 1, М., 1969.

Столяр М. Я. Определение коэффициента рудоносности и его применение. «Разведка недр», 1956, № 12.

Тохтуев Г. В., Казак В. М. Опыт изучения морфологии рудных залежей в Криворожском бассейне. В сб. «Геология рудных месторождений», вып. 3, 1962, Изд-во АН СССР.

Требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ по этапам и стадиям. ВИМС, М., изд-во «Недра», 1967.

Федорчук В. П. Методика поисков и разведки скрытого ртутно-сурьмяного оруденения. М., изд-во «Недра», 1964.

Федорчук В. П., Поярко В. Э. и др. Методика разведки ртутно-сурьмяных месторождений. В сб. «Материалы по метод. развед. полезн. ископ.», М., Госгеолтехиздат, 1962.

Хрущов Н. А. Оценка месторождений при поисках и разведках. Вып. 19, Молибден, М., Госгеолтехиздат, 1961.

Шаныгин П. Н. Руководство ГРУ объединения «Востокзолото» по подсчетам и учету запасов золотых месторождений. ОГИЗ, Иркутск, 1933.

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

Шехян Г. П., Товмасын В. В. О способе подсчета запасов некоторых медных месторождений. НИГМИ АрмССР, Ереван, 1962.

Чейз Ф. Количественно-минералогический анализ шлифов под микроскопом. М., ИЛ, 1963.

Якжин А. А. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1959.

Якжин А. А. Поиски и разведка урановых месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1961.

Доков Р., Попов А. Т. Анализ на деталното и експлоатационно проучване на няком жилини оловно-цинкови месторождения в Маданския руден район. Списание Бълг. геол. дружество, 1961, 22, № 2.

Kowalczyk Z. Fotogrametryczne określenie współczynnika rудоносносци i okrzyszowania. Rudy i metale nierel, 1962, 7, № 8.

Szurowski H. Zur zahlenmäßigen Charakteristik komplizierter Erzkörper. Zeitschrift für angewandte geologie. Akademie, Verlag, Berlin, № 10, 65.

342

54 коп.