Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова
т. LX, вып. 2, 1971 г.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛА И РАЦИОНАЛЬНАЯ ГУСТОТА РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ НА ОДНОМ ИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТСКОЙ АССР

Б. Б. Евангулов, А. М. Зысин, Ю. М. Арский, Р. М. Файзуллин

В пределах рудного поля изучаемого золоторудного месторождения распространены песчано-сланцевые отложения нижней перми мощностью до 2000 *м*. Месторождение расположено в приосевой части брахиантиклинальной складки меридионального простирания. Широко развиты меридиональные и оперяющие их северо-восточные и юго-западные разрывные нарушения сколового типа.

Рудные тела по структурно-текстурным особенностям делятся на минерализованные зоны дробления и кварцево-сульфидные жилы. Первые, являясь основными рудными телами, представляют собой значительные по протяженности, линейно вытянутые зоны в различной степени метаморфизованных и дробленых иногда до состояния милонитов пород, насыщенных кварцево-жильными образованиями разной мощности и направления. Наиболее крупные кварцевые жилы вытянуты согласно с основным простиранием зоны. Жильный материал рудных зон составляет обычно 10—15%, но иногда достигает 95% [8]. По вещественному составу рудные зоны относятся к образованиям малосульфидной золотокварцевой формации. Количество сульфидов не превышает, как правило, 5%. Преобладающим минералом среди них является арсенопирит; развиты пирит, галенит, сфалерит, халькопирит и сульфосоли свинца и серебра. Золото тонкодисперсное (0,03—0,06 *мм*) и находится большей частью в свободном состоянии. Мощность минерализованных зон дробления в среднем 7—9 *м*, на отдельных участках 30—40 *м*.

Золотое оруденение распространено на всю мощность рудных зон; промышленное оруденение концентрируется в центральной части, иногда смещаясь к лежачему боку зоны. Структурно-литологический контроль промышленного золотого оруденения внутри зон пока не установлен, и промышленные рудные тела выделяются только по данным опробования на основании временных кондиций.

Месторождение расположено в пределах резко расчлененного горного рельефа. Рудные зоны вскрыты эрозионным срезом на 800 *м* по вертикали, что позволяет по данным изучения поверхности составить представление об особенностях изменения геолого-промышленных параметров оруденения не только по простиранию, но и падению рудных зон и дает возможность использовать штольни при их разведке.

Закономерности локализации золота по простиранию минерализованных зон дробления и параметры распределения обогащенных участков по разведанной части основного рудного тела месторождения на трех горизонтах штолен и по поверхности определены методом построения линейных графиков или кривых регрессии [3, 4]*. Они построены по геологическому (геологические границы рудного тела) и промышленному (границы, определенные по данным опробования, в соответствии с установленными кондициями) контурам.

Как видно на рис. 1, изменение содержания золота по простиранию и падению рудной зоны как в геологическом, так и промышленном контурах имеет скачкообразный характер со значительными по амплитуде максимумами и минимумами, чередующимися на относительно коротких расстояниях. Вместе с тем на фоне общего скачкообразного характера изменения содержания золота наблюдается постепенное снижение общего его уровня в северном направлении. Одновременно кривая приобретает более плавный характер, уменьшается амплитуда максимумов и минимумов.

Кривые регрессии содержания золота на различных расположенных друг под другом разведочных горизонтах рудного тела повторяют друг друга: пики и спады часто идентичны и хорошо увязываются между собой по вертикали. Это свидетельствует о выдержанности оруденения по падению рудной зоны.

Почти полное сходство кривых содержания золота в геологическом и промышленном контурах и линейного запаса в геологическом контуре фиксирует наличие пространственной связи между промышленными участками рудной зоны, общим распределением содержания в ней золота и ее мощностью.

Кривые регрессии азимутов простирания западного (висячего) и восточного (лежачего) тектонических контактов рудной зоны так же, как и кривые содержания золота, имеют скачкообразный характер с чередующимися относительно среднего увеличениями — отклонениями в северо-западном направлении и уменьшениями — отклонениями в северо-восточном направлении. Как правило, колебания обоих контактов однонаправлены. Однако в ряде случаев такая одноименность в изменении простирания нарушается, что может быть выражено или резким отклонением одного из контактов при плавном изменении другого, или резким отклонением обоих контактов в противоположных направлениях (в разные стороны или навстречу друг другу). При этом восточный контакт испытывает более резкие колебания.

Сопоставление кривых регрессии азимутов простирания висячего и лежачего контактов рудной зоны и содержания золота в ней дает возможность сделать следующее заключение. Повышенные содержания приурочены как к северо-восточным, так и к северо-западным поворотам каждого из контактов рудной зоны. Существует, по-видимому, прямая зависимость между величиной содержания и амплитудой отклонения простирания контакта от основного направления. Наиболее благоприятными в отношении локализации высоких содержаний золота являются такие участки рудной зоны, на которых лежачий и висячий контакты отклоняются от основного направления в разные стороны; наименее благоприятны те участки, на которых контакты ориентированы навстречу друг другу. Таким образом, повышенное содержание золота соответствует раздувам рудной зоны, а пережимы являются неблагоприятными для локализации богатого оруденения.

Рассмотренные закономерности подтверждаются построением статистических полей азимутов простирания западного и восточного кон-

---

* Частично использованы материалы, любезно предоставленные геологом Б. Г. Щекалевым.

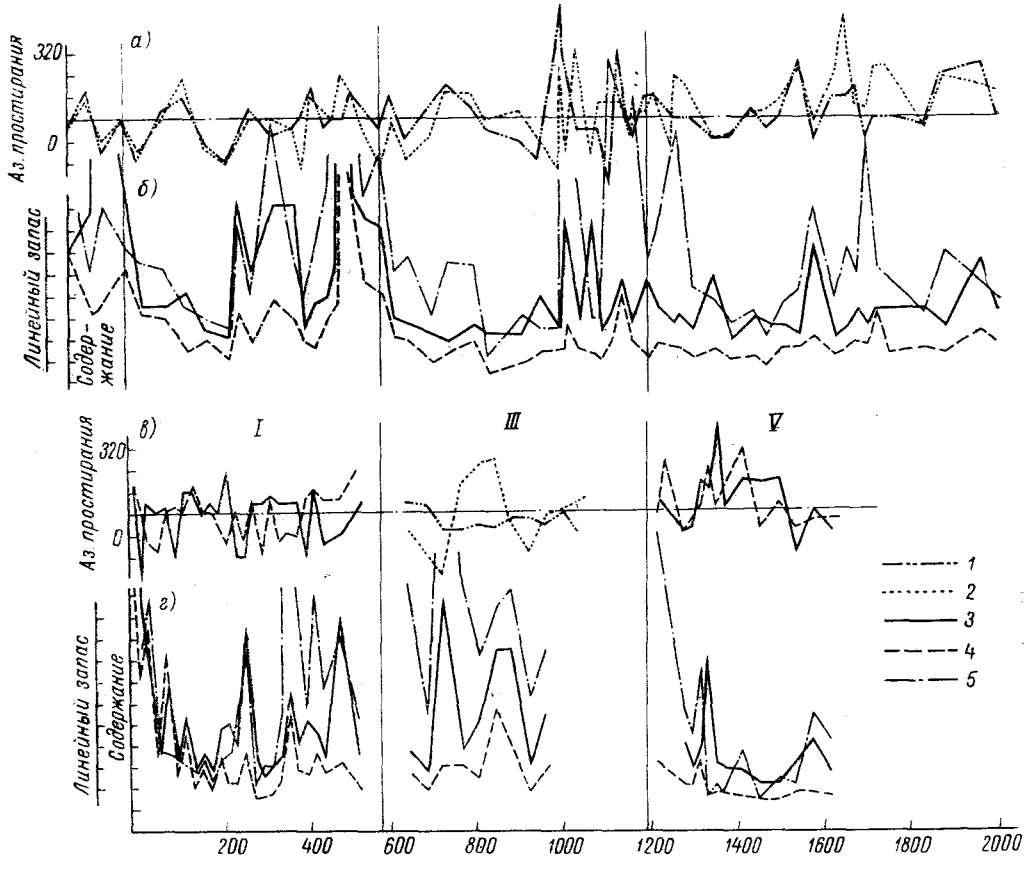


Рис. 1. Кривые изменчивости содержания золота и элементов залегания контактов рудной зоны (в условных единицах):

а и *б* — простирание западного и восточного контактов зоны по разведочным выработкам соответственно поверхностным и подземным (горизонты штольни *I*, *III* и *V*); *б* и *г* — содержание золота и линейный запас по разведочным выработкам, соответственно, поверхностным и подземным; *1* и *2* — азимуты простирания, соответственно, западного и восточного контактов; *3* и *4* — промышленный и геологический контуры; *5* — линейный запас

тактов изучаемой рудной зоны для геологического и промышленного контуров (рис. 2). Диаграммы построены следующим образом. Статистическое поле азимутов простирания разбито на 64 квадрата. Сторона каждого квадрата соответствует 10°. Горизонтальное направление поля соответствует азимутам простирания восточного контакта, вертикальное направление — азимутам простирания западного контакта. Результаты определений содержания золота по разведочным пересечениям отнесены к соответствующему классу (квадрату) по азимутам простирания контактов вне зависимости от пространственного его положения; для каждого класса вычислено среднее, и на этой основе проведены изолинии равных содержаний. На полученных таким образом топографических поверхностях отмечается ряд максимумов содержаний, которые приурочены как к северо-восточным, так и к северо-западным квадратам диаграмм; особенно отчетливо это видно на диаграмме содержаний в промышленном контуре (рис. 2, *б*). Расположение максимумов содержаний в западных и восточных румбах статистических полей свидетельствует о справедливости высказанных выше соображений относительно приуроченности повышенных содержаний золота.

Изменение содержания золота от искривления лежачего и висячего контактов рудного тела по падению рассмотрено по точечным графикам, на которых по оси абсцисс отложено условное содержание золота, а по оси ординат — величина углов падения (рис. 3). Построенные графики показывают, что, несмотря на значительный разброс значений содержания, соответствующих одному и тому же углу падения каждого из контактов, все же достаточно четко устанавливается общая тенденция приуроченности богатого оруденения к относительно крутым (70—85°) по падению интервалам рудного тела.

Таким образом, закономерности в распределении золота по простиранию рудной зоны заключаются в чередовании через 80—120 *м* участков с относительно высокими и низкими содержаниями золота. При этом намечается тенденция к увеличению размеров обедненных и уменьшению размеров обогащенных золотом блоков как по восстанию рудной зоны, так и в северном направлении. Предварительный вывод: расстояние между разведочными пересечениями, при котором может быть обеспечена достаточная точность определения средних значений содержания золота и мощности, а тем самым и запасов руды, не должно превышать 40—60 *м*.

Выводы относительно поведения оруденения по восстанию рудной зоны нуждаются в последующих исследованиях. Значительное количество учтенных проб относится к выработкам, вскрывающим выходы рудной зоны на поверхность. В соответствии с рельефом они расположены по диагонали с юга на север и в то же время по восстанию залежи, поэтому степень влияния изменчивости оруденения по простиранию и падению при этом затушевывается. Чтобы решить вопрос о закономерностях изменчивости оруденения, необходимо иметь пробы не только по простиранию, но и по восстанию. Для этого следует пройти восстающие выработки и в них опробовать рудную зону на всю мощность через такие же интервалы, как по штольням. Обработка этого материала совместно с пробами по простиранию не только даст надежное обоснование для характеристики общих закономерностей изменчивости, но и уточнит положение локальных участков с повышенным и пониженным содержанием.

Для количественной характеристики изменчивости оруденения месторождения и определения на этой основе оптимальных параметров его разведки использован метод разрежения разведочных пересечений (разведочных выработок, вскрывающих рудное тело на полную мощность). Этот метод подразумевает косвенную оценку изменчивости ору-

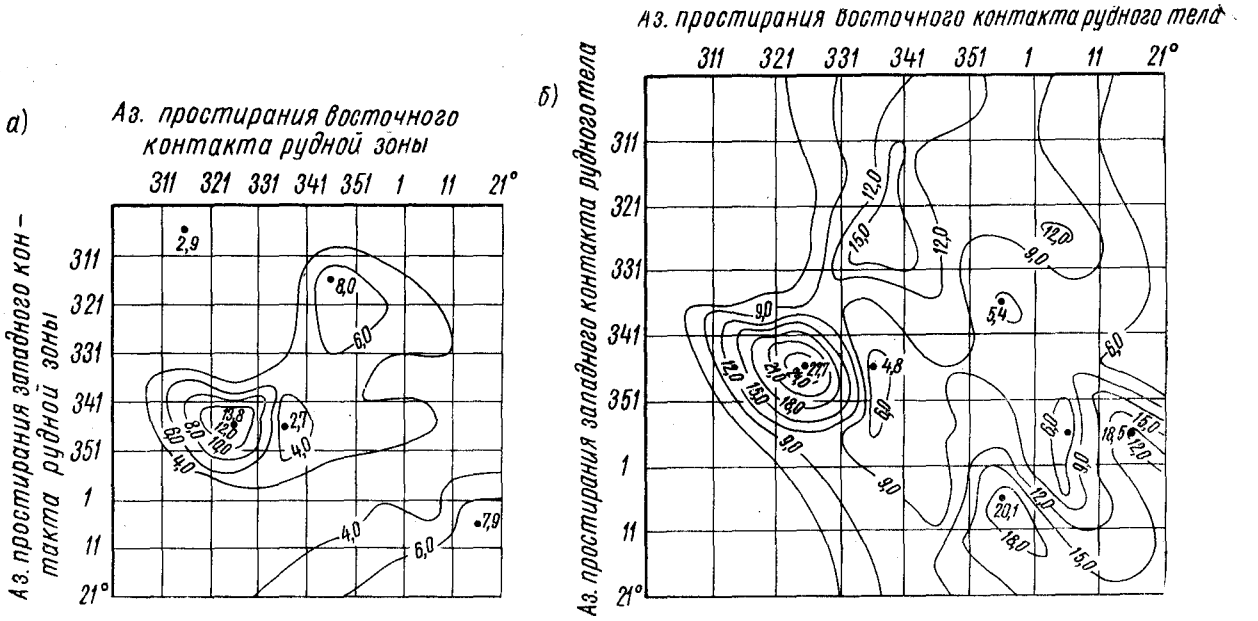


Рис. 2. Зависимость содержания золота от азимутов простирания контактов рудной зоны (в условных единицах) по геологическому *а* и промышленному *б* контурам

денения по точности определения его средних параметров в зависимости от плотности сети разведочных выработок [2, 3, 7].

Особенно сильной изменчивости на подобных месторождениях подвержено содержание металла, поэтому исследования плотности разведочной сети основаны на анализе изменчивости этого показателя. Если число разведочных пересечений обеспечивает необходимую полноту изучения этого параметра, то в общем случае его можно считать вполне достаточным для удовлетворительной характеристики мощности залежи и точности подсчета запасов.

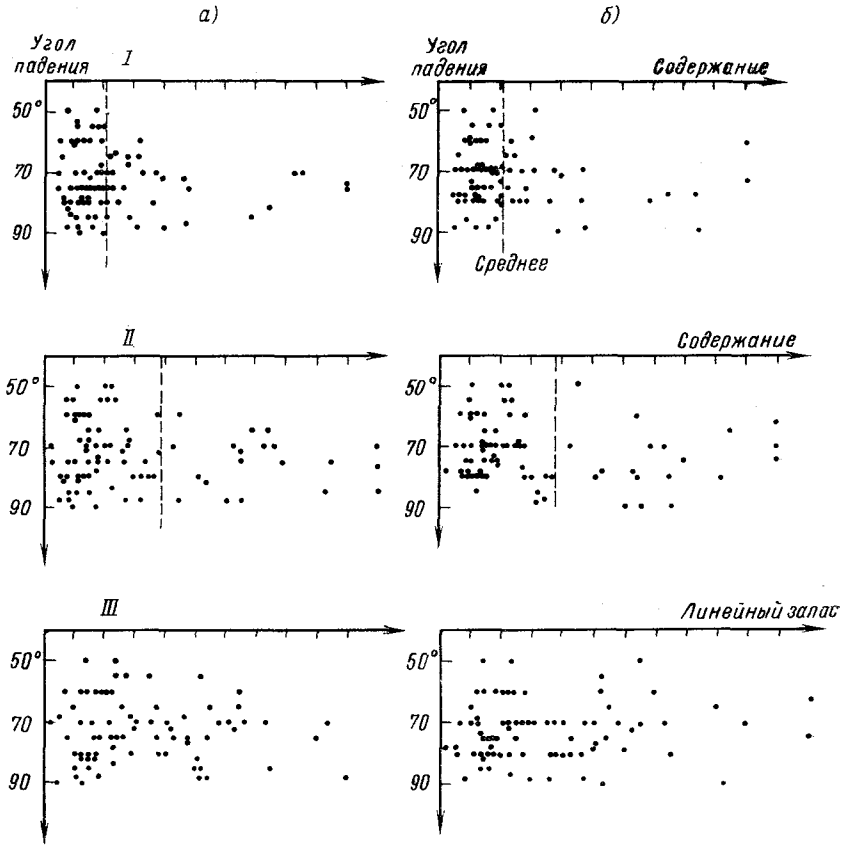


Рис. 3. Зависимость содержания золота от углов падения контактов западного *а* и восточного *б* рудной зоны (в условных единицах):

I — геологический контур; *II* — промышленный контур; *III* — линейный запас в геологическом контуре. Пунктиром показано среднее содержание

Разрежение проведено по отдельным блокам и в целом по разведанной части основной рудной зоны в 2, 3 и 4 раза. Границы блоков приняты по штольне соответствующего горизонта и интервалу поверхности до ближайшего горизонта штольни. Выделено три таких блока: *I*, *III*, *V*. Таким образом, каждый блок представляет собой треугольник, в котором основание составляет 400—600 *м*, а высота 200 *м* (рис. 4). Разведочные блоки отвечают отдельным геологическим блокам рудной зоны. За исходные результаты приняты определения среднего содержания золота более чем по 80 разведочным пересечениям. Средние значения содержаний золота в каждом варианте разрежения подсчитаны на полную мощность рудной зоны в геологических границах (геологический контур)и отдельно для промышленной ее части (промышленный

контур). Получены отклонения средних значений от условных исходных по всем разведочным пересечениям, %:

Число пересечений	21—24	14—16	9—12
Геологический контур			
среднее	6,6	22,4	17,8
максимальное	9,9	53,6	53,6
Промышленный контур			
среднее	13,1	19,7	19,7
максимальное	21,4	40,7	73,6

Итак, по всем блокам и в целом по разведанной части рудной зоны в геологическом и промышленном контурах отмечается общая тенден-

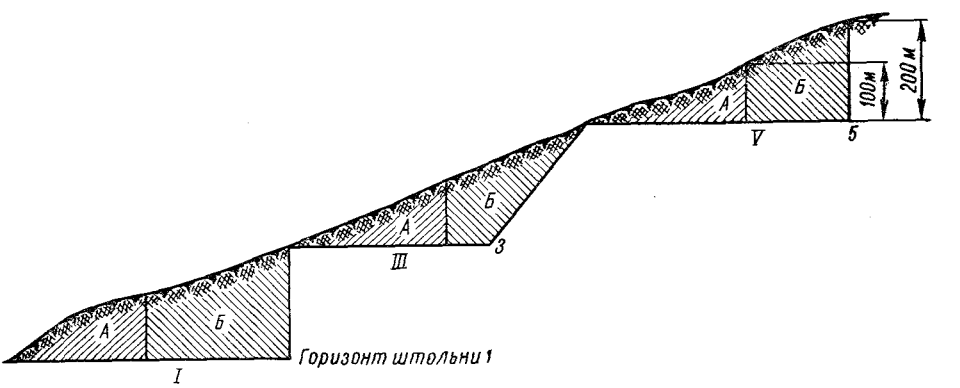


Рис. 4. Вертикальная проекция рудной зоны, разреженной сетью разведочных выработок по блокам *I*, *III* и *V*

ция увеличения абсолютных и относительных отклонений по мере уменьшения числа разведочных пересечений, участвующих в подсчете. Причем для геологического контура относительные отклонения в одноименных вариантах разрежения, как правило, несколько ниже, чем для промышленного. Число отрицательных и положительных абсолютных отклонений приблизительно одинаково. При уменьшении числа разведочных пересечений против исходного до 21—24 относительные отклонения содержания составляют 7—10% для геологического и 6—20% для промышленного контуров. При сокращении числа пересечений до 15—16 отклонения возрастают более чем в 2 раза. Характерно, что максимальные значения относительных отклонений не попадают в одни и те же варианты разных стадий разрежения. Вопреки общей тенденции увеличения относительных отклонений по мере сокращения числа пересечений, встречаются случаи их уменьшения. Как правило, во всех блоках при одинаковом числе пересечений величины относительных отклонений близки. Отмеченные особенности справедливы как для геологического, так и для промышленного контуров.

Несколько отличные данные по отдельным разведочным блокам получаются при разрежении по всей разведанной части рудной зоны. Величины относительных отклонений средних содержаний при большом количестве разведочных пересечений здесь выше: при 40 пересечениях они достигают 14% в геологическом контуре и 26% в промышленном. Это свидетельствует о том, что рассмотренные геологические блоки раз-

веданы в настоящее время еще не достаточно, а исходное количество разведочных пересечений мало. В связи с этим рассчитанные средние содержания и отклонения в вариантах разрежения по ним не обладают необходимой надежностью. В первую очередь, недостаточная разведанность этих блоков определяется отсутствием разведочных выработок, пересекающих рудную зону по падению и характеризующих особенности оруденения в этом направлении.

Помимо разрежения в отдельных геологических блоках по всем разведочным пересечениям, для определения допустимого расстояния между горизонтами штолен в каждом блоке подсчитано среднее содержание для подблока *А* с длиной основания 100 *м* и подблока *Б* высотой 100 и 200 *м* (рис. 4). Сопоставление этих значений с исходными показывает, что относительные отклонения условных средних содержаний для геологического и промышленного контуров не превышают 18%:

Блок	*А*		*Б*	
Число пересечений	20—30	10—15	18—20	9—11
Геологический контур				
среднее	17,2	25,4	12,8	18,1
максимальное	18,3	31,0	16,9	53,6
Промышленный контур				
среднее	10,2	13,8	14,5	26,6
максимальное	14,3	16,7	14,7	56,5

Относительная величина отклонения условного среднего содержания для обоих подблоков практически одна и та же при близком числе пересечений.

Таким образом, достоверность определения средних содержаний золота при разведке не зависит прямым образом от размеров разведочных блоков по падению рудной зоны, как это отмечалось ранее при разведке некоторых рудных месторождений [3]. Для подтверждения этого вывода в рассмотренных подблоках проведено разрежение разведочных пересечений в 2 раза. Оказалось, что величина отклонений средних содержаний при этом резко возрастает, что связано не с размерами подблоков, а с уменьшением числа разведочных пересечений.

Результаты вычисления отклонений средних содержаний золота по различным вариантам разрежения обобщены на рис. 5, построенном по приведенным выше исходным данным. Кривые ошибок характеризуются отчетливо выраженным гиперболоидным обликом без резкого изменения радиуса кривизны. Протяженность отрезков кривой по осям одинакова. Следовательно, между погрешностью определения среднего значения геологического показателя в разведочном блоке и числом разведочных пересечений существует обратная связь:

$$p = k\left(\frac{1}{n^2}\right),$$

где p — погрешность, %; n — число разведочных пересечений; k — коэффициент пропорциональности.

На графике отчетливо проявляются особенности подсчета средних значений геологических показателей в зависимости от числа разведочных пересечений. Если, например, ориентироваться на кривую максимальных рассчитанных отклонений среднего содержания по блоку в промышленном контуре, то при 30 разведочных пересечениях погрешность определения среднего содержания не превысит 20%.

Анализ изменчивости геологопромышленных параметров оруденения методом разрежения по многим рудным месторождениям показал,

что точность подсчета средних данных и оценка запасов по геологическому объекту независимо от его размеров определяется в соответствии с изменчивостью геологических показателей — прежде всего числом участвующих в подсчете разведочных пересечений [2, 6, 7]. Следовательно, для каждого объекта разведки плотность разведочной сети (функция числа пересечений, которое обеспечивает заданную точность) должна определяться в первую очередь размерами этого объекта.

Изменчивость оруденения на изученном месторождении такова, что для определения средних значений геологических показателей в разведочном блоке с погрешностью 10—20% необходимо не менее 25—30 разведочных пересечений, равномерно распределенных по площади. Увеличение числа пересечений свыше 25—30 не ведет к ощутимому повышению точности подсчета средних данных. При меньшем числе пересечений погрешность подсчета резко возрастает.

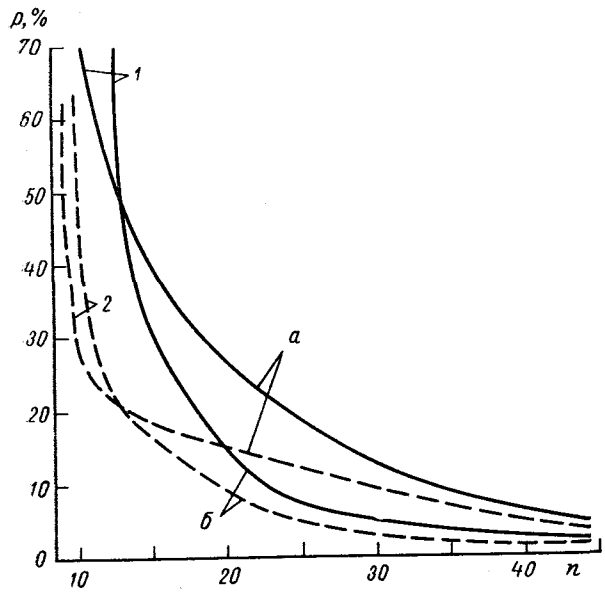


Рис. 5. Кривые ошибок определения (*1* — максимальных, *2* — средних) содержания золота по результатам разрежения сети разведочных выработок (в условных единицах) в промышленном *а* и геологическом *б* контурах

Таким образом, задавшись определенными размерами разведочного блока, можно рассчитать необходимую плотность разведочной сети. Если считать объектом разведки стандартный разведочный блок размером 500×200 *м* или 500×100 *м* с периметром, соответственно, 1400 и 1200 *м*, то расстояние между разведочными пересечениями, обеспечивающее достаточную точность подсчета запасов, должно быть равным $^{1400}/_{30}$ и $^{1200}/_{30}$, т. е. 40—50 *м*.

Плотность разведочной сети определяется расстояниями не только между разведочными пересечениями, но и между горизонтами штолен в плоскости падения рудного тела. Расчет по подблокам различных размеров по вертикали, показывает, что, по-видимому, можно обеспечить достаточную точность определения средних параметров оруденения при расстоянии между горизонтами штолен 200 *м* (при сохранении минимального допустимого числа разведочных пересечений).

Приведенные выше рекомендации по рациональной плотности разведочной сети основаны только на точности определения средних значений геологопромышленных параметров оруденения. Достоверность же результатов разведки зависит и от точности построения контуров промышленного и непромышленного оруденений в пределах рудных зон. Соответствующая плотность разведочной сети, кроме статистических расчетов, должна учитывать проявление изменчивости оруденения и структурную особенность ее на отдельных участках месторождения или рудных тел (локальную изменчивость) [6]. Этим во многом определяются параметры рациональной системы разведки. Для этого на определенных характерных участках рудных зон необходимы дополни-

тельные разведочные выработки по значительно более густой, чем предложено выше, сетке: штольни через 100 или 50 *м*, рассечки через 20 или 10 *м* и восстающие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евангулов Б. Б. К вопросу о выборе рационального способа детальной разведки жильных месторождений благородных и редких металлов. Инф. сб. ВИТРа, № 24. 1960.

2. Евангулов Б. Б., Арский Ю. М. О рациональной разведке рудных месторождений олова. Зап. ЛГИ, т. LV, вып. 2, 1968.

3. Каллистов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. Советская геология, № 53, 1956.

4. Королев А. В., Шехтман Л. А. Структурные особенности постмагматических руд. Наука, 1965.

5. **Погребицкий Е. О.** О способах определения густоты разведочной сети. Зап. ЛГИ, т. XLIX, вып. 2, 1965.

6. Погребицкий Е. О. и др. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Недра, 1968.

7. Смирнов В. И. О плотности разведочной сети. Советская геология, № 58, 1957.

8. Файзуллин Р. М., Иноземцев И. Н., Скобелев А. А. Нежданинское золоторудное месторождение. Разведка и охрана недр, № 10, 1968.