

## СЕТЬ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОИСКА ЗОЛОТОРУДНЫХ ЖИЛ ДАРАСУНА

Л. Я. ЕРОФЕЕВ

(Представлена профессором Д. С. Миковым)

При изучении перспективных площадей, особенно вблизи известных рудных полей, большое значение придается поиску кварцевых, кварцево-сульфидных жил. Установление местоположения их с помощью геофизических методов значительно сокращает объем дорогостоящих горных работ, существенно ускоряет освоение новых площадей. Исследованиями последних лет в области методики изучения золоторудных месторождений жильного типа установлено, что в ряде случаев рудные жилы в магнитном поле сопровождаются относительно пониженными линейно вытянутыми аномалиями. Само по себе это обстоятельство в принципе позволяет применять магнитную съемку для этих целей.

Однако в практическом варианте поиск аномалий, сопровождающих жильные образования, сопряжен с определенными трудностями, которые, например, для золоторудного месторождения Дарасун сводятся к следующему. Во-первых, наряду с отрицательными аномалиями (относительно вмещающих пород), обусловленными жилами, на месторождении имеет место большое количество аномалий другой природы, которые в одном сечении имеют форму, интенсивность, соизмеримые с искомыми аномалиями. Во-вторых, искомые аномалии имеют непостоянные параметры.

Не проводя специальных исследований, можно отметить, что выделение аномалий, обусловленных жилами, в условиях этого месторождения на одиночном профиле невозможно без привлечения дополнительных сведений при любом шаге измерения вдоль по профилю. Стало быть, в данной обстановке может идти речь только о выделении этих аномалий серией профилей, используя эффект накопления сигнала. Для этого на золоторудном месторождении Дарасун имеются благоприятные условия — коррелируемость искомым аномалий вдоль оси их простираения существенно превышает таковую большинства прочих изменений напряженности вертикальной составляющей магнитного поля.

Таким образом, решение задачи выбора оптимальной сети съемки в этих условиях сводится к следующему. Нужно выяснить, как следует расположить точки на профиле и какие нужно взять расстояния между профилями измерения, чтобы наилучшим образом выделился искомый сигнал в заданном поле.

Перейдем к определению величины шага измерений вдоль по профилю. Принимая во внимание известное свойство дискретных наблюдений, можно подойти к решению поставленной задачи с нескольких позиций. Например, можно исследовать процесс изменения амплитуды аномалии

при изменении шага измерений. Расстояние между точками измерения в этом случае можно определить, если задаться уровнем «помех» и точностью восстановления амплитуды аномалии, разлагая заданной формы сигнал в ряд по полиномам Чебышева.

Можно также исследовать поведение при изменении шага измерений не одной амплитуды аномалий, а изменение градиента, что более отчетливо позволит проанализировать картину помех и сигнала. Однако все это пригодно в тех случаях, когда искомые аномалии по амплитуде или линейным размерам существенно отличаются от всех прочих изменений напряженности, в которых производится поиск. На золоторудном месторождении Дарасун условия поиска сложнее. В этом случае желательно использовать не какой-то один или группу параметров, отражающих отдельные особенности аномалии, а такую совокупность их, которая бы однозначно представляла аномалию и процесс изменения которой можно было бы исследовать при изменении шага съемки. В этом случае становится возможным исследование характера изменения помех тоже в этом плане, увеличивая, таким образом, число элементов сравнения, а значит и возможность выделения сигнала.

Сравнение аномалий заданной формы с полем, интенсивно осложненным помехами, может быть успешно осуществлено с помощью известного в теории информации метода «обратной вероятности». Этот способ позволяет производить сравнение сигнала с помехами по такому числу параметров, которые однозначно представляют сигнал. Мерой соответствия заданной формы и интенсивности сигнала с исследуемым процессом является так называемый коэффициент правдоподобия:

$$K = \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^m a^2(x_i) \right] \cdot \exp \left[ \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^m f_i a(x_i) \right].$$

Здесь  $\sigma^2$  — дисперсия помех;

$f_i$  — значение напряженности в  $i$ -й точке профиля;

$a(x_i)$  — ордината точки ожидаемого сигнала в  $i$ -й точке.

При изменении числа точек на профиле (шага измерения) будут деформироваться как искомые формы аномалий, так и все прочие изменения напряженности на исследуемом профиле. Деформация различных изменений будет различна. Очевидно, в этом случае можно указать такое расстояние между точками исследования, при котором сигнал этим способом в данном распределении будет выделяться наилучшим образом, т. е. ошибка выделения будет минимальной.

В процессе выделения сигнала способом обратной вероятности может возникать два рода ошибок. Ошибка первого рода заключается в том, что принято решение о наличии аномалии, в то время как на самом деле ее нет. Ошибка второго рода состоит в том, когда считают, что искомая аномалия отсутствует, в то время как она имеется.

Общая ошибка определится зависимостью:

$$Q = P_0 \cdot \alpha + P_1 \cdot \beta,$$

где  $P_0$ ,  $P_1$  — априорные вероятности наличия и отсутствия аномалии, принимаемые равными 0,5;

$\alpha$  и  $\beta$  — соответственно вероятности ошибок первого и второго рода. Метод, обеспечивающий минимум этой общей ошибки, известен под названием «идеального наблюдателя».

Характеристику обнаружения для этого критерия в случае применения метода обратной вероятности можно представить зависимостью общей ошибки от отношения аномалия — помеха:

$$\rho = \frac{E_0}{\sigma^2},$$

здесь  $E_0 = \sum_{i=1}^m a^2(x_i)$  — энергия аномалии. Тогда, как показано в работе [3], минимальная ошибка

$$Q_{\min} = \frac{1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{\rho}{2}}\right)}{2},$$

где  $\Phi_t = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  берется по таблицам интеграла этого

вида.

На основе этого была получена зависимость числа точек измерения, которыми должна быть представлена аномалия, от отношения среднего значения амплитуды аномалии к стандарту помех  $\frac{\bar{a}}{\sigma}$ , для фиксированных значений надежности выделения сигнала (рис. 1).

Пользуясь этой зависимостью, можно выбрать шаг съемки. Для этого нужно задаться степенью надежности и определить отношение  $\frac{\bar{a}}{\sigma}$ .

Выбор первого параметра диктуется в основном экономическими соображениями. Для определения  $\bar{a}$  и  $\sigma$  нужно знать законы изменения напряженности на изучаемой площади. Среднее значение напряженности искоемых аномалий  $\bar{a}$  можно определить по данным исследования, кото-

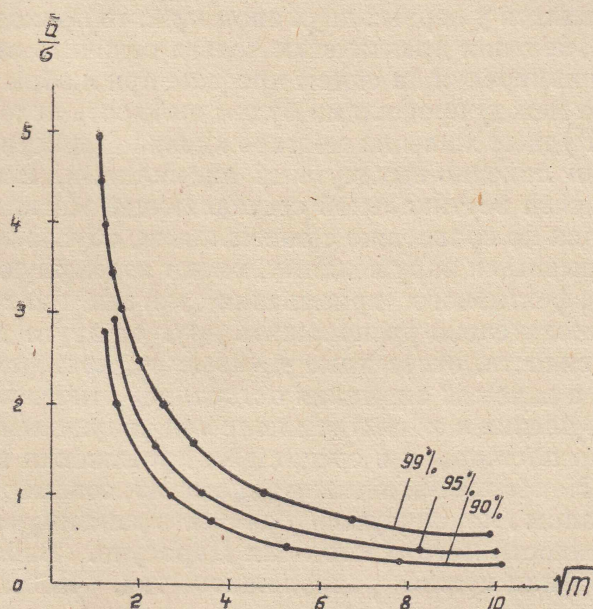


Рис. 1. Характеристика обнаружения аномалий по критерию Котельникова (А. А. Никитин и др.)

рые были специально проведены на месторождении Дарасун. В результате было установлено, что среднее значение ординаты наивероятнейшей формы аномалии, обусловленной жилами Дарасуна, равно 250—400 гамм, а ширина их 60—80 м [1].

При изучении структуры магнитного поля Дарасуна было установлено также, что в магнитном поле месторождения наиболее часто встречаются четыре типа нарушений в магнитном поле. Среднее значение амплитуды этих аномалий составляет 500, 350, 370 и 250 гамм. Аномалии

имеют среднюю ширину 150, 37, 18 и 9 м соответственно. Стало быть, отношение аномалия — помеха в пределах этого месторождения будет близко к единице, т. е.  $\frac{\bar{a}}{\sigma} \approx 1$ .

Зная это, определим число точек  $m$ , приходящихся на аномалию, задавшись предварительно степенью надежности выделения ее. Примем степень надежности 90%, тогда  $m=7$ , а шаг 8—12 м. Теперь нужно установить, какие, собственно, изменения напряженности будут существенно искажаться при этом шаге измерений.

Для этого вычислим интервалы «отсутствия корреляции» для тех изменений напряженности, которые наиболее часто встречаются на месторождении. Границы этого интервала  $l_1$  и  $l_2$  определяются по формуле

$$l_{1,2} = \frac{k}{4} \cdot \lambda \pm \left( \frac{\lambda}{4} - \tau_n \right),$$

где  $k$  — нечетное положительное число;

$\lambda$  — длина волны;

$\tau_n$  — расстояние, при котором нормированный радиус автокорреляции меньше 0,3.

Интервалы отсутствия корреляции для приведенных выше аномалий будут равны: для первой — 65—115 м; 245—295 м...; для второй — 14—26 м; 54—66 м...; для третьей — 6—12 м; 19—21 м...; для четвертой — 3—5 м; 11—13 м... Таким образом, при выбранном шаге наивероятнейшая аномалия, обусловленная рудными жилами, может быть выделена с надежностью в 90% на фоне изменений напряженности, локализующихся у третьей и четвертой аномалий. Что же касается изменений напряженности, локализующихся у первых двух аномалий, то приходится констатировать, что эти изменения практически нельзя отличить от искомых аномалий по данным измерения на одном профиле при любом шаге.

Расстояние между профилями будем выбирать исходя из следующих соображений. Рудные жилы на месторождении Дарасун сопровождаются отрицательными линейно-вытянутыми аномалиями. Все прочие изменения напряженности вертикальной составляющей магнитного поля в первом приближении по сравнению с аномалиями, обусловленными жилами, дайками и разрывными нарушениями, имеют изомерную форму. Следовательно, для эффективного применения метода накопления профили исследования желательно расположить друг от друга так, чтобы приращения напряженности, отнесенные к «помехе», претерпевали существенное изменение, а искомая аномалия оставалась относительно постоянной.

Форма нарушения в магнитном поле над кварцевыми жилами остается относительно постоянной в среднем на протяжении нескольких десятков метров [2]. Наиболее интенсивная «помеха», соизмеримая по величине с этим интервалом, локализуется у третьего максимума в спектре изменения напряженности магнитного поля Дарасуна. Вполне очевидно, что профиль от профиля нужно расположить так, чтобы эти изменения напряженности на соседних профилях выступали в противофазе. Для этого необходимо интервал отсчета взять равным половине длины волны этих «помех», т. е. порядка 15—20 м. Распределение высокочастотных изменений напряженности, локализующихся у четвертого максимума в спектре месторождения, в этом случае будет близко к нормальному закону распределения, что благоприятно скажется на выделении искомых аномалий.

Изменения напряженности, отнесенные, к «помехам» больших размеров, т. е. те, которые локализируются у двух первых аномалий, существенного изменения претерпевать не будут и, очевидно, достаточно хорошо будут коррелироваться от профиля к профилю.

В условиях Дарасуна и эти «помехи» могут быть значительно ослаб-

лены без существенной потери полезной информации, если изучаемую площадь покрывать не сплошь профилями, отстоящими друг от друга на расстоянии 15—20 м, а сериями профилей, что важно с экономической точки зрения, беря расстояние между сериями таким образом, чтобы эти «помехи» выступали в каждой серии в противофазе. Это расстояние между сериями профилей необходимо принять с таким расчетом, чтобы расстояние между серединами соседних серий профилей составляло половину длины волны «помех», т. е. порядка 40—60 м.

В связи с этим встает вопрос о выборе числа профилей в одной серии. Наиболее рационально в этих условиях в одной серии взять три профиля. В этом случае расстояние между крайними профилями серии будет равняться периоду колебаний напряженности основных помех, что благоприятно скажется на выделении искомым аномалий.

При очень сложной картине магнитного поля, когда такое разряжение профилей съемки будет невозможно, это положение должно учитываться при истолковании полученного материала. На участках, где жильные образования сопровождаются устойчивыми по форме и величине аномалиями напряженности поля, съемку можно проводить не сериями профилей, а одиночными профилями, отстоящими друг от друга на расстоянии 40—60 м.

Эти рекомендации по выбору сети магнитной съемки в условиях Дарасуна были использованы при изучении периферийных участков этого месторождения. Съемка была проведена на площади около 15 кв. км. Результаты проверки выявленных аномалий горными работами, а также анализ поля, наблюдаемого в направлении разряжения сети съемки, убедительно показали состоятельность высказанных рекомендаций по выбору сети магнитных измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Я. Ерофеев. Структура магнитного поля Дарасунского золоторудного месторождения (Забайкалье). Настоящий сборник.
2. Л. Я. Ерофеев. Формы магнитных аномалий над рудными жилами золоторудного месторождения Дарасун и их природа. Настоящий сборник.
3. А. А. Никитин, А. Г. Тархов, И. Н. Михайлов. Об оценке надежности выделения слабых геофизических аномалий способом обратных вероятностей. Разведочная геофизика, № 15, 1966.