

**К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЖИЛЬНОГО ТИПА,  
ЛОКАЛИЗОВАННЫХ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ  
(НА ПРИМЕРЕ ЛЮБАВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ЗАБАЙКАЛЬЯ)**

Б. Г. МОРДАНОВ, З. А. МЫШКО, Л. Я. ЕРОФЕЕВ

(Представлена кафедрой геофизических методов разведки)

Значительная часть месторождения золота жильного типа приурочена к осадочным и осадочно-метаморфическим породам, где рудные тела представлены маломощными кварцевыми жилами с бедным содержанием сульфидов. На таких месторождениях геофизические методы, в особенности широко применяемые электроразведочные, не дают положительных результатов.

За последние годы установлена высокая эффективность применения детальной магнитной съемки при изучении рудных полей ряда месторождений золота, локализованных в интрузивных породах.

В связи с этим нами были начаты специальные магнитометрические исследования на месторождениях золота, рудные поля которых расположены в осадочных породах. Целью проводимых работ являлось выяснение основных черт структуры магнитных полей с последующей оценкой возможностей применения детальной, магнитной съемки для изучения месторождений такого типа.

В данной статье пойдет речь только о первой части вопроса, т. е. о структуре магнитного поля. В качестве примера был выбран Николаевский участок, являющийся восточным флангом Любавинского золото-рудного месторождения Восточного Забайкалья.

В пределах участка развиты сильно метаморфизированные осадочные породы: песчаники-алевролиты и сланцы пермского возраста. В тектоническом отношении участок приурочен к зоне глубинного разлома широтного простирания и является частью южного крыла синклинали складки. Разлом фиксируется цепочкой штоков гранитов, поясом даек кварцевых порфиров, гранит-порфиров и сосредоточением рудной минерализации в пределах полосы, шириной около 1 км.

На участке характерно отсутствие выходов на поверхность штоков гранитов, падение пород на север и приуроченность рудных тел к пологим трещинам оперения широтных сбросов. Нарушения встречаются продольные и диагональные, реже поперечные. Основные рудные зоны имеют переменное простирание от 330 до 260°, непостоянную мощность от нескольких см до 1—2 м и выполаживаются с глубиной. Золото распределено в виде вкрапленности и намечается приуроченность его к мелким продольным или косоугольным трещинам, а также к области резких изменений мощности жил. Коренные породы участка перекрыты рыхлыми отложениями, мощность которых изменяется от 0,5 до 2 м на водоразделах и от 10 до 12 м в долинах.

Магнитная съемка была проведена магнитометром М-23 на площади 2 кв. км. по сети 50×5 м и 100×5 м с точностью ±4γ. Для выяснения

характера изменения приращения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля на участке Николаевском были применены статистические методы анализа, позволившие оценить:

- 1) величину и сложность изменения амплитуды приращения вертикальной составляющей;
- 2) формы изменения напряженности магнитного поля;
- 3) анизотропию магнитного поля.

Оценка изменения величины амплитуды приращения вертикальной составляющей  $\Delta Z$  была выполнена следующим образом. Значения  $\Delta Z$  были сгруппированы в статистические ряды. Интервал группирования для построения рядов определялся по формуле Стерджесса:

$$d = \frac{\Delta Z_{\max} - \Delta Z_{\min}}{1 + 3,322 \lg N},$$

(где  $N$  — число значений  $\Delta Z$  в статистическом ряду) и оказался равным 5 м. По статистическим рядам построены полигоны распределения для шести профилей и для участка в целом (рис. 1, а).

Диапазон изменения амплитуд приращения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля (без учета аномалии над штоком гранитов) составляет 60γ, наибольшее значение +35γ, наименьшее —25γ. У 90% всех значений  $\Delta Z$  изменение амплитуд происходит лишь в интервале от —10 до 10γ, т. е. в пределах 20γ.

Полигоны распределения амплитуд  $\Delta Z$  по профилям несколько различны. Для западных профилей форма полигонов распределения отличается незначительной положительной асимметрией и близка к плосковершинной. На полигонах распределения центральной части уже четко намечаются 2 максимума при слабой отрицательной (относительно среднего) асимметрии. Для восточных профилей характерно бимодальное распределение с резко выраженным правым максимумом, благодаря чему форма полигонов становится островершинной.

Графики накопленных частот, построенные на нормальном вероятностном трафарете, согласно критерию Колмогорова ( $\lambda < 1,35$ ), могут быть отнесены к прямым, что свидетельствует о близости эмпирического распределения к нормальному.

Для оценок сложности изменения амплитуды  $\Delta Z$  была вычислена нормированная энтропия по формуле (1):

$$H = \frac{-\sum p_i \cdot \ln p_i + \frac{N-1}{2n}}{\ln N},$$

где  $n$  — число точек измерения на профиле, для которого определялась энтропия,  $p$  — вероятность класса группирования,  $N$  — число классов в распределении.

Нормированная энтропия— $H$ , характеризующая сложность изменения амплитуд  $\Delta Z$ , составляет на участке 0,81—0,87. Наибольшее значение энтропии 0,85—0,87 наблюдается на крайних восточном и западном профилях, где полигоны распределения по характеру различны. Однако колебания энтропии невелики, лежат в пределах 0,06, что свидетельствует об однородности изменения амплитуд  $\Delta Z$  на участке в целом.

Изучение формы изменения напряженности магнитного поля проводилось следующим образом. По профилям рассчитывались автокорреляционные функции

$$R(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{cp})(x_{i+\tau} - x_{cp})}{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{cp})^2},$$

где  $\bar{x}_{cp}$  — среднее значение  $\Delta Z$  на профиле,  
 $x_i$  — значение  $\Delta Z$  в  $i$ -той точке ( $i=1, 2, 3, \dots, N$ );  
 $N$  — число точек;  
 $\tau$  — интервал корреляции,  $\tau = \Delta x \cdot \rho$ ;  
 $\Delta x$  — интервал дискретизации, равный шагу измерения;  
 $\rho$  — масштабный коэффициент.

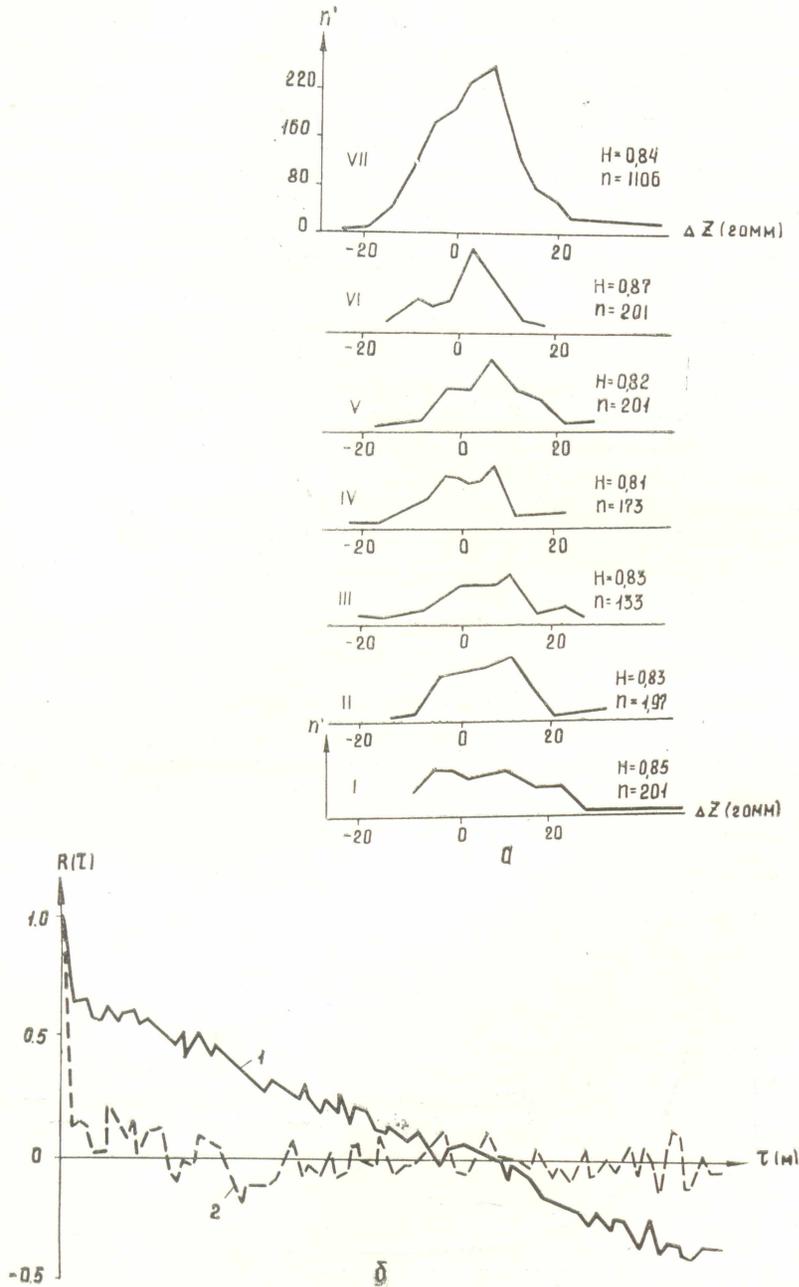


Рис. 1, а. Полигоны распределения амплитуд наблюдаемого магнитного поля. I, II... VI — порядковые номера профилей, VII — суммарный полигон,  $n$  — число точек измерений на профиле,  $n'$  — число точек в интервале группирования,  $H$  — энтропия.  
 б. Автокорреляционные функции. 1 —  $R(\tau)$  наблюдаемого поля  $\Delta Z$ , 2 —  $R'(\tau)$  преобразованного поля  $\Delta Z'$ .

Поскольку в магнитном поле золоторудных месторождений жильного типа, изученных ранее, имел место ряд устойчивых периодических составляющих, то вычисление функции автокорреляции  $R(\tau)$  проводилось до больших интервалов сравнения  $\tau$  (0,8 длины профиля), что при вычислении по таким  $R(\tau)$  спектральной плотности равносильно построению периодограмм. Нами спектральная плотность не вычислялась, параметры периодических изменений  $\Delta Z$  (амплитуда и период) определялись непосредственно по графику  $R(\tau)$  так, как это рекомендуется в работе [2].

Для получения информации о спектральном составе изменений  $\Delta Z$  периодические составляющие необходимо вычлесть из общего спектра, что осуществлялось таким путем: по автокорреляционной кривой  $R(\tau)$  выделялась периодическая функция, определялись ее средние амплитуда —  $A$  и период —  $T$ , по которым на кальке строилась косинусоида. Последняя накладывалась на график  $\Delta Z$  и путем горизонтального перемещения подбиралось визуальное наилучшее совпадение кривых, т. е. положение, при котором коэффициент взаимной корреляции был наибольшим.

Вычитанием косинусоиды из графика  $\Delta Z$  получали кривую  $\Delta Z'$  и для нее вычислялась автокорреляционная функция  $R'(\tau)$ . Если в ее характере наблюдалась периодическая составляющая, то процесс выделения продолжался тем же способом, т. е. определялись  $A'$  и  $T'$ , строилась новая периодическая составляющая, вычиталась из  $\Delta Z'$  и по оставшимся значениям вычислялась  $R''(\tau)$  и т. д.

Как правило, уже при одном вычитании периодической составляющей функция автокорреляции принимала вид монотонно убывающего до нуля графика, который при дальнейшем увеличении  $\tau$  оставался близким к нулю (рис. 1, б).

По функциям  $R'(\tau)$  в интервале  $\tau$ , равном 15% длины реализации, построена средняя функция автокорреляции, которая была аппроксимирована показательной функцией  $y = 1e^{-d(\tau)}$  (рис. 2, а) и по ней вычислен график спектральной плотности (рис. 2, б).

В результате спектрального анализа выделены две периодические

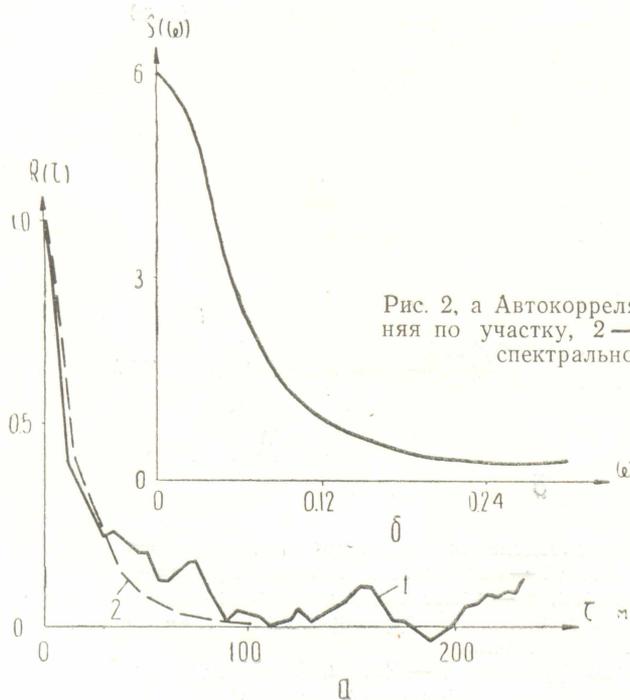


Рис. 2, а Автокорреляционные функции: 1 — средняя по участку, 2 — теоретическая; б — График спектральной плотности  $S(\omega)$ .

составляющие с частотой 0,0008 колеб./метр. и 0,0014 колеб./метр., что соответствует ширине аномалий 300—800 м.

Амплитуда аномалий составляет 6—8  $\gamma$ , т. е. 1/10 изменения амплитуды  $\Delta Z$  по планшету.

Кроме выделенных периодических изменений здесь имеют место одиночные изменения напряженности, которые на планах графиков выступают в весьма очевидной форме. Области поля, где проявляются такие аномалии, мы не включали в объем статистической выборки, так как они представляют собой яркие «неоднородности». Это аномалии над штоком гранитов (ширина 160 м и интенсивность +340 $\gamma$ ) и над сближенными дайками основного состава (ширина аномалии 40 м, интенсивность +100 $\gamma$ ).

Установить в общем фоне изменений  $\Delta Z$  какие-либо черты в высокочастотной части спектра затруднительно: спектральная плотность плавно убывает с увеличением частоты. Так представляется поле в высокочастотной части, если его изучать в одном сечении, т. е. двухмерном пространстве. Анализируя поле в трехмерном пространстве (что количественно осуществить практически невозможно), можно чисто качественно обнаружить и в этой части изменений напряженности ряд характерных возмущений.

Это линейно-вытянутые аномальные зоны с отношением длин осей от 1 : 1000 и более. Ширина аномалий непостоянна и колеблется от 0,5 до 20 м. Амплитуда варьирует в пределах —10 и —25  $\gamma$ . Преобладающее простирание северо-восточное, протяженность от нескольких метров до километров. Распределение таких аномалий на площади сравнительно равномерное, так как участок расположен целиком в пределах рудного поля.

Для оценки анизотропии поля была поставлена микромагнитная съемка на 10 площадках размерами 20×20 м с шагом 2 м. Площадки сняты в области развития песчано-сланцевой толщи, интрузии гранодиорита и дайкового пояса. Планы изодинам были обработаны деривиметром: через 0,5 см измерены азимуты направлений изодинам с точностью 2°. По этим данным построены распределения в виде розы-диаграммы направлений изодинам  $\Delta Z$  (рис. 3).

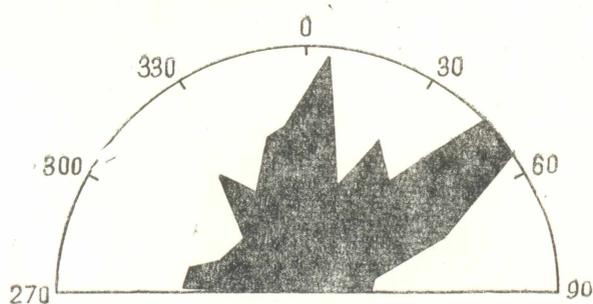


Рис. 3. Роза-диаграмма направлений изодинам  $\Delta Z$  над поясом даек.

Для песчано-сланцевой толщи характер распределения направлений близок к равномерному. Однако намечаются два небольших максимума, отвечающие азимутам 15° и 345°, т. е. преобладает субмеридиональное направление. Дайковый пояс по розе-диаграмме характеризуется двумя максимумами с азимутами 0° и 50°. Для массива гранитов четко локализуется основной крупный максимум с азимутом 350°. В целом наблюдаемое магнитное поле оказалось анизотропным.

Таким образом, по результатам магнитной съемки на Николаевском

участке отмечены незначительные изменения приращения амплитуд вертикальной составляющей напряженности магнитного поля: 90% всех значений  $\Delta Z$  лежат в пределах  $-10$  и  $+10$  гамм. Однако в характере изменений магнитного поля намечаются определенные закономерности, заключающиеся в следующем:

1. Закон распределения амплитуд наблюдаемого магнитного поля близок к нормальному. Сложность изменения амплитуд, оцениваемая энтропией ( $H=0,81-0,87$ ), по участку почти одинакова, спектр характеризуется глубоким минимумом.

2. Магнитное поле участка анизотропно с преобладанием двух довольно четко выраженных направлений изодинам  $\Delta Z$  субмеридионального и северо-восточного.

3. В составе магнитного поля имеют место периодические составляющие с частотой  $0,0008-0,0014$  к/м, отвечающие аномалиям шириной  $300-800$  м с амплитудой  $6-8$   $\gamma$ .

4. На фоне слабого магнитного поля проявляются площадные аномалии интенсивностью  $+340$   $\gamma$  и узкие линейно-вытянутые аномалии с амплитудой  $-10-25$   $\gamma$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Шилин. Количественная оценка сложности геофизических и геологических карт. «Разведка и охрана недр», 1966, № 5.
2. М. Г. Серебрянников, Л. А. Первозванский. Выявление скрытых периодичностей. Изд. «Наука» ФМЛ, М., 1965.