

УДК 550.837.3

ГЕОФИЗИКА

В. Б. Гамоян

**Поле сложного источника блуждающих токов при
 наличии пластообразного тела на примере
 Алавердского месторождения меди Армянской ССР**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И. Тер-Степаняном 17/VI 1985)

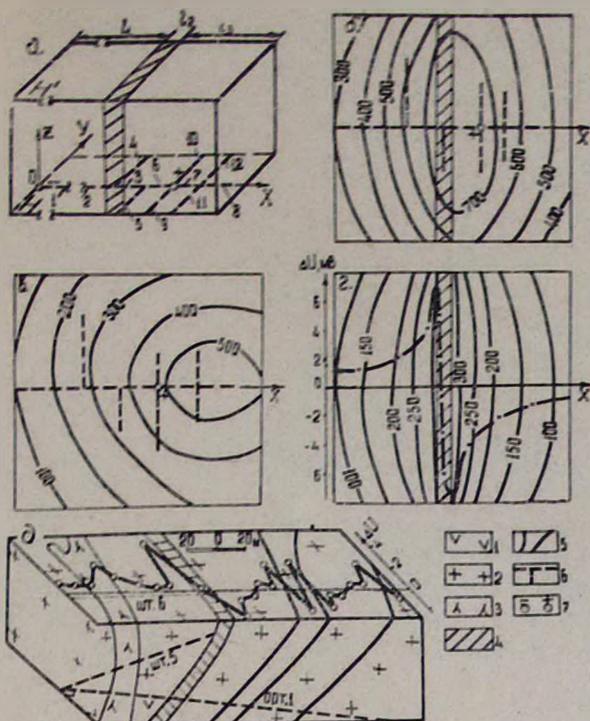
На Алавердском месторождении распространены андезитовые и дацитовые порфириты. Рудные тела в основном представлены сульфидными жилами. Руды месторождения обладают довольно низким удельным электрическим сопротивлением ($\rho_{\text{ср}}=2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), что дает возможность выделить их методом блуждающих токов (БТ) среди вмещающих пород с $\rho_{\text{ср}}=570 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Основным источником блуждающих токов на месторождении является сеть электрифицированных подземных железнодорожных линий горизонта штольни 5. Контакт отрицательного полюса тяговой сети расположен у устья штольни, контакт положительного полюса принят в районе узла ответвлений горных выработок 4, 5, 9 и 10 (рисунок, а), где производятся маневры электропоездов. Лабораторными исследованиями установлено, что блуждающие токи из рельсов вытекают в частях 2—12 и обратно перетекают в рельсы в 1-й части принятой модели источника.

Для теоретических расчетов принята модель блока с пластообразным рудным телом. Часть окружающей среды, находящаяся по левую на чертеже сторону от пласта, обозначена цифрой 1, рудная жила—2, другая часть среды—3. Принята прямоугольная система координат с начальной точкой, совпадающей с отрицательным полюсом источника. Ось X совмещена со штольной, ось Z направлена снизу вверх. Координаты точек определения потенциала обозначены буквами x, y, z , текущие координаты по источнику — ξ, η . Длина частей источника по оси X , расположенных в 1-й, 2-й, 3-й средах, обозначены l_1, l_2, l_3 соответственно. Для удобства расчета сложный „линейно-двухполюсный“ источник разбит на 12 прямолинейных частей. Каждая часть разбита на $m_j \Delta l$ элементарные отрезки, принимая их точечными источниками.

Решая уравнения Лапласа с использованием метода, разработанного Фурье, выведены математические выражения для потенциала поля сложного источника (¹).

$$U_1 = \frac{\rho_1}{4\pi} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=0}^{m_j} I_{ji} \left[\frac{1}{\sqrt{(x_1 - \xi_1)^2 + d^2}} + \frac{K_{12}}{\sqrt{(x_1 + \xi_1 - 2l_1)^2 + d^2}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1 - K_{12})^2 K_{21}^n K_{23}^{n+1}}{\sqrt{[x_1 + \xi_1 - 2l_1 - 2(n+1)l_2]^2 + d^2}} \right] + \sum_{i=0}^5 I_{5i} \sum_{n=0}^{\infty} \right.$$



Поле блуждающих токов над пластообразным телом: а—модель блока пород между горизонтами штолен 5 и 6 Лаввердского месторождения; б, в—карты потенциала при однородной среде и наличии хорошо проводящего пластообразного тела; г—карта аномальных значений потенциала и кривая их градиента; д—блок пород между горизонтами штолен 5 и 6 и кривая градиента аномальных значений потенциала, снятая в штольне 6. 1—андезитовые порфириты; 2—дацитовые порфириты; 3—порфирировая лайка; 4—рудная зона; 5—рудные жилы; 6—источник БТ; 7—полюса источника

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{(1-K_{12})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_1-\xi_2-2nl_2)^2+d^2}} + \frac{(1-K_{12})K_{12}^n K_{23}^{n+1}}{\sqrt{(x_1+\xi_2-2l_1-2(n+1)l_2)^2+d^2}} \right] + \\
 & + \sum_{j=6}^{12} \sum_{i=0}^{m_j} I_{ji}' \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1-K_{32})(1-K_{21})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_1-\xi_3-2nl_2)^2+d^2}} \quad (1) \\
 & U_2 = \frac{\rho_2}{4\pi} \left[\sum_{j=1}^4 \sum_{i=0}^{m_j} I_{ji}' \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1-K_{12})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_2-\xi_1+2nl_2)^2+d^2}} + \right. \\
 & + \frac{(1-K_{12})K_{21}^n K_{23}^{n+1}}{\sqrt{(x_2+\xi_2-2l_1-2(n+1)l_2)^2+d^2}} + \sum_{i=0}^{m_2} I_{5i}' \left[\frac{1}{\sqrt{(x_2-\xi_2)^2+d^2}} + \right. \\
 & + \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{K_{21}^{n+1} K_{23}^n}{\sqrt{(x_2+\xi_2-2l_1+2nl_2)^2+d^2}} + \frac{(K_{21}K_{23})^{n+1}}{\sqrt{(x_2-\xi_2+2(n+1)l_2)^2+d^2}} + \right. \\
 & \left. \left. + \frac{K_{21}^n K_{23}^{n+1}}{\sqrt{(x_2+\xi_2-2l_1-2(n+1)l_2)^2+d^2}} + \frac{(K_{21}K_{23})^{n+1}}{\sqrt{(x_2-\xi_2+2(n+1)l_2)^2+d^2}} \right) \right] +
 \end{aligned}$$

$$+ \left. \left. \begin{aligned} &+ \sum_{j=3}^{12} \sum_{l=0}^{m_j} I_{jl} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1-K_{23})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_2 - \xi_3 - 2nl_2)^2 + d^2}} + \\ &+ \frac{(1-K_{23})K_{21}^{n+1}K_{23}^n}{\sqrt{[x_2 - \xi_3 - 2l_1 + 2(n-1)l_2]^2 + d^2}} \right\} \right\}. \quad (2) \end{aligned}$$

$$U_3 = \frac{\rho_3}{4\pi} \left[\sum_{j=1}^4 \sum_{l=0}^{m_j} I_{jl} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1-K_{12})(1-K_{23})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_3 - \xi_1 + 2nl_2)^2 + d^2}} + \right. \\ \left. + \sum_{l=0}^{m_2} \sum_{n=0}^{\infty} I_{5l} \left[\frac{(1-K_{23})(K_{21}K_{23})^n}{\sqrt{(x_3 - \xi_2 + 2nl_2)^2 + d^2}} + \frac{(1-K_{23})K_{21}^{n+1}K_{23}^n}{\sqrt{(x_3 + \xi_2 - 2l_1 + 2nl_2)^2 + d^2}} \right] + \right. \\ \left. + \sum_{l=6}^{12} \sum_{l=0}^{m_l} I_{ll} \left[\frac{1}{\sqrt{(x_3 - \xi_3)^2 + d^2}} + \frac{K_{32}}{\sqrt{[x_3 + \xi_3 - 2(l_1 + l_2)]^2 + d^2}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(1-K_{32})^2 K_{23}^n K_{21}^{n+1}}{\sqrt{[x_3 + \xi_3 - 2l_1 + 2(n-1)l_2]^2 + d^2}} \right] \right\}. \quad (3)$$

В формулах (1), (2), (3) $K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$; $K_{23} = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2}$; ρ_1 , ρ_2 и ρ_3 — удельные сопротивления 1-й, 2-й и 3-й частей среды; $d = \sqrt{(y - \eta)^2 + z^2}$. Сила тока от Δl отрезка источника, согласно законам Кирхгофа, определяется формулой (4)

$$I_{jl} = \frac{I_{j0} \Omega_{jl} R_k^{l-1}}{\prod_{q=1}^l (\Omega_{jq} + R_k)}, \quad (4)$$

где I_{j0} — ток, подаваемый в j -ю часть источника, определяющийся решением системы уравнений

$$\begin{cases} I_{10} = I_0 \\ \sum_{j=2}^{11} I_{j0} = I_0 \\ \frac{I_{j0}}{I_{(j+1)0}} = \frac{\Omega_{(j+1)0}}{\Omega_{j0}} \end{cases} \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) I_0 — общий ток тяговой сети; R_p — сопротивление Δl отрезка рельсового пути; R_k — сопротивление заземления Δl отрезка; Ω_{j0} — сопротивление цепи j -й части источника. Последнее определяется путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \Omega_{j0} = \frac{(\Omega_{j1} + R_p) R_k}{\Omega_{j1} + R_p + R_k} \\ \dots \\ \Omega_{jl} = \frac{(\Omega_{j(l+1)} + R_p) R_k}{\Omega_{j(l+1)} + R_p + R_k} \\ \dots \\ \Omega_{jmj} = \frac{R_p \cdot R_k}{R_p + R_k} \end{cases} \quad (6)$$

Для анализа поля БТ в условиях, подобных условиям физико-геологической модели, показанной на рисунке, а, проведен расчет

потенциала по формулам (1)–(3). При расчетах принято $\rho_1 = \rho_2 = 600$ Ом · м, $\rho_3 = 2$ Ом · м.

В результате построены (рисунок) карты нормальных (а) и общих (б) значений потенциала, а также карта аномальных значений потенциала и кривая их градиента (г) в плоскости выше источника на 200 м. Карта нормального поля характеризуется вытянутыми вдоль источника изолиниями с коэффициентом сжатия 0,83–0,90.

При наличии рудного тела изолинии потенциала общего поля вытянуты вдоль последнего с коэффициентом сжатия 0,31–0,56. Коэффициент сжатия изолиний аномального поля составляет 0,05–0,25.

Кривая градиента аномальных значений потенциала характеризуется экстремумами над контактами и переходом через нуль в центре сечения рудного тела.

Рисунок, д, изображает блок между горизонтами штолен 5 и 6 и результаты натурно-модельных исследований в виде кривой градиента аномальных значений потенциала. На кривой выделяются четыре аномалии над рудными телами. Характер аномалий строго соответствует данным теоретических расчетов и указывает на корреляцию рудных обнажений в штольнях 5 и 6. Размеры аномалий соответствуют мощности рудных тел. Направление и угол падения последних на кривой выражаются асимметрией аномалий.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Վ. Ռ. ԳԱՄՈՅԱՆ

Թափառող հոսանքների բարդ աղբյուրի դաշտը շերտաձև մաքման առկայության դեպքում Հայկական ՍՍՀ Ալավերդու պղնձի հանքավայրի օրինակով

Տեսական ուսումնասիրությունների օգնությամբ հետազոտված են հանրերում էլեկտրաֆիկացված երկաթուղիներից երկրակեղև առաքվող հոսանքի (Թափառող հոսանքի) բաշխման օրինաչափությունները: Ստացված են եռաշերտ միջավայրում Թափառող հոսանքների դաշտը արտահայտող մաթեմատիկական բանաձևեր: Վերջիններիս օգնությամբ հաշվված և կազմված են դաշտի պոտենցիալի բարտեղներ Ալավերդու հանքավայրի ֆիզիկաներկարանական մոդելի պայմաններում: Տեսական ուսումնասիրությունների արդյունքները համադրված են բնու-փորձարարական աշխատանքների արդյունքների հետ:

Ուսումնասիրությունների կարգյունքները կժառայեն էլեկտրահետախույության Թափառող հոսանքների մեթոդի զարգացմանը:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Ց Ո Ւ Ն

¹ Ю. В. Якубовский, Электроразведка. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб., Недра, М., 1980. ² Г. В. Зевеке, А. Л. Ионкин и др., Основы теории цепей. Госэнергоиздат, М., 1963.