

УДК 550.837:218

В. Б. ГАМОЯН

ПОЛЕ РАЗВЕТВЛЕННОГО ИСТОЧНИКА БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ ПРИ НАЛИЧИИ КОНТАКТА ДВУХ ПОРОД

Как известно, источниками квазистационарных электрических помех на рудниках служат электрифицированные железнодорожные линии в подземных горных выработках [1, 3, 10, 12]. Поле электрических помех определяется геометрическим расположением транспортных выработок, местоположением контактов отрицательного (отсасывающий щит) и положительного (контактный электровоз) полюсов источника постоянного тока с рельсами и геологическим строением участка.

В результате экспериментальных исследований простая модель рассмотренных источников аппроксимирована к «линейно-двухполюсному». Разработан электротехнический эквивалент [4].

Выведены математические формулы, выражающие распространение тока по рельсам и в окружающую среду, распределение поля в однородной изотропной, в однородной анизотропной и в неоднородных средах при простых источниках [4, 5, 6, 7].

Однако, на рудниках сеть электрифицированных узкоколейных железнодорожных линий чрезмерно сложна и на каждом месторождении своеобразна. Ввиду этого приобретает практическую важность изучение характера распределения БТ на простых физико-геологических моделях блоков месторождений.

Настоящая статья посвящена изучению распределения поля блуждающих токов при наличии контакта двух пород на примере одного полиметаллического месторождения Армянской ССР. Оно представлено порфиритами и измененными кварц-порфирами, к контакту которых приурочено оруденение.

Месторождение вскрыто тремя горизонтами подземных выработок. Из них нижний горизонт служит транспортным. Транспортировка руд и пород здесь осуществляется контактными электровозами. Транспортная штольня проходит по порфиритам (интервал пикетов 0 ÷ 800) и кварц-порфирам (интервал пикетов 800 ÷ 1200), пересекает контакт этих двух пород под углом 20°. С пикета 830 транспортной штольни под прямым углом в порфиритах пройден квершлаг (рис. 1). Как в штольне, так и в квершлагге смонтированы рельсовые пути марки «Р-18». В остальных горных выработках горизонта рельсовые пути отсутствуют. В квершлагг поступают рудоспуски из верхнего рудного горизонта.

Контакт отрицательного полюса тяговой сети с рельсами расположен на пикете 110, контакт положительного полюса принят на пикете 830 штольни (в районе рудоспусков), где производятся маневры электровозов.

Для решения поставленной задачи в первую очередь следует определить участки стекания тока из рельсов в окружающую среду и обратного перетекания его в рельсы, на границе которых вне источника поле отсутствует. Искомая граница определяется контактными сопротивлением рельса и местоположением полюсов источника. Контактное сопротивление отрезка рельсового пути (Δl) в пределах одной породы принято постоянным [4].

Принимая рельс стержневым электродом, с полуцилиндрической поверхностью соприкосновения с окружающими породами, можно для сопротивления заземления использовать формулу [12]

$$R_k = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{a}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление среды; l — длина рельса; a — радиус рельса (для рельса марки «Р-18» $a=5$ см). Из формулы (1) следует, что контактное сопротивление при постоянной величине l определяется удельным сопротивлением окружающей среды и радиусом рельса.

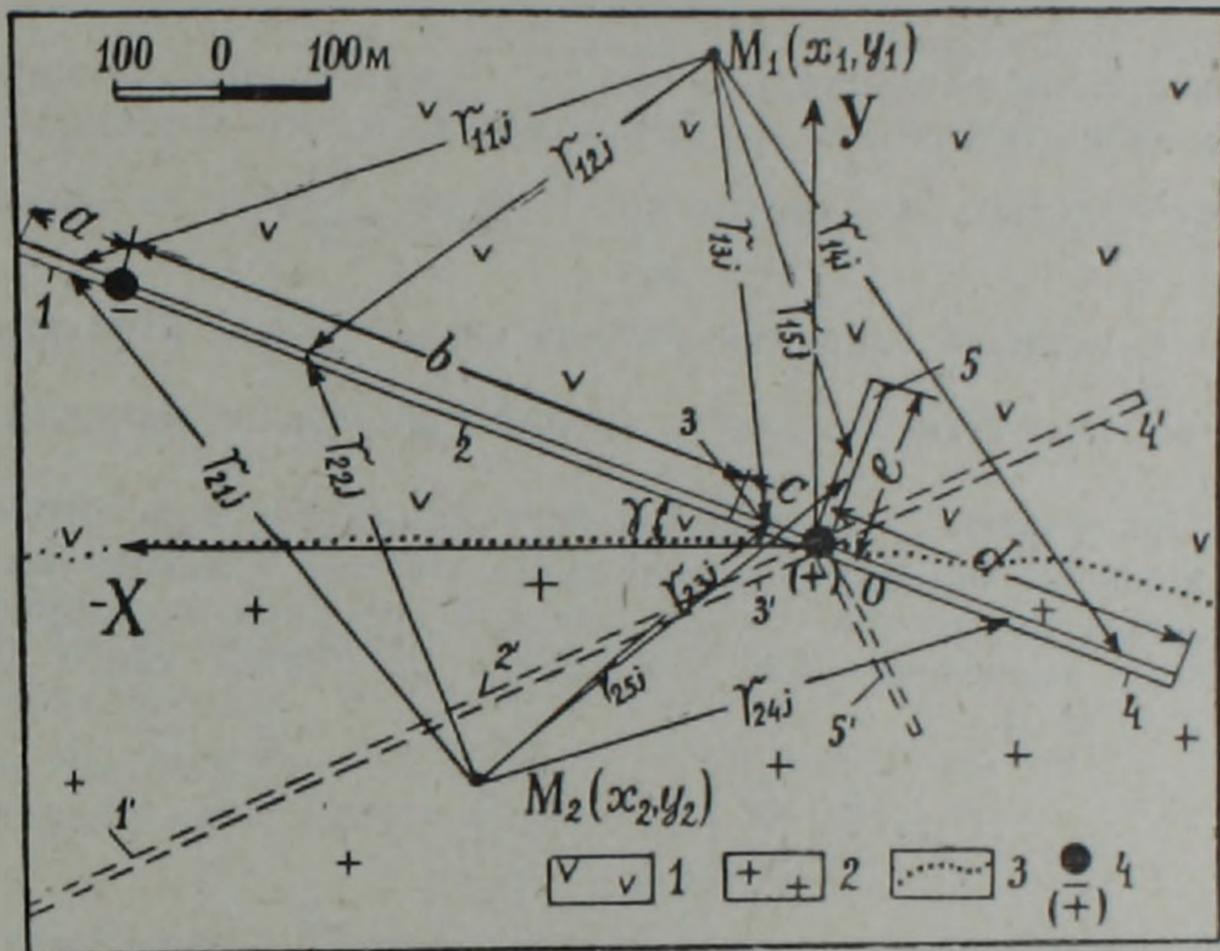


Рис. 1. Геометрическая модель горизонта штольни 16 Ахталъского барит-полиметаллического месторождения. 1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—контакт порфиритов и кварц-порфиров; 4—точки соединения полюсов источника с рельсами.

Имея расположение полюсов источника и контактное сопротивление отрезков рельса при помощи физического моделирования определена искомая линия с нулевым потенциалом. Исследования проводились в электролитическом баке, заполненном раствором медного купороса с удельным электрическим сопротивлением 5 Ом.м. При модельных исследованиях руководствовались теорией электрического моделирования [11]. Моделью рельса служила стальная проволока.

Сопротивление заземления отрезка рельса в порфиритах в 10 раз больше, чем в кварц-порфирах ($\rho_1/\rho_2=10$). При лабораторных работах вместо того, чтобы создать среду с двумя растворами с удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 , что очень трудно осуществить, использовали стальные проволоки разного диаметра ($d_1=1$ мм, $d_2=0,101$ мм), рассчитанные по формуле (1).

В результате лабораторных исследований установлено, что линия с нулевым потенциалом проходит по пикету 740 штольни, примерно по точке пересечения штольни с контактом двух пород.

Для теоретических расчетов выбрана прямоугольная система координат с начальной точкой, совпадающей с положительным полюсом

«линейно-двухполюсного» источника. Требовалось найти выражения для потенциалов в произвольно выбранных точках $P_1 (x_1, y_1, z_1)$ и $P_2 (x_2, y_2, z_2)$, расположенных в порфиригах и кварц-порфирах.

Потенциальные функции должны иметь конечные значения всюду, кроме точек, лежащих внутри источника, удовлетворять уравнению Лапласа и иметь такой вид, чтобы выполнялись условия на границе раздела двух пород, требующие непрерывности потенциала и нормальной составляющей плотности тока. В связи с единственностью решения задачи, удовлетворяющего перечисленным условиям, воспользовались методом зеркального отображения [9]. Обозначены части источника: интервал пикетов $0 \div 110$ штольни—1, $110 \div 740$ —2, $740 \div 830$ —3, $830 \div 1200$ —4, квершлаг—5, их отображения—1', 2', 3', 4', 5' (соответственно) (рис. 1).

При отыскании потенциала в точке P_1 , находящейся в части среды с удельным сопротивлением ρ_1 , предполагалось, что потенциал создается действительным электродом 1 с током $\sum_{j=1}^{n_1} I_{1j}$ и фиктивным электродом 1' с током пока неизвестной силы $\sum_{j=1}^{n_1} I'_{1j}$. При этом принято, что все пространство занято средой с удельным сопротивлением ρ_1 .

Используя формулу определения потенциала для простого «линейно-двухполюсного», источника в однородной среде и исходя из расположения горных выработок и геологической ситуации изучаемого объекта, получено выражение для потенциала от первой части источника в точке $P_1 (U_{11})$.

$$U_{11} = \frac{\rho_1}{4\pi} \sum_{j=1}^{n_1} \left[\frac{I_{1j}}{r_{11j}} + \frac{I'_{1j}}{r'_{11j}} \right], \quad (2)$$

где I_{1j} —ток, протекающий в землю от j -го отрезка рельсового пути; r_{11j} —расстояние между точкой наблюдения P_1 и j -ым отрезком 1-ой части источника; r'_{11j} —расстояние между точкой наблюдения P_1 и j -ым отрезком части 1' мнимого источника.

Для составления выражения потенциала на точке P_2 предполагалось, что этот потенциал создается 1-ой частью «линейно-двухполюсного» источника, также неизвестной силы тока, находящегося в среде с удельным сопротивлением ρ_2 .

$$U_{22} = \frac{\rho_2}{4\pi} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{I'_{21j}}{r_{21j}}, \quad (3)$$

где r_{21j} —расстояние между точкой наблюдения P_1 и j -ым отрезком 1-ой части источника.

В формулах (2) и (3)

$$r_{11j} = \sqrt{[x_1 + (b+c+10j-5) \cos \gamma]^2 + [y_1 - (b+c+10j-5) \sin \gamma]^2};$$

$$r'_{11j} = \sqrt{[x_1 + (b+c+10j-5) \cos \gamma]^2 + [y_1 + (b+c+10j-5) \sin \gamma]^2}$$

$$r_{21j} = \sqrt{[x_2 + (b+c+10j-5) \cos \gamma]^2 + [y_2 - (b+c+10j-5) \sin \gamma]^2}.$$

Учитывая граничные условия задачи, определены:

$$I_{ij}'' = k_{12} I_{ij}; \quad I_{ij}' = (1 - k_{12}) I_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5).$$

Возвращаясь к решению задачи, можно написать выражения для потенциалов точек, лежащих по обе стороны границы раздела от 1-ой части источника, подставляя значения I_{ij}' и I_{ij}'' в формулы (2) и (3).

Таким же образом можно найти формулы, выражающие потенциалы $U_{12}, U_{22}, U_{13}, U_{23}, U_{14}, U_{24}, U_{15}$ и U_{25} в точках P_1 и P_2 от частей 2, 3, 4, и 5 источника тока.

Для 1-ой и 2-ой частей источника

$$I_{ij} = \frac{I_{01} R_p^{j-1} \Omega_{ij}}{\prod_{m=1}^j (R_p + \Omega_{im})}$$

$$I_{01} + I_{02} = I_0 \quad \frac{I_{01}}{I_{02}} = \frac{\Omega_{21}}{\Omega_{11}}$$

для частей 3, 4 и 5

$$I_{03} + I_{04} + I_{05} = I_0$$

$$\frac{I_{03}}{I_{04}} = \frac{\Omega_{41}}{\Omega_{31}} \quad \frac{I_{04}}{I_{05}} = \frac{\Omega_{51}}{\Omega_{41}};$$

I_0 — ток, подаваемый в рельсы; $I_{01}, I_{02}, \dots, I_{05}$ — токи, разветвляющиеся в частях 1, 2, 3, 4 и 5 источника;

$\Omega_{11}, \Omega_{21}, \Omega_{31}, \Omega_{41}, \Omega_{51}$ — общие сопротивления частей источника, определяющиеся по формуле

$$\Omega_{i1} = \frac{(\Omega_{j+1} + R_p) R_k}{\Omega_{j+1} + R_p + R_k},$$

полученной путем использования законов Кирхгофа [2].

Здесь R_p — сопротивление Δl элементарного отрезка рельсового пути;

R_k — сопротивление заземления Δl отрезка пути;

$$a = 2 \ln \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_p}{R_k}} + \sqrt{\frac{1}{4} \frac{R_p}{R_k} + 1} \right),$$

r_{1ij} и r_{2ij} — расстояние точек наблюдений P_1 и P_2 от j -го элементарного отрезка i -ой части источника;

r'_{1ij} и r'_{2ij} — расстояние точек наблюдений P_1 и P_2 от j' -го элементарного отрезка зеркального отображения i -ой части источника.

Пользуясь свойством суперпозиции потенциальных полей, получены формулы, выражающие потенциалы в точках P_1 и P_2 от «линейно-двухполюсного» разветвленного источника:

$$U_{P_1} = \sum_{i=1}^5 U_{1i} \quad (12); \quad U_{P_2} = \sum_{i=1}^5 U_{2i}. \quad (13)$$

Для более наглядного представления распределения поля БТ изучаемой модели с помощью формул (12) и (13) получены потенциалы при $I_0 = 10^2$ А. В результате построена карта потенциала (рис. 2).

Карта характеризуется изолиниями, огибающими полюса источника. Она резко отличается от поля прямого «линейно-двухполюсного» источника, расположенного в однородной среде (рис. 3а).

В первом случае поле характеризуется резкой асимметрией как по оси источника, так и по линии нулевого потенциала.

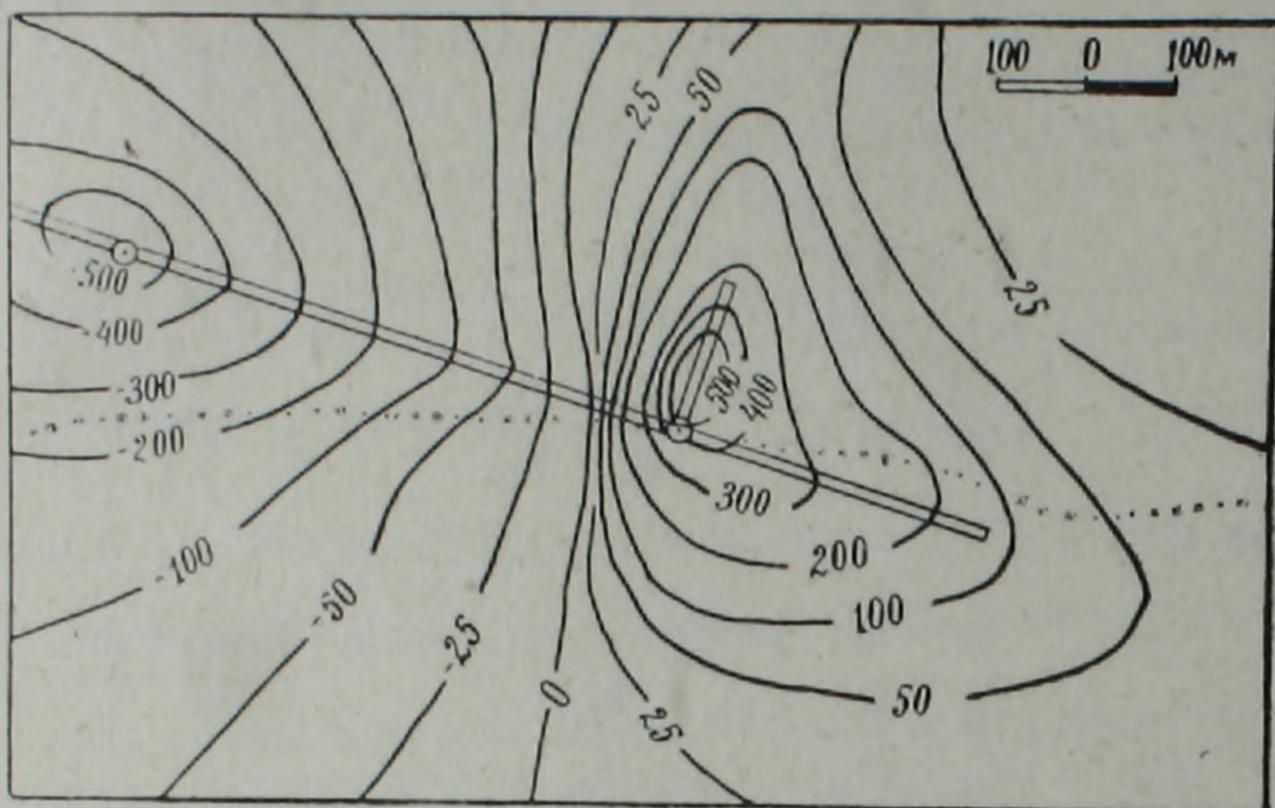


Рис. 2. Карта изолиний потенциала разветвленного источника блуждающих токов при наличии контакта двух пород.

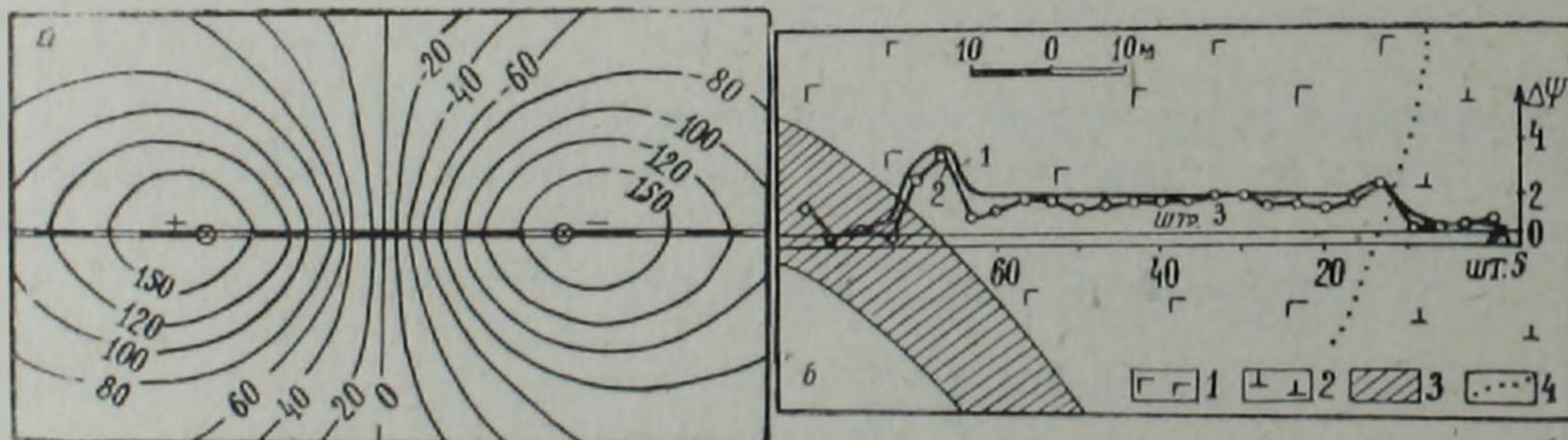


Рис. 3. Поле прямого источника блуждающих токов—а и б—кривые (теоретическая—1 и полевая—2) падения потенциала блуждающих токов при наличии контакта двух пород и хорошопроводящего рудного тела.

1—габбро; 2—перидотиты; 3—рудное тело, 4—контакт габбро и перидотитов.

Ввиду того, что отрицательный полюс источника прямой, расположен в порфиритах (далеко от контакта), поле с отрицательным потенциалом по своему характеру распределения сходно с нормальным.

Положительный полюс источника разветвленный, одной ветвью (квершлаг) расположен в порфиритах с $\rho = 10^3 \text{ Ом.м}$, другой ветвью— в кварцевых порфирах с $\rho = 10^2 \text{ Ом.м}$. В силу этого поле резко отличается от нормального. Изолинии более вытянуты вдоль квершлага.

В порфиридах наблюдается сгущение изолиний потенциала, т. е. повышение напряженности.

Полученная карта распределения потенциала может служить основой истолкования аномалий методом БТ на рудных месторождениях при наличии контакта двух пород.

На рис. 36 представлены кривые (теоретическая и экспериментальная) градиента потенциала блуждающих токов, нормированного по базисному пункту.

Выработка пройдена по габбро и перидотитам и пересекает зоны измененных пород. Удельное сопротивление габбро в 8,8 раз больше удельного сопротивления перидотитов и в 14 раз больше удельного сопротивления измененных пород.

Значения параметра $\Delta\psi$ в габбро варьируют в пределах 2÷3 единиц. В перидотитах наблюдается понижение значений изучаемого параметра. Над контактами пород и руд отмечаются скачки кривой.

Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 5. 03. 1984.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадалян С. В., Газарян Г. О., Гамоян В. Б. Подземная электроразведка на рудных месторождениях Армении. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1980.
2. Батыгин В. В., Топтыгин Н. Н. Сборник задач по электродинамике. Госиздфизматлит, М., 1962.
3. Березин Г. И., Семенов М. В. Об использовании полей блуждающих токов для электроразведки флангов разрабатываемых месторождений. Методика и техника разведки, № 86, Л., ОНТИ ВИТР, 1973.
4. Гамоян В. Б. Поле блуждающих токов при наличии плоской вертикальной границы раздела разнородных пород. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, № 3, 1979.
5. Гамоян В. Б. Поле блуждающих токов в анизотропной среде. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, № 5, 1981.
6. Гамоян В. Б. Потенциал поля блуждающих токов при наличии пластообразного тела. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, № 2, 1983.
7. Гамоян В. Б., Бадалян С. В., Лулечян Е. М. Электрическое поле однородно-заряженных перекрещенных пластин. В сб.: Подземная геофизика при поисках и разведке минерального сырья. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1983.
8. Геология Армянской ССР. Том 6. Металлические полезные ископаемые. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1967.
9. Заборовский А. И. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963.
10. Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Изд. ЛГУ, 1955.
11. Тетелбаум И. М. Электрическое моделирование. Физматгиз, 1959.
12. Якубовский Ю. В., Ляхов Л. Л. Электроразведка. М., Гостеолтехиздат, 1966.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XXXVIII, № 2, 75—78, 1985.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК:550.834.01

С. С. СИМОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРА СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОНАСЫЩЕННОЙ ПОРОДЫ

Лабораторное изучение сейсмоэлектрического эффекта на водонасыщенных горных породах при их деформировании и разрушении представляет значительный интерес. Оно в перспективе открывает воз-