

УДК 650.837.2

В. Б. Гамоян, А. В. Гсворкян

Естественное электрическое поле пластообразного рудного тела

(Представлено чл.-корр. АН Армении Г. И. Тер-Степаняном 8.V 1991)

В геофизической литературе естественное электрическое поле пластообразной залежи прямоугольной формы в грубом приближении представляется как поле системы двух равномерно заряженных электродов—линейного, расположенного в голове пласта и заряженного отрицательно, и пластообразного, расположенного в плоскости пласта и заряженного положительно (1). Для вертикального пласта прямоугольной формы выражение потенциала такой системы имеет вид

$$U = \frac{\rho_l}{4\pi} \left[ \int_{-l}^l \int_{-b}^b \frac{d\xi d\zeta}{V(x-\xi)^2 + y^2 + (z-\zeta)^2} - \int_{-l}^l \frac{d\xi}{V(x-\xi)^2 + y^2 + z^2} \right], \quad (1)$$

где  $\rho$ —удельное сопротивление среды;  $i$ —суммарный ток, протекающий через электроды;  $2l$ —длина пласта;  $2b$ —протяженность пласта на глубину;  $\xi$  и  $\zeta$ —текущие координаты по пласту.

Описанная модель не дает полного объяснения особенностей пространственного распределения параметров ЕЭП, полученных при натурных исследованиях, выполненных на многих сульфидных месторождениях (2, 3).

С целью уточнения модели ЕЭП пластообразного тела нами изучено распределение скачка потенциала ( $\Delta U$ ) на границе сульфидных тел типичных месторождений Армении. Путем статистического анализа полученных данных выведена формула изменения  $\Delta U$  по вертикальной оси (по горизонтальным направлениям  $\Delta U$  практически постоянный):

$$\frac{\partial}{\partial z} \Delta U = \begin{cases} -d_1 \sqrt{\frac{\xi}{1+\zeta^2}}, & \text{при } \zeta > 0 \\ d_2 \sqrt{\frac{\xi}{1+\zeta^2}}, & \text{при } \zeta < 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $d_1$  и  $d_2$ —постоянные, определяемые геоэлектрохимическими особенностями месторождения.

С целью теоретического исследования распределения ЕЭП пластообразного тела принята прямоугольная система координат XYZ. Ось Y направлена по простиранию рудного тела, Z—вертикально, центр координатной системы выбран на вертикальной оси симметрии рудного тела на уровне 1/4 высоты, считая с верхней границы его.

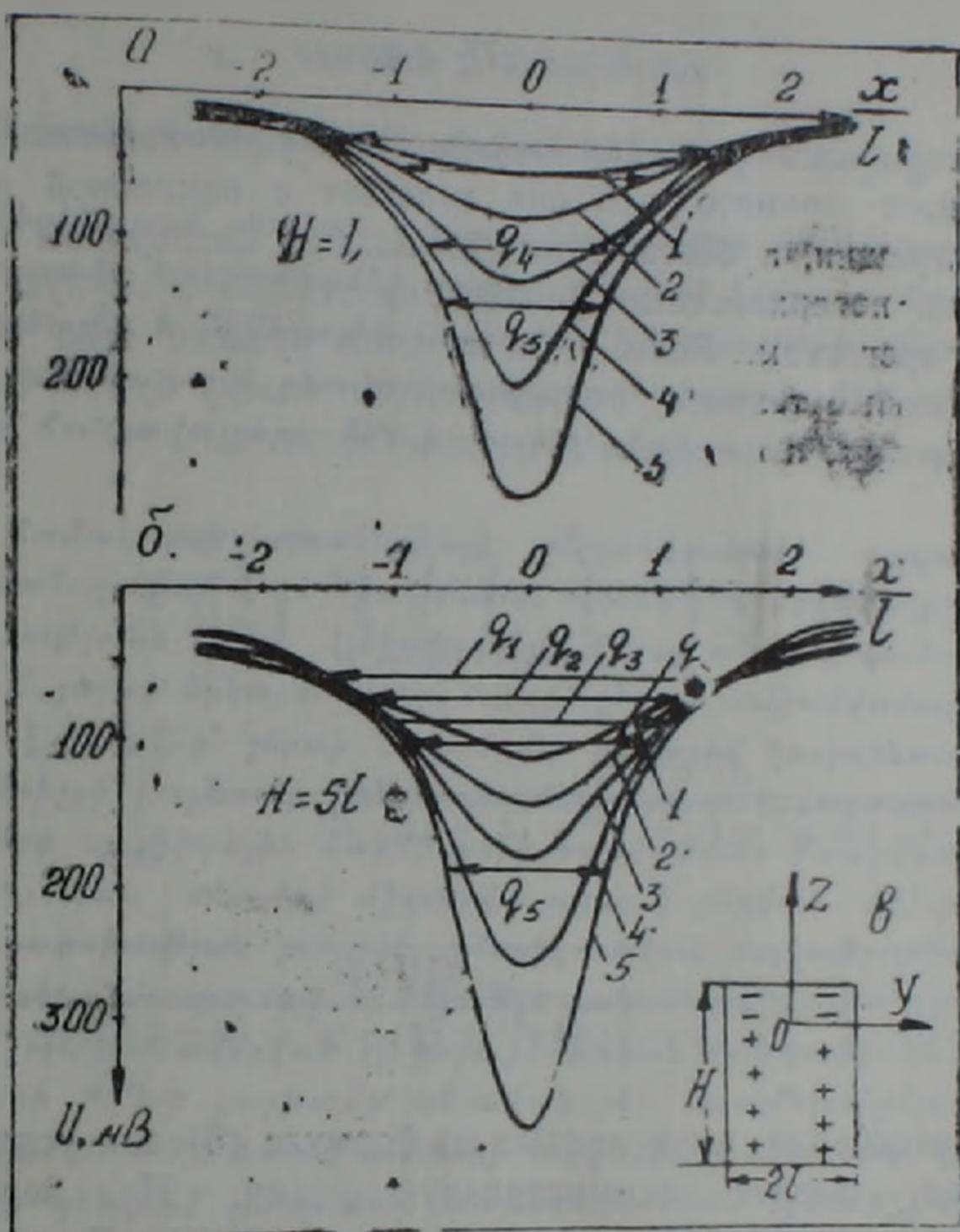
В случае вертикального залегания пласта прямоугольной формы (рисунок, в) выражение потенциала в полном пространстве будет иметь вид

$$U = \frac{\rho}{4\pi} \left[ d_2 \int_0^l \int_{-\zeta_2}^0 \frac{V\bar{\xi} d\eta d\zeta}{V(1-\zeta)^2 [x^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2]} - d_1 \int_{-l}^l \int_0^{\zeta_1} \frac{V\bar{\zeta} d\eta d\zeta}{V(1-\zeta)^2 [x^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2]} \right], \quad (3)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$ —высоты верхней и нижней частей рудного тела, служащих источниками отрицательного и положительного полей соответственно;  $\eta$ —текущая координата по контакту рудного тела по направлению оси Y.

По формулам (1) и (3) вычислены значения потенциала поля по профилям, перпендикулярным к плоскости модели на разных горизонтах. Профили выбраны на дневной поверхности, выше верхней границы модели на 10 м (1) и ниже верхней границы на 20, 55, 75 и 90 м (2, 3, 4 и 5 соответственно). При расчетах приняты:  $2l = 400$  м;  $\delta_1 + \delta_2 = 95$  м;  $d_1 = 12,56$ ;  $d_2 = 6,98$ ;  $\rho = 100$  Ом.м;  $\delta_1 = 25$  м;  $\delta_2 = 70$  м (4). В связи с вертикальным положением модели аномалии потенциала имеют симметричные ветви. На дневной поверхности (профиль 1) аномальное значение  $U_{0,ан} = -240$  мВ, ширина аномалии  $q_0 = 25$  м. На профиле 2  $U_{1,ан} = -150$  мВ, ширина аномалии  $q_1 = 31$  м. Расхождения между параметрами аномалий связаны с тем, что при известной модели отрицательный заряд сконцентрирован в линейный источник, расположенный у верхней границы модели, что противоречит теории геоэлектрохимических процессов на сульфидных месторождениях (5). При разработанной модели этот заряд распределен по поверхности верхней части модели, расположенной в зоне окисления, согласно формуле (2). Именно по этой же причине на втором горизонте (профиль 2) потенциал, вычисленный базовым способом, в центральной части профиля имеет положительный знак ( $U_{0,ан} = 80$  мВ), а на перифериях—отрицательный. Потенциал поля в зоне окисления, согласно разработанной модели, имеет отрицательный знак с  $U_{1,ан} = -100$  мВ, что соответствует теории окислительно-восстановительных процессов на границе сульфидных рудных тел (5). По профилям 3 и 4, следовательно и

между ними, в силу равномерного распределения положительного заряда по плоскости базовой модели, потенциал практически постоянен,  $U_{0, \text{ан}} = 130$  мВ. Для разработанной модели на профиле 3  $U_{1, \text{ан}} = 180$  мВ, на профиле 4 — 100 мВ. Ниже профиля 4 он падает быстрее, чем потенциал поля базовой модели.



Аномалии потенциала ЭЭП над моделями пластообразного рудного тела вертикального положения при  $h=l$  (а);  $h=5l$  (б); а — модель пластообразного тела. Оцифровка на графиках: 1—5 —  $h=6, 10, 15, 21$  и  $30$  м соответственно

С целью уточнения методики количественной интерпретации аномалий, полученных на дневной поверхности методом ЭЭП, проводили математические расчеты кривых потенциала по формуле (3), при разных значениях глубины залегания и размеров модели пластообразного тела.

На рисунке показаны кривые потенциала модели вертикально расположенного пластообразного рудного тела прямоугольной формы размерами  $l=30$  м,  $H=l$  и  $5l$ ,  $h=l \times (0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1)$ . Кривые имеют симметричные ветви. Амплитуда аномалии возрастает с увеличением вертикального размера тела и с уменьшением глубины его

залегания. Ширина аномалии мало зависит от размеров тела и строго определяется глубиной залегания его. В случае  $H \leq l$  длина хорды  $q$ , проведенной через середину минимума, почти не выходит из пределов  $(3 \div 4,54) \times h$  или  $h = K_q \times q \approx (0,22 \div 0,33) \times q$ . Взяв средний коэффициент, получим формулу определения глубины залегания рудного тела в случае  $H \leq l$ .

$$h \approx 0,275 \times q. \quad (4)$$

Для разработки методики определения угла падения пластообразной залежи принято, что она залегает в наклонной разломной зоне вдоль трещин, а обогащенные свободным кислородом и другими окислителями поверхностные флюиды проникают в горную среду по наклонным трещинам. Если угол падения рудного тела обозначить через  $\alpha$ , то новые текущие координаты по пласту будут:  $\xi' = \xi \cdot \cos \alpha$ ;  $\eta' = \eta$ ;  $\zeta' = \zeta \cdot \sin \alpha$ , а формула (3) примет вид:

$$U = \frac{P}{4\pi} \left[ d_2 \int_{-a \cos \alpha}^0 \int_{-l}^l \int_{-b \sin \alpha}^0 \sqrt{\frac{\xi}{1 + \xi^2}} \times \right. \\ \left. \times \frac{d\xi \cdot d\eta \cdot d\zeta}{V(x - \xi \cos \alpha)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta \sin \alpha)^2} - d_1 \int_{-a \cos \alpha}^0 \int_{-l}^l \int_0^{c_1 \sin \alpha} \times \right. \\ \left. \times V \frac{\xi}{1 + \xi^2} \times \frac{d\xi \cdot d\eta \cdot d\zeta}{V(x - \xi \cos \alpha)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta \sin \alpha)^2} \right]. \quad (5)$$

Значения потенциала, вычисленные по формуле (5) для условия полупространства, имеют асимметричную форму. Над верхней границей модели проявляется минимум потенциала. В направлении падения пласта, примерно над центром его, наблюдается максимум меньшей амплитуды по сравнению с минимумом. Отношение амплитуд максимума и минимума ( $K_a$ ) при  $\alpha = 15^\circ$  составляет 0,27. По ходу увеличения  $\alpha$   $K_a$  уменьшается согласно гиперболическому закону, при  $\alpha = 60^\circ$   $K_a = 0,03$  и значения потенциала близки по характеру соответствующим значениям для вертикального пласта.

Путем статистической обработки полученных данных выведена эмпирическая формула определения угла падения пластообразного тела в зависимости от  $K_a$ :

$$\alpha = 5 \arccos h K_a + 0,2. \quad (6)$$

Результаты проведенных исследований повышают точность интерпретации аномалий потенциала ЕЭП и геолого-экономическую эф-

фективность электроразведочных работ. Они позволяют определить глубину распространения оруденения и тем самым оценить перспективность рудных месторождений.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии Академии наук Армении

Վ. Ր. ԳԱՄՈՅԱՆ, Հ. Վ. ԴԵՎՈՐՅԱՆ

### Շերտաձև հանճամարմնի բնական էլեկտրական դաշտը

Ներկայացված է բնական էլեկտրական դաշտի (ԲԷԴ) աղբյուր հանդիսացող շերտաձև հանքամարմնի մոդելը դիտվում է որպես համասեռ լիցքավորված զծային և թգթեղային հակաբևեռ էլեկտրոդների սխեմա: Նշված մոդելը չի բացահայտում բնափորձարարական դիտարկումներով ստացված սուլֆիդային հանքավայրերի ԲԷԴ-ի տարածական բաշխման օրինաչափությունները:

Նշված համակարգի պոտենցիալը ուղղանկյունաձև ուղղաձիգ շերտի համար արտահայտվում է (1) բանաձևով, որտեղ  $\rho$ -ն միջավայրի տեսակարար դիմադրությունն է,  $i$ -ն՝ էլեկտրոդների միջով անցնող գումարային հոսանքը,  $2l$ -ը՝ շերտի երկարությունը,  $2b$ -ն՝ շերտի տարածվածությունը ըստ խորության,  $\xi$ -ը և  $\zeta$ -ը՝ շերտի նկատմամբ ընթացիկ կոորդինատները: Պոտենցիալի թռիչքի բաշխումը ( $\Delta U$ ) ուսումնասիրված է Հայաստանի տիպիկ հանքավայրերի սուլֆիդային մարմինների սահմանում: Ստացված տվյալների վիճակագրական անալիզի միջոցով դուրս է բերված  $\Delta U$ -ի ուղղաձիգ առանցքով փոփոխության բանաձևը (հորիզոնական ուղղություններով  $\Delta U$ -ն գործնականորեն հաստատվում է) (2): Այս բանաձևում  $d_1$ -ը և  $d_2$ -ը հաստատուններ են՝ պայմանավորված էլեկտրաքիմիական հատկություններով: Շերտաձև մարմնի ԲԷԴ-ի բաշխումը տեսականորեն ուսումնասիրելու նպատակով ընդունված է  $XYZ$  կոորդինատների ուղղաձիգ համակարգ: Շերտի ուղղաձիգ դիրքի դեպքում լիակատար տարածությունում պոտենցիալը արտահայտվում է (3) բանաձևով, որտեղ  $\delta_1$ -ը և  $\delta_2$ -ը հանքամարմնի վերևի և ներքևի մասերի բարձրություններն են, որոնք բացասական և դրական դաշտերի աղբյուրներ են,  $\eta$ -ն հանքամարմնի կոնտակտի նկատմամբ ընթացիկ կոորդինատն է  $Y$  առանցքի ուղղությամբ: (1) և (3) բանաձևերով հաշվված են դաշտի պոտենցիալի կորերը մոդելի հարթության նկատմամբ՝ տարբեր հորիզոններին ուղղահայաց պրոֆիլներով:

Մոդելի ճշգրտման, ինչպես նաև մետաղային հանքավայրերի հետախուզման ԲԷԴ-ի մեթոդի էֆեկտիվության բարձրացման նպատակով կատարված են բնափորձարարական և տեսական ուսումնասիրություններ: Բացված են հայտնաբերված հանդիսացող հանքամարմնի կոնտակտում պոտենցիալի թռիչքի փոփոխման օրենքները: Դուրս են բերված դաշտի տարածական բաշխումը բնութագրող մաթեմատիկական բանաձևեր, մշակված է հանքամարմնի տեղադրման էլեմենտների որոշման եղանակը: Ապացուցված է դրանց ճշգրտությունը հայտնի բանաձևերի և եղանակի նկատմամբ:

## ЛИТЕРАТУРА — ЧԻՈՇՆՈՒՄՆԵՐ

- 1 А. С. Семенов, Электроразведка методом естественного электрического поля, Недра, Л., 1968.
- 2 С. В. Бадалян, Г. О. Газарян, В. Б. Гамоян, Подземная электроразведка на рудных месторождениях Армении, Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1980.
- 3 Ю. С. Рысс, А. С. Тясто, Структура естественных электрических полей на рудных месторождениях и ее использование при поисках и разведке полезных ископаемых, вып. 2, ОНТИ—ВИЭМС, М., 1966.
- 4 В. Б. Гамоян, А. В. Геворкян, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, № 1, с. 68—71, (1990).
- 5 Г. Б. Свешников, Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях, Изд-во ЛГУ, 1967.