conducting bediform ore body. The results of laboratory investigations as $\Delta \Psi^*$ curves are brought, obtained over the low-ohm bediform bodies models, exposed in the underground openings, which serve as sources of WC, and some remote ones. The trustworthiness of obtained formulas and curves is verificated by natural-model investigations on the Meghradzor ore deposit. As a result a method of coducting bediform ore bodies occurence peculiarities and sizes determination is worked out

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Гамоян В. Б. Поле сложного источника блуждающих токов при налични пластообразного тела на примере Алавердского месторождения меди Армянской ССР — ДАН АрмССР, № 2, 1986, с. 76—79.
- 2. Гамоян В. Б. Способ геоэлектроразведки методом блуждающих токов А с СССР. № 1330597, 1987.

З Поляков А. С. Руководство по методу зарида Л Недра. 1969, 166 с. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII. Nr 2, 53-66

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XLII. No 2, 53-66

УДК 550.837

А К. МАГЕВОСЯН

ИЗУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И поляризуемости пород с использованием РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Приведены выражения параметров первичного и вторичного электрических полей, наблюдаемых на поверхности однородного анизотропного полупространства при возбуждении поля произвольной многоэлектродной системой питающих электродов и регистрации двумя взаимно перпендикулярными приемными линиями составляющих соответствующих полей Рассмотрены возможности некоторых групп многоэлектродных установок при исследованиях анизогропии удельного электрического сопротивления и поляризуемости геологических образовачий. Представлены необходимые зависимости параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости от электрических и пространственных характеристик анизотропной среды, используемые при интерпретации результатов измерений.

Рассмотрим особенности проявления параметров кажущегося сопротивления (КС) и кажущейся поляризуемости (КП) на поверхпости однородного анизотропного полупространства при возбуждении электрического поля произвольно расположенной системой питающих электродов и регистрации первичного и вторичного электрических полей двумя взаимно перпендикулярными приемпыми линиями (диполями). Для этого воспользуемся ортогональной системои координаг ХОУ, совмещенной с поверхностью раздела земля-воздух. Известно [1, 5]. что на поверхности однородного анизотропного полупространства потенциал первичного поля точечного источника тока определяется формулой:

$$(I = \frac{1}{2\pi} I_1 / 2\pi V \overline{A(x_0 - x_1)^2 + B(y_0 - y_1)^2 + 2C(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)},$$

где ?m = V ?n · 2 - среднеквадратичное удельное электрическое сопротивление анизотропной среды; ра и р. — удельное электрическое сопротивление вкрест и по простиранию плоскости анизотронии; / - сила тока; хо, уо и уу-координаты точки наблюдения и источника TOKA;

$$A = \sin^2\beta + \frac{2}{\mu^2}\cos^2\beta,$$
$$B = \cos^2\beta + \frac{1}{\mu}\sin^2\beta,$$
$$C = (\Lambda_{\mu}^2 - 1)\sin\beta\cos\beta.$$

9-угол, между линией простирания плоскости анизотропии и напра влением оси Y; $\alpha -$ угол падения плоскости анизотропии; $\lambda_{A} = \sqrt{\cos^{2}\alpha + t^{2}\sin^{2}\alpha} -$ кажущийся коэффициент анизотропии; $\lambda = \sqrt{\rho_{n}/\rho_{T}} -$ коэффициент анизотропии.

Тогда, потенциал первичного поля в точке наблюдений от *n* источников тока, расположенных на поверхности однородного анизотропного полупространства, с использованием принципа суперпозиции электрических полей, можно записать:

$$U = \frac{\rho_m}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{\sqrt{A(x_0 - x_i)^2 + B(y_0 - y_i)^2 + 2C(x_0 - x_i)(y_0 - y_i)}},$$
 (1)

где через і обозначены координаты и сила тока і-го источника тока. Продифференцировав выражение (1) по х и у, получим формулы для х-и у- составляющих напряженности первичного поля (E_0) в точке наблюдении:

$$F_{0i} = \frac{p_m}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{I[A(x_0 - x_i) + C(y_0 - y_i)]}{[A(x_0 - x_i)^2 + B(y_0 - y_i)^2 + 2C(x_0 - x_i)(y_0 - y_i)]^{3/2}}$$
(9)

(2)

Н

$$E_{0y} = \frac{p_m}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i [B(y_0 - y_i) + C(x_0 - x_i)]}{A(x_0 - x_i)^2 + E(y_0 - y_i)^2 + 2C(x_0 - x_i)(y_0 - y_i)]^{3/2}}$$

Аналогичными выражениями описываются и соответствующие составляющие напряженности поляризующего поля (*E*_{пр}):

$$E_{np,x} = \frac{p_m^*}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i [A^* (x_0 - x_i) + C^* (y_0 - y_i)]}{[A^* (x_0 - x_i)^2 + B^* (y_0 - y_i)^2 + 2C^* (x_0 - x_i) (y_0 - y_i)]^{3/2}}$$
(3)

Н

54

$$E_{npy} = \frac{p_m^n}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{I_i [B^*(y_0 - y_i) + C^*(x_0 - x_i)]}{[A^*(x_0 - x_i)^2 + B^*(y_0 - y_i)^2 + 2C^*(x_0 - x_i)(y_0 - y_i)]^{3/2}}$$

где $A^* = \sin^2 3 + i^{\circ 2} \cos^2 3$, $B^* = \cos^2 3 + i^{\circ 2} \sin^2 3$, $C^* = (i^{\circ 2} - 1) \sin \beta \cos 3$

$$\varphi_m = \varphi_m / \sqrt{(1 - \eta_n)(1 - \eta_n)}; \quad r_k = \sqrt{\cos^2 2 + r^{*2} \sin^2 2}; \quad r_* = r \sqrt{(1 - \eta_n)(1 - \eta_n)};$$

*ч*_п и *ч*_г поляризуемость вкрест и по простиранию плоскости анизотропии. При этом допускается, что апизотропии по удельному сопротивлению и поляризуемости пространственно совмещены. Здесь следует отметить, что при возможно *ч*_R <1, тогда при расчетах составляющих поляризующего поля вместо β необходимо брать β±90°, а величину заменить на обратную 1

Из выражений (2,3) можно получить x- и y- составляющие напряженности вторичного поля (E_{pn}):

$$E_{BRX} = E_{RDX} - E_{0X} \quad \text{M} \quad E_{BRY} = E_{RDY} - E_{0Y}. \tag{4}$$

Таким образом, полученные выражения напряженностей электрических полей на поверхности однородного анизотропного полупространства позволяют рассчитать параметры КС и КП при исследовании среды различными установками измерений.

Рассмотрим характер электрических полей на поверхности однородного анизотропного полупространства при работах методами сопротивлений и вызванной поляризации для двух случаев многоэлектроднои установки, состоящей из системы питающих заземлений, расположенных на прямой или двух прямых, пересекающихся в точке наблюдений (рис. 1).



Рис. І. Схемы многоэлектродных установок (систем возбуждения электрического поля с измерением двух взаимно перпендикулярных составляющих

электрических полей): а—питающие электроды расположены на прямой, проходящей через пункт наблюдении; б—питающие электроды расположены на двух прямых, пересекающихся в пункте наблюдений

1. Многоэлектродная установка состоит из n (A_1 , A_2 , ..., A_n) питающих электродов, находящихся на прямой, проходящей через точку наблюдений, в которой измеряют две взаимно перпендикулярные составляющие электрических полей приемными диполями, т. е. многоэлектродная установка является линейной (рис. 1а). Тогда заменив xи y в выражениях (2, 3, 4) на r и θ , получим x- и y- составляющие векторов напряженности первичного и вторичного полей в пункте наблюдений для рассматриваемой многоэлектродной установки в следующем виде:

$$E_{0x} = \frac{\rho_m (A\cos\theta + C\sin\theta)}{2\pi (A\cos^2\theta + B\sin^2\theta + 2C\sin\theta\cos\theta)^{3/2}} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{r_i^2}$$

$$E_{0y} = \frac{\rho_m (B\sin\theta + C\cos\theta)}{2\pi (A\cos^2\theta + B\sin^2\theta + 2C\sin\theta\cos\theta)^{3/2}} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{r_i^2}$$

$$E_{Bnx} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\rho_m^* (A^*\cos\theta + C^*\sin\theta)}{(A^*\cos^2\theta + B^*\sin^2\theta + 2C^*\sin\theta\cos\theta)^{3/2}} - \frac{\rho_m (A\cos\theta + C\sin\theta)}{(A\cos^2\theta + B\sin^2\theta + 2C\sin\theta\cos\theta)^{3/2}} \right] \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{r_i^2}$$

Н

(5)

(6)

$$E_{hny} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\rho_m^* (B^* \sin\theta + C^* \cos\theta)}{(A^* \cos^2\theta + B^* \sin^2\theta + 2C^* \sin\theta \cos^2\theta)^{3/2}} - \frac{\rho_m (B \sin\theta + C \cos\theta)}{(A \cos^2\theta + B \sin^2\theta + 2C \sin^2\theta \cos^2\theta)^{3/2}} \right] \sum_{i=1}^{2} \frac{I_i}{I_i}$$
- расстояние от соответствующеге читающего электрода и наблюдений: θ – угод между прямой, проходящей через питаю

здесь / — расстояние от соответствующего интающего электрода до пункта наблюдений; в — угол между прямой. проходящей через питаю-55 щие электроды, и осью *x /* — величина силы тока. пропускаемого через соответствующий электрод, причем берется со знаком плюс или минус в зависимости от направления тока и величины угла между вектором плотности тока *j* и осью *x*. Поскольку *x*- и *y*- составляющие вектора плозности тока в этом случае можно представить как

$$j_x = \frac{\cos\theta}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{J_i}{r_i^2} \quad H \quad j_y = \frac{\sin\theta}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{J_i}{r_i^2},$$

то значения кажущегося сопротивления р и кажущейся поляризуемости л с использованием выражений (5) и (6) определяются по формулам:

$$\bar{\rho} = \frac{E_0}{j} = \rho_m \left[\frac{(A\cos\theta + C\sin\theta)^2 + (B\sin\theta + C\cos\theta)^2}{(A\cos^2\theta + B\sin^2\theta + 2C\sin\theta\cos\theta)^3} \right]^{1/2}$$

И

$$\overline{\eta} = \frac{E_{nn}}{E_0} =$$

 $\frac{[A^{\circ}\cos\theta + C^{\circ}\sin\theta - Q(A\cos\theta + C\sin\theta)]^{2} + [B^{\circ}\sin\theta + C^{\circ}\cos\theta - Q(B\sin\theta + C\cos\theta)]^{2}}{[(A\cos\theta + C\sin\theta)^{2} + (B\sin\theta + C\cos\theta)^{2}]Q^{2}}$

г 1е

$$Q = \left(\frac{A^*\cos^2\theta + B^*\sin^2\theta + 2C^*\sin\theta\cos\theta}{A\cos^2\theta + B\sin^2\theta + 2C\sin\theta\cos\theta}\right)^{3/2} \frac{\rho_m}{\rho_m}$$

Для получения других параметров КС (9, 9,) и КП (7, 7,), определяемых при векторной съемке многоэлектродной установкой [3], можно воспользоваться величинами углов

$$a_{1} = \operatorname{arctg} \frac{B \sin \theta + C \cos \theta}{A \cos \theta + C \sin \theta} = \theta$$

Н

$$a_{2} = \arctan \frac{B^{*} \sin \theta + C^{*} \cos \theta - Q(B \sin \theta + C \cos \theta)}{A^{*} \cos \theta + C^{*} \sin \theta - Q(A \cos \theta + C \sin \theta)} - \arctan \frac{B \sin \theta + C \cos \theta}{A \cos \theta + C \sin \theta}$$

здесь — угол между векторами E_0 и *j*; α_2 — угол между векторами \bar{E}_{an} и \bar{E}_0 в пункте наблюдений.

Из вышепредставленных выражении можно сделать следующие выводы:

— линейная многоэлектродная усгановка не позволяет вращать направление возбуждаемого электрического поля (векторы /, E_0 или E_{sn}) в пункте наблюдений, расположенном на поверхности однородного анизотропного полупространства, путем подбора величии токов в питающих электродах:

— параметры КС и КП линейной многоэлектродной установки не зависят не только от количества и координат питающих электродов, но и от величин токов, пропускаемых через инх, и тем самым, рассматриваемые такие многоэлектродные установки при изучении однородной анизотропной среды являются эквивалентными. II. Многоэлектродная установка состоит из n (A_1 , A_2 , ..., A_m и B_{m+1} , B_{m+2} , ..., B_n) питающих электродов, расположенных на двух прямых, пересекающихся в точке наолюдений, в которой измеряют составляющие электрических полей двумя приемными диполями (рис. 16). В этом случае составляющие векторов электрических полей можно получить аналогичным образом, как и для линейной многоэлектродной установки, с использованием двух углов θ_1 и θ_2 , где θ_1 —угол меж-56 ау прямой, проходящей через питающие электроды 4 и осью x; θ_2 угол между прямой, проходящей через питающие электроды В и осью х.

Сперва рассмотрим частный случай, когда питающие электроды многоэлектродной установки расположены на двух взаимно перпендикулярных прямых, проходящих через точку наблюдений и параллельных осям координат, причем электроды с порядковыми номерами от 1 до *m* расположены вдоль осн x (0,=0), а от m+1 ло n - вдоль оси у (9=90°). Тогда выражения х и у- составляющих векторов ј. Е. Е. примут вид.

$$j_{x} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^{m} \frac{I_{i}}{(x_{0} - x_{i})^{2}} \quad \text{w} \quad j_{y}^{*} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=m+1}^{n} \frac{I_{i}}{(y_{0} - y_{i})^{2}}, \tag{7}$$

$$E_{0x} = \frac{p_m}{2\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{i=1}^m \frac{I_i}{(x_0 - x_i)^2} + \frac{C}{B\sqrt{B}} \sum_{i=m+1}^n \frac{I_i}{(y_0 - y_i)^2} \right]$$
(8)

гле

$$E_{0y} = \frac{\rho_m}{2\pi} \left[\frac{C}{A\sqrt{A}} \sum_{i=1}^m \frac{I_i}{(x_0 - x_i)^2} + \frac{1}{\sqrt{B}} \sum_{i=m+1}^n \frac{I_i}{(y_0 - y_i)^2} \right], \qquad .$$

$$E_{un,r} = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{r_m}{\sqrt{A^*}} - \frac{r_m}{\sqrt{A}} \right) \sum_{i=1}^{r} \frac{1}{(x_0 - x_i)^2} + \left(\frac{r_m}{B^* \sqrt{B^*}} - \frac{r_m}{B\sqrt{B}} \right) \sum_{i=m+1}^{r} \frac{1}{(y_0 - y_i)^2} \right]$$

$$H$$
(9)

$$E_{\text{BD}y} = \frac{1}{2\pi} \Big[\Big(\frac{\rho_m^* C^*}{A^* \sqrt{A^*}} - \frac{\rho_m C}{A\sqrt{A}} \Big) \sum_{i=1}^m \frac{I_i}{(x_0 - x_i)^2} + \Big(\frac{\rho_m^*}{\sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m}{\sqrt{B}} \Big) \sum_{i=m+1}^n \frac{I_i}{(y_0 - y_i)^2} \Big]$$

Представим рассматриваемую многоэлектродную установку через две, слагающие ее, многоэлектродные установки, и производя преобразования, с использованием выражений компонентов тензоров PHY [4], получим:

$$\rho_{xx} = \frac{\rho_m}{\sqrt{A}}, \quad \rho_{xy} = \frac{\rho_m C}{B\sqrt{B}}, \quad \rho_{yx} = \frac{\rho_m C}{A\sqrt{A}}, \quad \rho_{yy} = \frac{\rho_m}{\sqrt{B}}$$
(10
$$\eta_{txx} = \frac{R}{\sqrt{B}} \left(\frac{\rho_m}{\sqrt{A^*}} - \frac{\rho_m}{\sqrt{A}} \right) - \frac{CR}{A\sqrt{A}} \left(\frac{\rho_m^* C^*}{B^* \sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m C}{B\sqrt{B}} \right),$$
(10
$$\eta_{tyy} = \frac{R}{\sqrt{A}} \left(\frac{\rho_m^* C^*}{B^* \sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m C}{B\sqrt{B}} \right) - \frac{CR}{B\sqrt{B}} \left(\frac{\rho_m^*}{\sqrt{A^*}} - \frac{\rho_m}{\sqrt{A}} \right).$$
(11
$$\eta_{tyx} = \frac{R}{\sqrt{B}} \left(\frac{\rho_m^* C^*}{A^* \sqrt{A^*}} - \frac{\rho_m C}{A\sqrt{A}} \right) - \frac{CR}{A\sqrt{A}} \left(\frac{\rho_m^*}{\sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m}{\sqrt{B}} \right),$$
(11)
$$\eta_{tyy} = \frac{R}{\sqrt{A}} \left(\frac{\rho_m^* C^*}{\sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m C}{\sqrt{B}} \right) - \frac{CR}{B\sqrt{B}} \left(\frac{\rho_m^* C^*}{\sqrt{B^*}} - \frac{\rho_m C}{\sqrt{B}} \right),$$
(11)

m

Теперь рассмотрим более общий случай многоэлектродной устаповки, в которой электроды расположены на двух взаимно перпендикулярных прямых, не параллельных осям х и у. Для этого воспользуемся ортогональной системой координат ХОУ, полученной в результате поворота координатной системы ХОУ на угол 0 против часовой стрелки до совпадения с направлением одной из прямых (допус-

тим $\theta = \theta_1$). Тогла определение х- и у- составляющих векторов J. E_0 . Сводится к вышерассмотренному случаю (где $\theta_1 = 0^\circ$ н $\theta_2 = 90^\circ$) по выражениям (7, 8, 9), с использованием формул преобразования координат

 $x' = x\cos\theta + y\sin\theta$ is $y' = -x\sin\theta + y\cos\theta$,

при этом величина угла между линиен простирания плоскости анизотропии и осью y' берется равной $\beta - \theta$, что используется при вычислении коэффициентов A', $A^{*'}$, B', B', C', $C^{*'}$. Имея эти параметры, можно определить компоненты тензоров КС (p') и КП (η') в координатной системе X'OY' по выражениям (10, 11), а их преобразование в систему ХОУ осуществляется по формулам:

$$a_{xx} = [a'_{xx} + a_{yy} + (a_{xx} - a_{yy})\cos 2\theta - (a_{xy} + a_{yx})\sin 2\theta]/2,$$

$$a_{xy} = [a'_{xy} - a_{yx} + (a_{xy} + a'_{yx})\cos 2\theta + (a'_{xx} - a'_{yy})\sin 2\theta]/2,$$

$$a_{xy} = [-a_{ry} + a_{yx} + (a_{xy} + a_{yx})\cos 2\theta + (a'_{xx} - a'_{yy})\sin \theta]/2,$$

$$a_{yy} = [a_{xx} + a'_{yy} - (a'_{xx} - a'_{yy})\cos 2\theta + (a'_{xy} + a_{yx})\sin \theta]/2.$$

Злесь под а подрязумевается о или т.

Из приведенных математических выражений с учетом условий, при которых осуществляется вращение направления электрического поля в требуемой точке исследуемой геоэлектрической среды [2], можно заключить:

— многоэлектродная установка, у которой питающие электроды расположены на двух различных прямых, проходящих через точку наблюдений, позволяет вращать направление возбуждаемого электрического поля в этой точке путем пропускания тока требуемой величины и направления через произвольно взятые питающие электроды;

— параметры КС и КП при исследованиях однородной анизотропной среды не зависят от выбранной системы питающих электродов и способа их подключения к источнику гока (или нескольким источникам тока), т. е. такое расположение питающих электродов на поверхности рассматриваемой среды представляет собой множество эквивалентных систем возбуждения вращающегося электрического поля в пункте наблюдений.

В таблицах 1 и ² представлены значения параметров, характеризующих первичное и вторичное электрические поля на поверхности однородного анизотропного полупространства, при возбуждении электрического поля многоэлектродной установкой, питающие электроды которой расположены на двух взаимно перпендикулярных прямых ($\theta_1 = 0^\circ$ и $\theta_2 = 90^\circ$), пересекающихся в пункте наблюдений. Из приведенных результатов теоретических расчетов для различных значений β . легко заметить, что имея значения КС или КП для β в интервале от 0 до 45°, можно получить экстремальные значения и их орнентировку для любых других значений β путем использования соотношений:

$$\bar{a}_{ex}(\beta) = \bar{a}_{ex}(90 - \beta) = \bar{a}_{ex}(-\beta) = \bar{a}_{ex}(\beta - 90^{\circ}),$$

$$\begin{aligned} x_{ex}(\beta) &= 90 - z_{ex}(90^{\circ} - \beta) = -z_{ex}(-\beta) = 90^{\circ} + z_{ex}(\beta - 90^{\circ}), \\ a_{kex}(\beta) &= a_{kex}(90^{\circ} - \beta) = a_{kex}(\beta) = a_{kex}(\beta - 90^{\circ}), \\ z_{kex}(\beta) &= 90^{\circ} - z_{kex}(90^{\circ} - \beta) = -z_{kex}(-\beta) = 90^{\circ} + z_{kex}(\beta - 90^{\circ}), \\ a_{kex}(\beta) &= -a_{kex}(90^{\circ} - \beta) = -a_{kex}(-\beta) = a_{kex}(\beta - 90^{\circ}), \\ a_{kex}(\beta) &= -a_{kex}(90^{\circ} - \beta) = -a_{kex}(-\beta) = a_{kex}(\beta - 90^{\circ}), \\ a_{kex}(\beta) &= -a_{kex}(90^{\circ} - \beta) = 90^{\circ} - z_{kex}(-\beta) = z_{kex}(\beta - 90^{\circ}), \end{aligned}$$

58

- - -

где под а и а подразумевается соответственно р и φ (при изучении первичного поля) или и и и (при изучении вторичного поля); индексами ех обозначены максимальные или мнимальные значения соответствующего параметра; ех-означает, что максимальному значению соответствует минимальное, а минимальному-максимальное значение.

Таблица 1

Величины экстремальных значений кажущегося сопротивления и направления их ориентации для двух однородных анизотропных сред при различных значениях э

λĸ	β	P min	φ _{max}	max Pk min	Ÿk m. x	P. min	₩v max
	90*	1.732	0.00	1.731	0,000	0.366	45,000
	7 5°	1,000 1,891	22.26	1,000	23.00	-0.366 0.270	73,00
	60	1,891	32.59	1,473	37.55	0,400	82.55
	45	1,837 0,612	45.00	1.837	45.00°	0,612	90×00°
	30"	1,892	57,41	1.873	52.45	0,837	82.55
V 3	15°	0.655	67.76	0.636 1.865	62,00	-0,400 0,809	-73,00°
	0	0.812	90,00	0.785	90,0 0	-0.170 0.366	-15.00
		1,891	- 67.76	1.865	62,00	-0.300 0.270 -0.809	-17.00
	-30	1.8.2	-57,41	1,873	-52,45	0.400	- 7.45
	—45	1,837 0,612	-45.00°	1,837	-45.00	0,612	0.00
	60	1.892 0.655		1,873	37,55	0.837	7.45
	75	1,891 0,812	-22,25°	1,565	-23,00	0,809	17.00
	9 0°	3.464	0,00°	3.464	0,00	1.232	45.00
	75	5,025	11.61°	4.178	35.05	0,392	80,05
	60	3.155	23.64°	2,930 -0.002	38,60	0.623	83.60
	45°	2.509 0.09	45.00	2,50J 0,209	45,00	1,150	90.00
	:03	3,155 0,223	66.36	2.930 -0.002	51,40	-0.623	-83,00
y 12	15	5.025 U.331	78,39	4,178	59.00	-0.392	-45.00
	0	1,000	30,00	1.000		-1,232	
	-15	5.02>	-78.39	4.178	54.95	0.392	- 9.95
	-30	3,155 U,223	-66.36	2,930	-51.40	-2.309	- 6,10
	-45	2.509 0.209	-45.0	2,509	-45.00	-1.150	6.40
	60	1 3. 55	1	1 7.9.50)0,00	21033	0110

Теперь, проанализируем данные, приведенные в таблицах 1 и 2. При $\beta = 0^\circ$, когда питающие электроды многоэлектродной усгановки расположены на прямой, совпадающей с направлениями вдоль и поперек плоскости анизотропии, параметры кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости характеризуются выражениями: 59

$$\begin{split} \overline{\rho} = \sqrt{\rho_{xx}^2 \cos^2 \delta + \rho_{yy}^2 \sin^2 \delta}, \\ \rho_x = \rho_{xx} \cos^2 \delta + \rho_{yy} \sin^2 \delta, \\ \rho_v = (\rho_{xx} - \rho_{yy}) \sin^2 \cos^2 \delta \\ \mu \\ \overline{\eta} = \sqrt{\eta_{xx}^2 \cos^2 \delta_0 + \eta_{yy}^2 \sin^2 \delta_0}, \\ \eta_x = \eta_{xx} \cos^2 \delta_0 + \eta_{yy} \sin^2 \delta_0, \\ \eta_x = \eta_{xx} \cos^2 \delta_0 + \eta_{yy} \sin^2 \delta_0, \\ \eta_x = (\eta_{xx} - \eta_{yy}) \sin^2 \delta_0 \cos^2 \delta_0. \end{split}$$
rae

$$\begin{aligned} \rho_{xx} = \rho_m h_k, \quad \rho_{yy} = \rho_m \quad \mu \quad \eta_{xx} = \lambda_k h_k^* \sqrt{(1 - \eta_v)(1 - \eta_v)} - 1, \quad \eta_{yy} = -1/\sqrt{(1 - \eta_n)(1 - \eta_v)} - 1 - \kappa \text{ компоненты тензоров } \rho \quad \mu \quad \eta_v \text{ cootbetttbe here} \\ (cheayet otmetints, uto apythe компоненti эtux tehsopolis; \rho_{xy}, \rho_{vx}, \mu \\ \eta_{xy}, \eta_{vx} - \rho abhi hyno); \delta = \delta_0 - ytni mekay bektopamu плотносtu toka \\ \overline{j} = \mu anpa kehnoctu nepbiu horo nong \vec{E}_0 в пункте наблюдений и осью x , соотbetttbe here. Toraa, выражения, по которым определяются экстремальные значения парамеtpob KC и KII [4], примут вид:$$

$$\rho_{ex} = |(\rho_{xx} - \rho_{yy}) \pm (\rho_{xx} + \rho_{yy})|/2,$$

$$\rho_{ex} = |(\rho_{xx} - \rho_{yy}) \pm (\rho_{xx} - \rho_{yy})|/2,$$

THEA THEAT IN THE TYPE

$$\rho_{vex} = \pm (\rho_{xx} - \rho_{yy})/2$$

н

$$\overline{\gamma_{iex}} = \frac{|(\gamma_{ixx} - \gamma_{iyy}) \pm (\gamma_{ixx} + \eta_{yy})|/2,}{|\gamma_{ikex}} = \frac{|(\gamma_{ixx} + \gamma_{iyy}) \pm (\gamma_{ixx} - \eta_{yy})|/2,}{|\gamma_{ixx} - \gamma_{iyy}|/2.}$$

Таблица 2

Величны экстремяльных значений параме ров кажущейся поляризуемости и направления их ориен ации сля пяти однородных анизотропных сред с вертикальным полением плоскости анизотропии при различных значениях в

14	y _i ti Y _i ti	14	',inax	Timin	Ÿnur	ηk max	7.k a.in	φ _k max	¶≥ max	‰ min	φ Ψv max
1	0.28	45 30 15 0	27.27 25.14 22.85 20.28	4.55 2.80 1.36 4.17	45.00 56.66 68.76 90.00	27.27 26.01 22.75 20.28	- 4.55 - 2,90 1.26 4,17	45,00 53,00 65,17 90,00	15,91 15,96 12,15 8,06	-15,91 -12,98 -9,23 8,06	90,00
13	0.25	45 30 15 0	14.76 28.67 33.65 20.25	13.93 5.46 0.53	45.00 85.10 89.30 90.00	14.76 19.49 25.16 20.28	-13.93 -14.65 -9.01 4.17	45.00 55.92 60,29 90,00	14,34 28,42 31,55 8,05	-14.34 -5.71 -2.63 -8.06	90.00 -79.08° -74.71° -45.00
	0.01	30 15 0	63.73 53.4 39.89	23.17 20.86 18.34 20.28	45.00 43.38 - 38.85 - 0.00	64,23 61,94 51,03 38,89	23,17 19,07 15,90 20,28	-45.03° -35.01° -28.23° 0.00°	20,53 9,26 4,56 9,30	-20.53 -33.61 -20.58 -20.58 -9.30	0,00° 9,99° 16.77° 45,00'
-	0.28	45 30 15 0	19.57 41.59 75.13 2).28	7.23 3.04 0.7.3 4.17	45.00 - 68.75 79.61 90.00	7.23 17.49 38.14 21.28	-19.57 -27.43 -37.03 4.17	45,00 58,83 56,09 90,00	13,41 41,42 75,12 8,06		90,00 76,17* 78,91 45,00
VI	2 0.04 0.25	30 15 0-	78.28 94.30 106.90 38.89	33.71 25.76 15.44 23.28	-45.00 -45.55 -56.80	78,28 57,32 87,63 38,89	33.71 18.72 - 3.84 20.28	$ \begin{array}{r} -15.00 \\ -31.54 \\ -33.41 \\ 0.00 \end{array} $	22.29 6.09 1.16 9.30	-22,29 -62.51 -90.30 -9,30	0,00 13,45 11,59° 45,60
60)			,		•	*	1	1)

_ __

Из приведенных выражений следует, что при 2=90°, т. е. когда вектор / направлен вдоль плоскости анизотропии, р=р = независимо от величины угла и соответствует максимальному значению диаграмм этих параметров. При и=0, когда вектор / направлен поперек плоскости анизотропии, р=р=р // , что соответствует минимальному значению параметров и Отношение экстремальных значений (максимального к минимальному) параметров р и р равно 1/3 приведенного равенства следует, что с уменьшением угла а величины минимальных значений р. р. увеличиваются и при 2=0° (что соответствует горизонтальному простиранию плоскости анизотропии) равняются ?, т. е. прирявниваются к максимальному значению э их параметров. Если рассмотреть диаграммы рир то можно заметить. что днаграмма с охватывает днаграмму р. и соприкасается с ней при · соответствующем экстремальным значениям рассматриваемых параметров. Параметр принимает свои экстремальные значения, равные $\pm (\rho_m - \rho_m / h_k) / 2$ при $o = \pm 45^\circ$, а при o = 0 и 90 -o = 0.

Анизотропия поляризуемости в зависимости от соотношения величин поляризуемостей вдоль и поперек плоскости анизотропии может проявляться следующим образом.

1. Когда $\tau_{in} > \eta$. (из чего следует неравенство $\tau_{ixx} < \eta_{yy}$), то при $\gamma_0 = 90^\circ$, что соответствует случаю, когда направление вектора E_0 совпадает с простиранием плоскости анизотропни, параметры τ_i и τ_{ik} равны η_i , что соответствует максимальному значению этих параметров, которое не зависит от x и λ . При $\delta_0 = 0^\circ$, $\eta = \tau_{ik} = \tau_{i1x}$ эти параметры принимают свои минимальные значения, которые с уменьшением x увеличиваются от величины $\eta_z/(1-\eta_i)$ при $a = 90^\circ$ до $1/\lambda$ $(1-\tau_{in})(1-\tau_i)-1$ при a = 0.

2 Когда $\eta < \eta$, при котором справедливо неравенство $\eta_{xx} > \gamma_{iyy}$, параметры и γ_{ik} принимают свои минимальные значения при направлении вектора E_0 , совпадающем с направлением простирания плоскости анизотропии (т. с. при $\phi_0 = 90$), и равны γ_{iyy} , независимо от величин а и При $\phi_0 = 0$, $\eta = \eta$, что соответствует максимальным значениям этих параметров, которые с увеличением а увеличиваются от величины $1/\sqrt{(1-\gamma_n)(1-\eta_1)}-1$ (при $\alpha = 0$) до $\gamma_{iy}/(1-\gamma_{iz})$ (при $\alpha = 90$).

В этих двух рассмотренных случаях парамегр γ_{i} принимает свои экстремальные значения, равные $\pm (\gamma_{iri} - \gamma_{iyy})/2$ при $\alpha_0 = \pm 45^\circ$, а при $\beta_0 = 0^\circ$ и $90^\circ - \gamma_i = 0$.

Анализ проявления параметров КС (р, р,) и КП (л, л,) при 3 = 0 показывает на справедливость известного парадокса анизотропни удельного электрического сопротивления и поляризуемости, который наблюдается при изучении анизотропной среды линейными установ-

ками. Кроме этого, величины параметров КС и КП, наблюдаемых на поверхности однородного анизотропного полупространства при $\beta = 0^{\circ}$ и возбуждении электрического поля вдоль плоскости анизотропии, характеризуются только электрическими сройствами среды: $\rho_{n'} \rho_{x'}$ η_{n} , η_{x} и не зависят от величины угла падения плоскости анизотропии. При $\beta = 45^{\circ}$ параметры КС и КП представляются следующим образом:

$$\begin{split} \overline{\rho} &= \sqrt{\rho_{xx}^{2} + 4\rho_{xy}\rho_{xy}\sin\delta\cos\delta + \rho_{xy}^{2}}, \\ \rho_{x} &= \rho_{xx} + 2\rho_{xy}\sin\delta\cos\delta, \\ \rho_{x} &= \rho_{xy}(\sin^{2}\delta - \cos^{2}\delta) \end{split}$$

$$I = \sqrt{\eta_{xx}^{2} + 4\eta_{xx}\eta_{xy}\sin\delta_{0}\cos\delta_{0} + \eta_{xy}^{2}}, \\ \eta_{x} &= \eta_{xx} + 2\eta_{xy}\sin\delta_{0}\cos\delta_{0}, \\ \eta_{y} &= \eta_{xx} + 2\eta_{xy}\sin\delta_{0}\cos\delta_{0}, \\ \eta_{y} &= \eta_{xx}(\sin^{2}\delta_{0} - \cos^{2}\delta_{0}), \end{split}$$
Find $\rho_{xx} = \rho_{yy} = \sqrt{2}\rho_{yy} / \sqrt{1 + \gamma_{x}^{2}}, \quad \rho_{xy} = \rho_{yx} = \sqrt{2}(\lambda_{x}^{2} - 1)\rho_{yy} / (\sqrt{1 + \lambda_{x}^{2}})^{3}$

$$I = \eta_{xx} = \eta_{yy} = (\lambda_{x}^{2} + \lambda_{x}^{2}) q/2 - 1, \quad \eta_{xy} = \eta_{yx} = (\lambda_{x}^{2} - \lambda_{x}^{2})q/2, \end{split}$$

$$q = (\sqrt{1 + \iota_k^2})^3 / \iota_k^2 \sqrt{(1 - \eta_n)(1 - \eta_n)} (\sqrt{1 + \iota_k^2})^3.$$

С использованием выражений экстремальных значений р, р, р, и

$$\rho_{ex} = |\rho_{xx} \pm \rho_{xy}|, \quad \rho_{kex} = \rho_{xx} \pm \rho_{xy}, \quad \rho_{ex} = \pm \rho_{yy}$$

$$\gamma_{iex} = [\gamma_{ixx} \pm \gamma_{ixy}], \quad \gamma_{ikex} = \gamma_{ixx} \pm \gamma_{ixy}, \quad \gamma_{ivex} = \pm \gamma_{ixy},$$

при этом $\varphi_{ei} = \varphi_{kei} = \varphi_{ei} = \varphi_{kei} = \varphi_{kei} = \psi_{kei} = \psi_{kei$

Здесь (при β=45°) также рассмотрим два возможных случая проявления анизотропии полягизуемости.

1. Когда то при $\delta_0 = 45^\circ$, что соответствует случаю, когда направление \vec{E}_0 перпендикулярно к простиранию плоскости анизотропии и ориентировано вдоль оси с больщим значением поляризуемос

ти среды, параметр принимает свое максимальное значение, равное q-1. При $\sigma_0 = -45^\circ$, параметр $\eta_k = q-1$, что соответствует его минимальному значению. В огличие от η_{ik} . параметр η при этих направлениях E_0 может принимать как максимальное, так и минимальное значение, в зависимости от соотношения между величинамя $|\gamma_{ikmax}|$ и $|\eta_{kmin}|$.

2. Когда то при $v_0 = 45$ (т. е. вектор E_0 направлен перпендикулярно простиранию плоскости анизотропии и ориентирован вдоль оси с меньшим значением поляризуемости среды) параметры и да принимают свои минимальные значения, равные i^2q-1 , а при $\delta_0 = -45$ максимальные $-\eta = \tau = -1$.

При 0°<3<45 аналогичные выражения компонентов тензоров и п имеют более сложный вид, чем для двух вышерассмотренных значений β, и их вывод путем точных математических расчетов трудоемок и не целесообразен. Проследить изменение исслевуемых параметров среды в эгом интервале можно по табл. 1 и 2

В случае же, когда $\tau_{in} = \tau = \tau_{io}$, т. е. отсутствует анизотропия поляризуемости, то независимо от β и направления возбуждения электрического поля параметры η и η_k равны друг другу и приравниваются к величине поляризуемости среды — τ_{io} (1— τ_{io}), а η равен нулю.



Рис. 2. Теоретические кривые, используемые при интерпратации результатов измерений методом сопротивлений:

а зависимости отношения экстремальных значений р (ртв ртв) от угла ; 6-семенство кривых для определения AA пр известных значениях ртвах ртв и в -зависимость фтах от р; г-семейство кривых для определения A и а при известной величине одного из этих параметров и заданном значении AA.

Цифрами обозначены значения $\lambda_{k} 1 - \gamma 1.5$, $2 - \gamma 3$; $3 - \gamma 6$; $4 - \gamma 12$; $5 - \gamma 24$.

С использованием вышеприведенных выражений получены зависимости, необходимые при интерпретации результатов исследований методом сопротивлений (рис. 2). На рис. 2а представлены зависимости отношения максимального к минимальному значению полного кажущегося сопротивления (Ртах/9min) от направления простирания плоскости анизотропни (в) для различных значений кажущегося коэффициента анизотропии и Характерной особенностью этих кривых является изменение их вида в зависимости от величины и. Однако, независимо от при β=0 и 90° величина отношения логарифмов величин равна к и равна единице, а при в=45°-равна двум. Приведенные на рис. 26 кривые ?max/?...in для различных / позволяют по величине отношения экстремальных злачений ? и ориентировке Флак днаграммы кажущегося сопротивления, полученной по результатам измерении первичного поля, определить Установив величину и использовав зависимость, представлениую на рис. 2а, можно получить направление простирания плоскости анизотропии. Приведенная на рис. 2в зависимость Эпах от в отображает отклонение экстремальных значений диаграмм с в зависимости от величины в. Сравнивая ее с прямой, соединяющей значения при $\beta = 6$ и 90°, можно заключить, что орнентировка диаграмм совпадает с направлением анизотропии при угле в, равном 0, 45, 90° для любых значений им. В остальных же случаях наблюдается смещение орнентировки экстремальных значений от направления простирания плоскости анизотропии, величина ко-

торого существенно зависит от величниы кажущегося коэффициента анизотропии.

Известно, что с помощью поверхностных электрометрических наблюдений (когда питающие и приемные электроды установок измерений расположены на дневной поверхьости), зная величину , невозможно однозначно определить коэффициент анизотропии ^ и угол падения плоскости анизотропии ^a, поскольку изменение угла ^a, при соответствующем изменении коэффициента анизотропии может привести к аналогичной структуре наблюдаемых на поверхности электрических полей, и тем самым, к идентичным диаграммам КС. Приведенные на рис. 2г кривые позволяют при известной величине ^λ или ^a и заданном значении ^г определить величину другого неизвестного параметра.

Степень влияния величины на параметры вторичного поля при одинаковых поляризующихся свойствах среды наглядно отражают диаграммы 7, 7, 8, 7, построенные в зависимости от направления E_0 . для трех различных значений (рис. 3). Так, при 1, - V 3, параметр 7



Рис. 3. Длаграммы параметров кажущейся поляризуемссти в зависимости от на п равления вектора первичного поля E₀, при з =45° и дл=0,28, д=0,04. а−1, 6−дк: в−дл. Цифрамя обозначены значения λ_A: 1 – 1, 2 – √3; 3 – √12. 64 почти не зависит от направления первичного поля, а при $l_A = 1$ и $l_A = 1$

Институт геофизики и инженерной сейсмологии Академии наук Арм ССР

Поступила 18 Х 1988

Ա. Կ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

մութուցիներ էն մութակուններուններներն որուններներ աներուններ առանները անեններ անդանների ներաններներ անդանունները առաններին աներուն անդանները անդանները ան

Ամփոփում

Բերված են առաջնային և երկրորդային էլ-կտրական դաշտերի պարամետրերի արտահայտությունները, որոնք դիտվում են համասեռ անիզոտրոսյ

4 μυωտարածուβյան մակերևույβին, կամայական բազմաէլեկտրոդ համակարգի կողմից դաշտի գրգոման և համապատասխան դաշտերի բաղադրիչների՝ երկու փոխուղղա այաց ընդունող գծերով գրանցման դեպքում։ Դիտարկված է ամասեռ անիզոտրոպ կիսատարածուβյան մակերևույβին էլեկտրական դաշտի բնույβը դիմադրուβյան և հարուցված բևեռացման մեβոդներով բազմաէլեկտրոդ տեղակայանքով աշխատելիս, երբ սնող հողակցման համակարգերր տեղադրված են մեկ կամ երկու ուղիղների վրա, որոնք հատվում են դիտարկման կետում։

Հաշվի առնելով այն պայմանները, որոնց դեպքում հետազոտվող երկրա-Լլեկտրական միջավայրի պահանջվող կետում իրականացվում է էլեկտրական դաշտի ուղղության պտտումը, բերված մաթեմատիկական արտահայտություններից կարելի է հետևյալ եզրակացություններն անել.

ստ) գծային բազմաէլեկտրոդ տեղակայանքը Թույլ չի տալիս սնուցող էլեկտրոդներում Հոսանքների մեծուԹյան ընտրուԹյան ճանապարհով գրգովող էլեկտրական դաշտի ուղղուԹյունը պտտել դիտարկման կետում, որը գտնվում է համասեռ անիզչարոպ կիսատարածուԹյան մակերևույԹին,

p) գծային բազմաէլնկտրող տեղակայանքի թժվացող դիմադրության և թժվացող բևեռացման պարամետրերը կախված չեն ոչ միայն սնուցող էլեկտրոդների կոորդինատներից ու քանակից այլև նրանցով անցնող հոսանքների մեծությունից, հետևաբար այդպիսի դիտարկվող բազմաէլեկտրող տեղակայանքները համասեռ անիզոտրոպ միջավայրը ուսումնասիրելիս համազոր են ամարվում,

q) բազմակլեկտրոդ տեղակայունքը, որի սնուցող կլեկտրոդները տեղա-

դըրված են դիտարկման կետով անցնող երկու տարթեր ուղիղների վրա, Թույլ է տալիս այդ կետում պտտել գրգոող էլեկտրական դաշտի ուղղությունը պաւանջվող մեծության և ուղղության Հոսանք բաց Թողնելով կամայականորեն վերցրած սնուցող էլեկտրոդներով, դ) նշված տեղակայանքի դեպքում Թվացող դիմադրության ու Թվացող բևեռացման պարամետրերը անիզոտրոպ միջավայրի ուսումնասիրությունների ժամանակ կախված չեն սնուցող էլեկտրոդների ընտրված Համակարգից ու 65 Տոսանքի աղբյուրին միացնելու ձևից, այսինքն դիտարկվող միջավայրի մա. կերևույթին սնուցող էլեկտրողների նման տեղադրումն իրևնից ներկայացնում է պտտվող էլեկտրական դաշտի գրգուման համակարգերի համաղոր բազմության դիտարկման կետում։

Ներկայացված են չափումների տրդյունքների մեկնաբանման ընթացքում օգտագործվող թվացող դիմադրություն և բևեռացման պարամետրերեի կա խումներն անիզոտրոպ միջավայրի էլեկտրական և տարածական բնութագրե. րից։

A K. MATEVOSIAN

THE ROCKS ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND POLARIZABILITY ANISOTROPY INVESTIGATION BY APPLYING THE ELECTRICAL FIELDS EXCITATION AND REGISTRATION VARIOUS SYSTEMS

Abstract

The primary and secondary electrrical fields parameters expressions are brought, observed on the surface of a homogenous anisotropic halfspace during excitation the field by an arbitrary multielectrode system of feedind electrodes and registration of corresponding fields components by two reciprocally perpendicular receiving lines.

The possibilities of some groups of multielectrode installations are considered during the geological formations specific electrical resistance and polarizability anisotropy investigations. The apparent resistance and apparent polarizability parameters necessary dependences on the anisotropic medium electrical and spatial characteristics, applying during the measurements interpretation, are brought.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бурсиан В Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Л.: Недра, 1972. 268 с.
- 2 Матевосян А. К Вращение направления возбуждаемого электрического поля многоэлектродной установкой — Известия АН АрмССР, Науки о Земле. 1988 XLI, № 2, с 56—63.
- 3 Матевосян А. К. Способ интерпретации результатов измерений методами сопротивлений и вызванной поляризации — Известия АН АрмССР, Науки о Земле. 1988, XLI, № 3, с. 46—55.
- 4 Матевосян А. К. О системе параметров кажущегося сопротивления и кажущейсч полярнзуемости Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI. № 4, с. 58—64.
 5 Семенов А. С., Вешев А. В., Фокин А. Ф. Поле точечного источника в анизотропном полупространстве. Ученые записки ЈИУ Вопросы геофизики. 1958, вып. 10, с. 90—114.