

В. Б. ГАМОЯН

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АНОМАЛИЙ ОТНОШЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ РАЗНОСТЕЙ ПОТЕНЦИАЛОВ ПЛАСТООБРАЗНЫМИ РУДНЫМИ ТЕЛАМИ ПРИ РАБОТЕ МЕТОДОМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Путем статистического анализа данных теоретических и лабораторных исследований получены математические формулы и кривые зависимости характера аномалий отношения приращений разностей потенциалов ( $\Delta\psi^*$ ) поля блуждающих токов (БТ) от элементов залегания и мощности проводящего пластообразного рудного тела. Представляются результаты лабораторных исследований в виде кривых  $\Delta\psi^*$  полученных над моделями низкоомных пластообразных тел, обнажающихся в подземных горных выработках, служащих источником БТ и удаленных от них. Достоверность полученных формул и кривых проверена натурно-модельными исследованиями на разведанно-эталонном участке Меградзорского месторождения. В результате разработана методика определения элементов залегания и размеров проводящих пластообразных тел методом БТ.

Для разработки методики интерпретации аномалий  $\Delta\psi^*$  проведены лабораторные и натурно-модельные исследования и математические расчеты по известным формулам, выражающим поле сложного источника БТ при наличии пластообразного тела [1].

Лабораторные работы выполняли в объемном электролитическом баке с удельным сопротивлением раствора  $\rho_0 = 60 \text{ Ом.м.}$  Моделью источника БТ служила цепь последовательно соединенных омических сопротивлений, моделью рудного тела — графитовые параллелепипеды с размерами  $45 \times 45 \times 4 \text{ см}$  и с удельными сопротивлениями  $\rho_1 = 0,5, 1,77, \text{ и } 12 \text{ Ом.м.}$

Изучены изменения амплитуды ( $A$ ) и характера аномалий в зависимости от элементов залегания (глубины залегания —  $h$  и угла падения —  $\alpha$ ) пластообразного рудного тела.

Параллелепипеды располагались в центре бака по его длине на глубинах  $h = 2 \times (1 \div 12) \text{ см}$ , горизонтально, вертикально и наклонно с  $\alpha = 15^\circ \times (0 \div 6)$ . Модель источника БТ (прямой откаточной выработки) располагалась перпендикулярно к простиранию модели рудного тела, горизонтально, на уровне средней точки размера последней по падению (45 см). Наблюдения выполнялись на поверхности раствора, по центральному профилю, перпендикулярному простиранию параллелепипеда при нахождении его в контакте с источником поля и удалении от него. Измеряли падение напряжения простой взаимно перпендикулярной схемой [2] с последующим вычислением параметра  $\Delta\psi^*$  по формуле

$$\Delta\psi^* = \frac{\partial \Delta U_{pi}}{\partial \Delta U_k} \times \frac{K_k}{K_{pi}},$$

где  $\partial \Delta U_{pi}$  и  $\partial \Delta U_k$  — приращения разностей потенциалов поля БТ на  $i$ -м полевом и базисном установках;  $K_k$  и  $K_{pi}$  — коэффициенты учета положения и геометрической формы источника БТ.

На рис. 1 представлены результаты лабораторных измерений и теоретических расчетов параметра  $\Delta\psi^*$  над заряженными и удаленными от источника моделями рудного тела с разными элементами залегания, при  $\rho = 33,7$ . Над моделью вертикального заряженного рудного тела при  $h = 0$  кривая  $\Delta\psi^*$  (кривая 1 на рис. 1, а) характеризуется двумя экстремумами разного знака с равными амплитудами. При  $\alpha = 45^\circ$  (кривая 2) положительная аномалия, полученная в сторону падения модели рудного тела, шире и имеет меньшую амплитуду, чем отрицательная аномалия, полученная в сторону восстания ее. При горизонтальном положении модели максимум кривой (кривая 3) в сторону простирания ее исчезает, минимум становится острее.

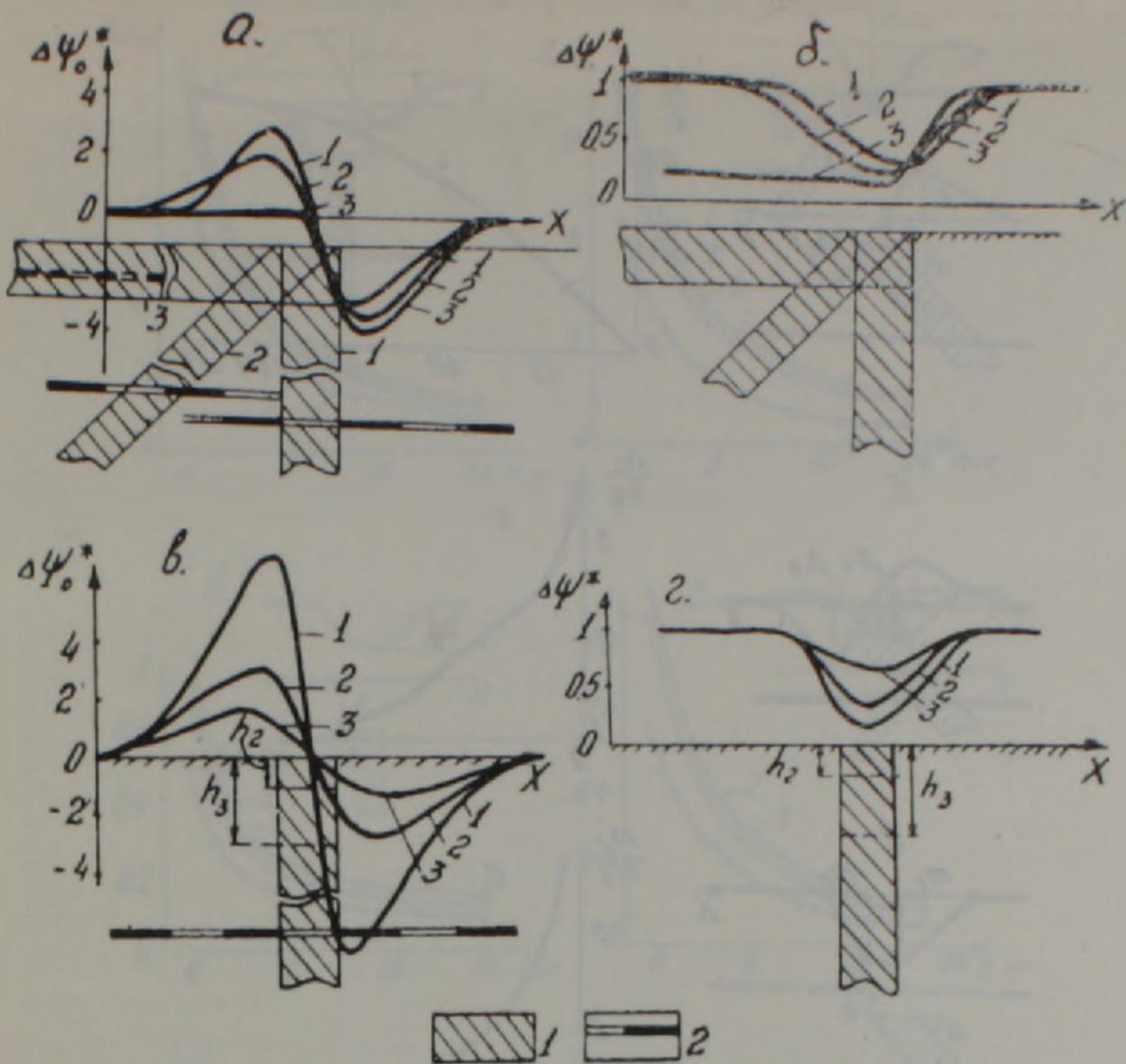


Рис. 1. Результаты лабораторно-модельных исследований по изучению зависимости аномалий  $\Delta\psi^*$  от элементов залегания пластообразного хорошо проводящего тела: а, б—аномалии над заряженными БТ и удаленными от источника телами при: 1— $\alpha=90^\circ$ ; 2— $45^\circ$ ; 3— $0^\circ$ . Во всех трех случаях  $h=0$ ; в, г—то же при: 1— $h=0$ ; 2—5 см; 3—15 см,  $\alpha=90^\circ$ .

1—графитовый образец; 2—отрезок модели источника БТ.

Над удаленной от источника модели аномалия  $\Delta\psi^*$  проявляется в виде минимума (рис. 1, б). При вертикальном положении модели (кривая 1) амплитуда аномалии составляет 0,7 ед. Над наклонной моделью  $\alpha=45^\circ$  (кривая 2) аномалия становится асимметричной: левая ветвь аномалии, в сторону падения модели, менее крутая, чем при  $\alpha=90^\circ$ ; правая ветвь—в сторону восхождения модели, круче. Амплитуда аномалии при этом составляет 0,8 ед.

При горизонтальном положении модели (кривая 3) левая ветвь аномалии перемещается в бесконечность и, наблюдается лишь правая ветвь, что представляет собой аномалию над контактом пород с разными удельными сопротивлениями.

Над моделью обнаженного вертикально падающего заряженного тела (кривая 1 на рис. 1, в) амплитуда экстремумов, полученных над ее контактами, составляет 9,5 ед. По ходу увеличения глубины залегания модели амплитуда аномалии уменьшается, а абсциссы экстремумов удаляются друг от друга примерно на  $0,5h$ . При  $h=5$  м (кривая 2) амплитуда экстремумов  $A=2,5$  ед., расстояние между абсциссами экстремумов  $2\Delta=h+5$  м, при  $h=10$  м (кривая 3)— $A=0,8$  ед.,  $2\Delta=h+10$  м.

Над обнаженным вертикально падающим удаленным от источника БТ пластообразным телом (кривая 1 на рис. 1, г) амплитуда аномалии составляет 0,85 ед., а точки перегиба получены над контактами неоднородности. По ходу увеличения глубины залегания пласта амплитуда аномалии уменьшается, ширина ее увеличивается: при  $h=5$  м,

$A=0,65$  ед., расстояние между точками перегиба  $m=h+5$  м (кривая 2); при  $h=15$  м,  $A=0,45$  ед.,  $m=h+14$  м (кривая 3).

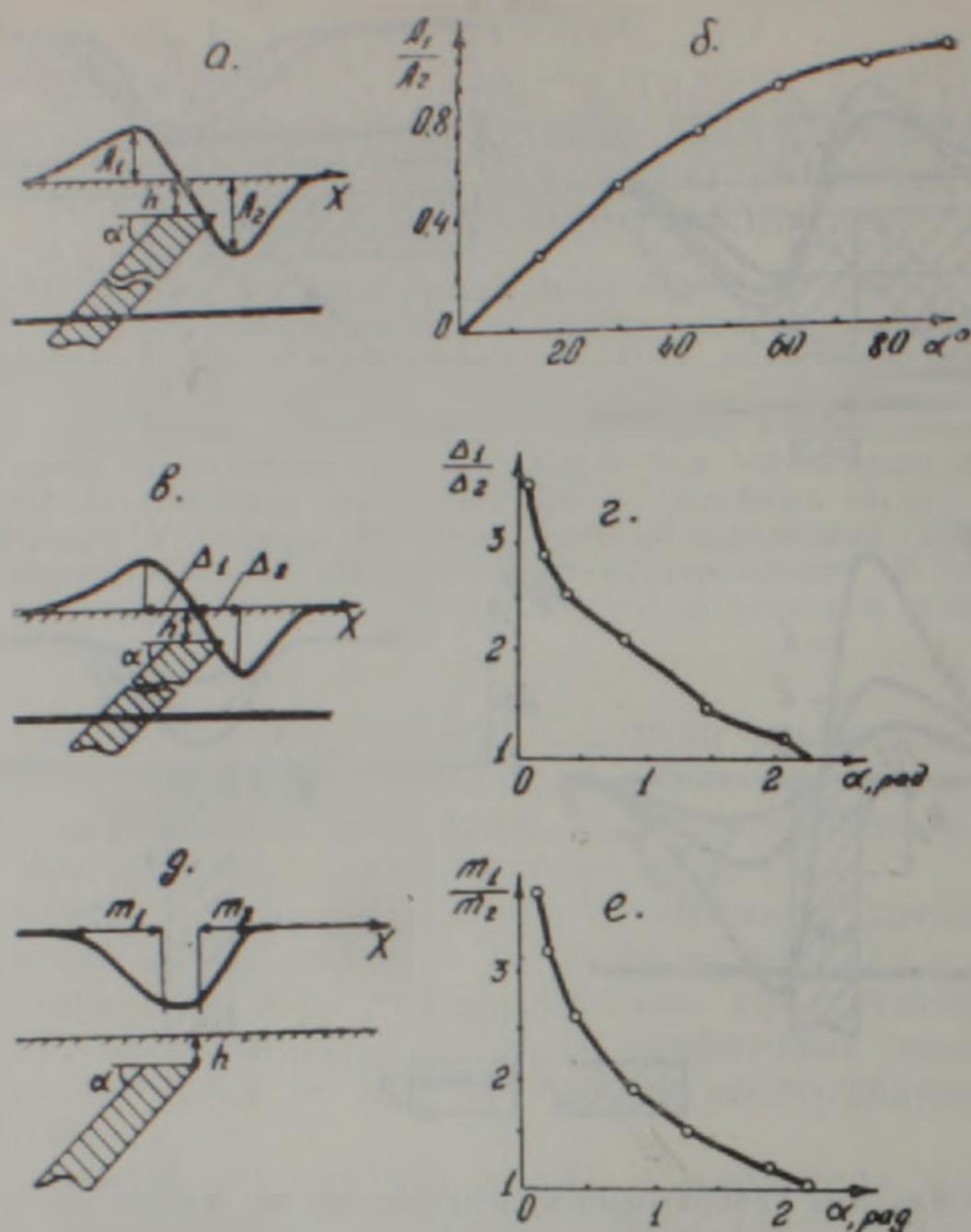


Рис. 2. Аномалии  $\Delta\psi^*$  и кривые зависимости ее параметров от угла падения рудного тела а а, б, в, г — аномалии  $\Delta\psi^*$  и кривые зависимости  $A_1, A_2$  и  $\Delta_1, \Delta_2$  от  $\alpha$  при заряженном БГ телом; д, е — аномалия  $\Delta\psi^*$  и кривая зависимости  $m_1, m_2$  от  $\alpha$  при удаленном от источника БГ теле.

В результате проведенных исследований составлены кривые зависимости: 1) отношения амплитуды максимума к амплитуде минимума ( $A_1/A_2$ ) аномалий  $\Delta\psi^*$  от  $\alpha$  заряженного БГ пластообразного рудного тела (рис. 2, а и б); 2) отношения расстояний между абсциссами экстремумов и точкой перехода кривой через нуль ( $\Delta_1/\Delta_2$ ) от  $\alpha$  (рис. 2 в и г); 3) отношения абсцисс прямолинейных частей аномалии  $\Delta\psi^*$  ( $m_1/m_2$ ) от  $\alpha$  при удаленном от источника поля тела (рис. 2, д и е); 4) общей амплитуды ( $A_{\text{общ.}}=A_1+A_2$ ) от  $h$  над заряженным, вертикально расположенным (рис. 3, а) и над наклонным ( $\alpha=45^\circ$ ) (рис. 3, б) телами при  $\mu=5$  (кривая 1), 33,7 (кривая 2) и 120 (кривая 3); 5) амплитуды аномалии ( $A$ ) над удаленным от источника вертикально расположенным (рис. 3, в) и над наклонным ( $\alpha=45^\circ$ ) (рис. 3, г) телами при  $\mu=5, 33,7, 120$ .

Путем статистического анализа полученных данных выведены эмпирические формулы перечисленных зависимостей:

$$A_1/A_2 = \sin \alpha; \quad (1)$$

$$\Delta_1/\Delta_2 = 1,31 + \text{ch}(\alpha + 0,447); \quad (2)$$

$$m_1/m_2 = 1,38 + \text{ch}(\alpha + 0,311); \quad (3)$$

$$A_{\text{общ.}} = \frac{(11,1 + 4,98 \times \text{th} 0,0758 \mu) \times \text{cth} 0,667}{1,44 + 0,441 h}; \quad (4)$$

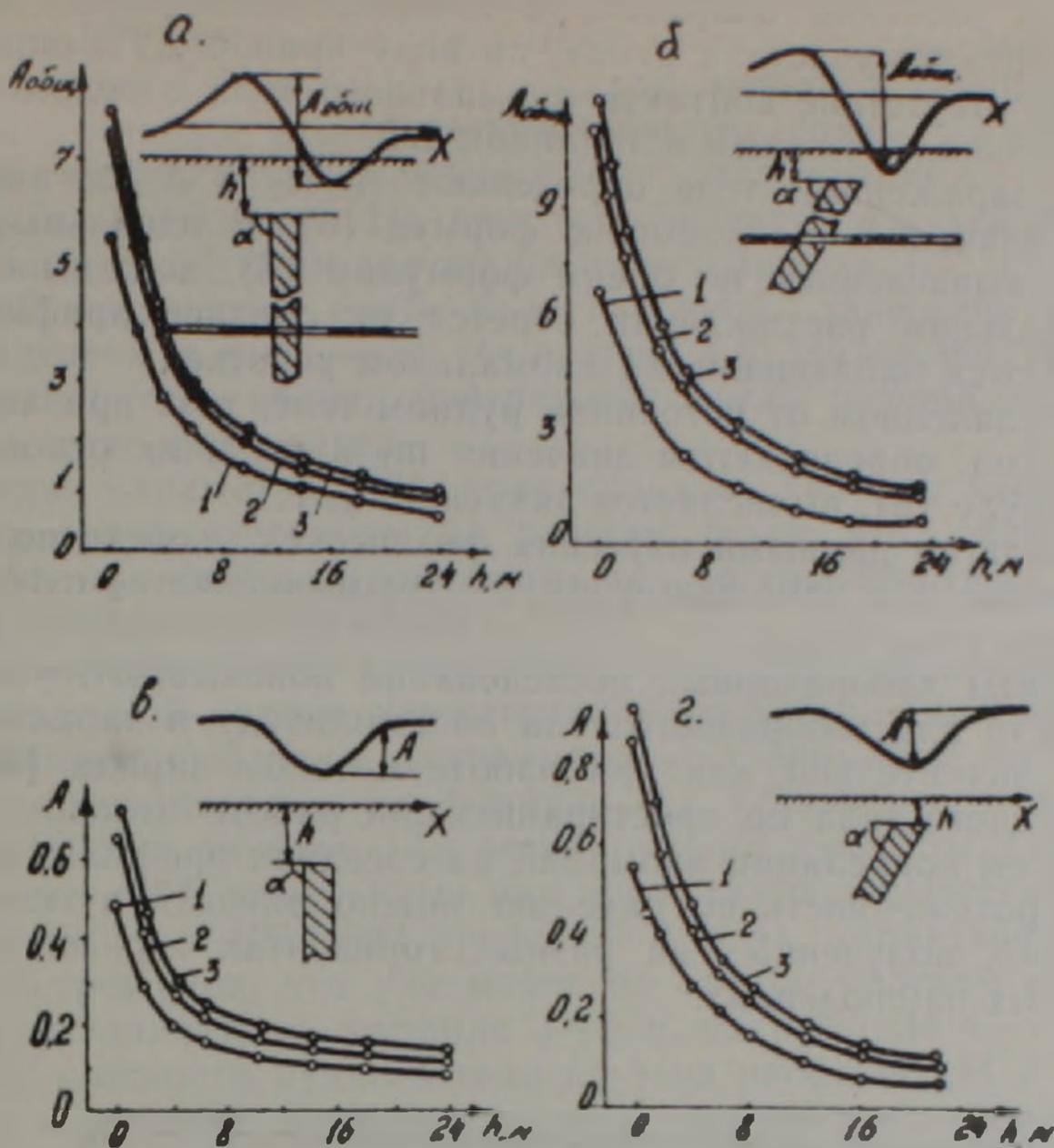


Рис. 3. Аномалии  $\Delta U^*$  и кривые зависимости ее амплитуды от глубины залегания рудного тела  $h$ : а, б—кривые зависимости  $A_{\text{общ.}}$  от  $h$ , при вертикальном и наклонном заряженных БТ телах; в, г—кривые зависимости  $A$  от  $h$  при вертикальном и наклонном удаленных от источника БТ телах. Нумерация на графиках: 1— $\mu=5$ ; 2—33,7; 3—120.

$$A = \frac{(2,22 + 0,989 \times \text{th } 0,0811 \mu) \times \text{cth } 0,517}{0,95 + 0,78 h} \quad (5)$$

Среднее вквadraticское отклонение лабораторных и теоретических данных, вычисленных по формулам (1) ÷ (5), составляет для кривых, представленных на рис. 1, б—1,5°; 1, г—0,06 радиан; 1, е—0,07 радиан; 2, а—0,6 м; 2, б—0,6 м; 2, в—0,7 м, 2, г—0,65 м.

Из выражений (1) ÷ (5) переписаны формулы относительно  $\alpha$  и  $h$ . Для заряженного пластообразного тела:

$$\alpha_{\text{з.}} = \arcsin (A_1/A_2), \quad \text{или} \quad \alpha_{\text{з.}} = \arccos (\Delta_1/\Delta_2 - 1,31) - 0,447; \quad (6)$$

$$h_{\text{з.}} = \frac{(11,1 + 4,98 \times \text{th } 0,0758 \mu) \times \text{cth } 0,667}{0,441 A_{\text{общ.}}} - 1,44. \quad (7)$$

Для удаленного от источника тела:

$$x_{\text{уд.}} = [\text{arch } (m_1/m_2 - 1,38) - 0,911] \times 57; \quad (8)$$

$$h_{\text{уд.}} = \frac{(2,22 + 0,989 \times \text{th } 0,0811 \mu) \times \text{cth } 0,517}{0,78 A} - 6,95. \quad (9)$$

Методика определения элементов залегания пластообразных рудных тел при помощи формул (6) ÷ (9) заключается в следующем.

1. После внесения поправок за влияние искажающих факторов, имеющих место на участках работ, по виду кривой  $\Delta\psi^*$  определяется наличие или отсутствие контакта аномального тела с рельефом транспортной штольни, служащей источником БТ.

2. При заряженном теле определяют  $\Lambda_1/\Lambda_2$  и  $\Delta_1/\Delta_2$  аномалии и вычисляют значения  $\alpha$  с помощью формул (6). В идеальных случаях значения  $\alpha$ , вычисленные по обеим формулам (6), должны совпадать. При значительном расхождении берется их среднее арифметическое или повторяются наблюдения на аномальном участке.

3. При удаленном от источника рудном теле, т. е. при аномалии в виде минимума, определяются значения  $m_1$  и  $m_2$  и их отношение, затем, по формуле (8), вычисляется значение  $\alpha_{уд.}$ .

4. Располагая данными изучения физических свойств пород и руд и имея значение  $\alpha$ , с помощью формулы (9) вычисляется глубина залегания рудного тела ( $h_{уд.}$ ).

Результаты лабораторных исследований показывают, что влияние протяженности пластообразного тела на амплитуду и характер аномалии не так значительно, как при работе методом заряда [3]. Протяженность рудного тела по простиранию при работе методом БТ определяется путем корреляции аномалий на соседних профилях изучаемой площади. Протяженность по падению можно оценить путем корреляции аномалий, полученных на разных горизонтах горных выработок при подземных наблюдениях.

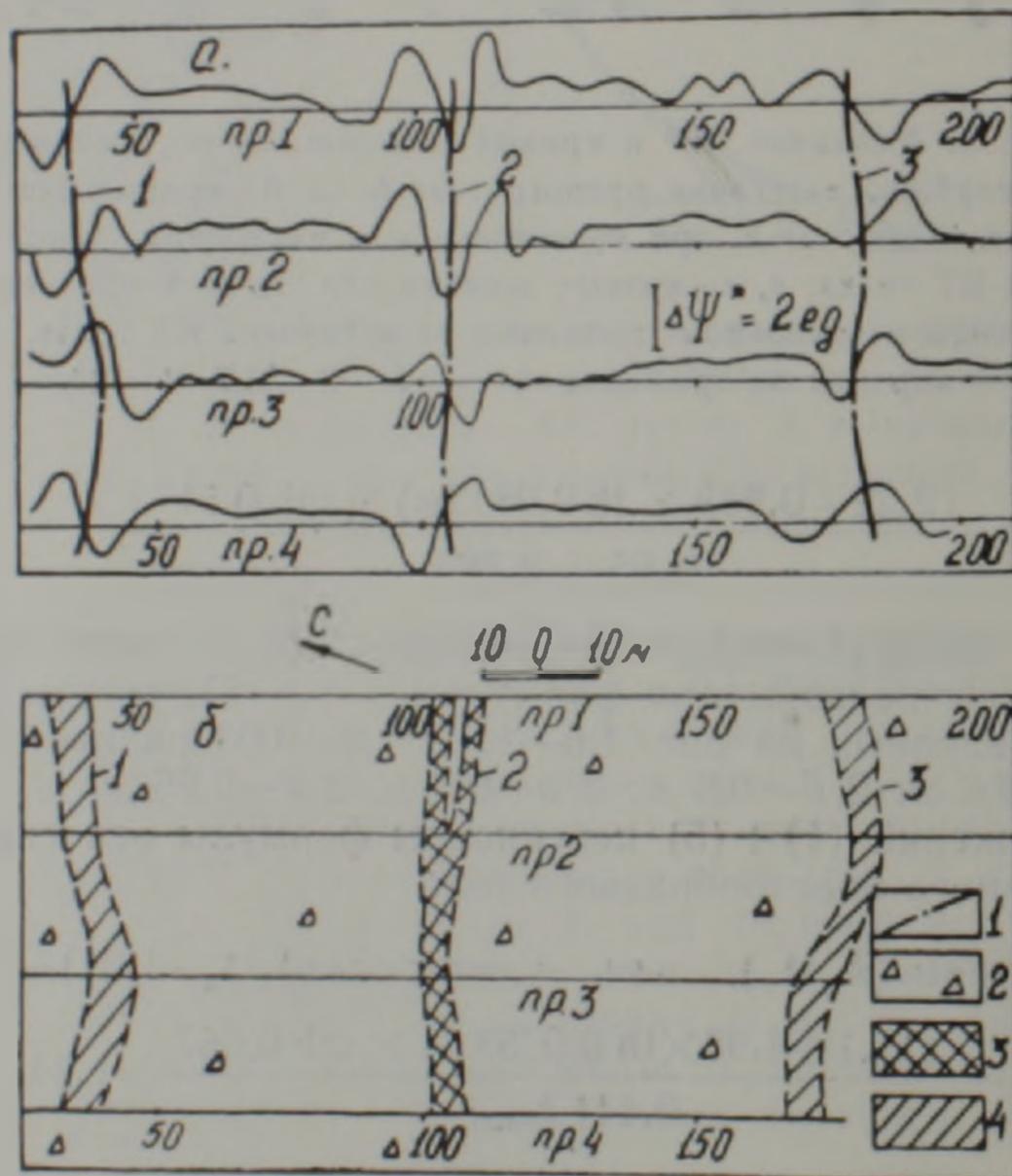


Рис. 4. Результаты натурно-модельных исследований методом БТ, полученных на разведанно-эталонном участке Меградзорского месторождения: а — карта кривых  $\Delta\psi^*$ ; б — геологическая карта участка работ, дополненная данными метода БТ. 1 — ось аномальных зон  $\Delta\psi^*$ ; 2 — сиенит-диориты; 3 — известное рудное тело; 4 — выявленные методом БТ рудные тела.

На рис. 4 представлены результаты натурно-модельных исследований методом БТ, выполненных на центральном участке Меградзорского месторождения. Исследуемый участок заполнен сиенит-диоритами со средним удельным электрическим сопротивлением  $\rho_{cp} = 1600 \text{ Ом.м.}$  покрытыми аллювиально-делювиальными отложениями мощностью  $4 \div 8 \text{ м}$  и с  $\rho_{cp} = 80 \text{ Ом.м.}$  На центральной части изучаемой площади, подземными выработками, служащими источником БТ, вскрыто рудное тело 2 мощностью  $d = 5 \div 8 \text{ м}$ , глубиной залегания  $h = 4 \div 6 \text{ м}$ , крутым падением и с  $\rho_{cp} = 55 \text{ Ом.м}$  (рис. 4,б) На профилях 1 и 2 известное рудное тело вблизи поверхности земли разветвлено на 2 параллельные друг другу ветви.

Аномалии параметра  $\Delta\Psi^*$ , полученные на участке, характеризуются двумя и тремя экстремумами разного знака, что свидетельствует о прослеживании хорошо проводящих тел до транспортных выработок, служащих источником изучаемого поля.

Три экстремума проявляются аномалии на профилях 1 и 2 над разветвленной частью известного рудного тела (интервал пк 98-115). Отношение амплитуд экстремумов этих аномалий составляет 0,7. Расчетами, выполненными по формуле (6), установлено: угол падения ветвей  $\alpha = 60^\circ$ ; на глубине 13 м ветви рудного тела стыкуются.

Аномалии  $\Delta\Psi^*$ , полученные над продолжением известного рудного тела (интервал пк 100-100 профилей 3 и 4), характеризуются симметрией экстремумов, что указывает на крутое падение его. Ширина аномалий составляет: на профиле 3—6 м, на профиле 4—7 м. Она соответствует мощности рудного тела на этих профилях (4 и 5,5 м).

Кроме описанной, аномальные зоны получены и в левой и правой частях площади работ (аномальные зоны 1 и 3). В результате интерпретации установлено, что они связаны с неизвестными рудными телами мощностью  $5 \div 8 \text{ м}$ , глубиной залегания— $7 \div 8 \text{ м}$  и с юго-восточным падением. Угол падения 1-го тела составляет  $80^\circ$ , 2-го тела— $68^\circ$ .

Исходя из представленных данных натурно-модельных исследований, можно заключить о применимости разработанной методики количественной интерпретации аномалий, полученных методом БТ над хорошо проводящими пластообразными рудными телами.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 28.IV. 1988

Վ. Բ. ԳԱՄՈՏԱՆ

ԹԱՓԱՌՈՂ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԱՇԽԱՏԵԼԻՍ ՇԵՐՏԱԶԵՎ ՀԱՆՔԱՅԻՆ  
ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՃԵՐԻ  
ՀԱՐԱՔԵՐՈՒԹՅԱՆ ԱՆՈՄԱԼԻԱՆԵՐԻ ՄԵԿՆԱԲԱՆՈՒՄԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Էլեկտրահետախուզության թափառող հոսանքների մեթոդով աշխատելիս որպես առավել ունիվերսալ և դաշտը բնորոշող պարամետր ընտրված է պոտենցիալների տարբերությունների աճերի հարաբերությունը ( $\Delta\Psi^*$ ): Մետաղային օգտակար հանածոների շերտաձև հանքային մարմինների վրա նշված պարամետրի անոմալիաների երկրաբանական մեկնաբանման մեթոդիկա մշակելու նպատակով կատարված են տնտեսական, լաբորատոր և բնափորձարարական աշխատանքներ:

Լաբորատոր ուսումնասիրություններով որոշված է անոմալիայի ամպլիտուդի և նրա բնույթի կախվածությունը շերտաձև հանքային մարմինների տեղադրման տարրերից (տեղադրման խորությունից՝  $h$  և անկման անկյունից՝

α)։ Մտացված են համապատասխան մաթեմատիկական բանաձևեր և կորեր, որոնք բնութագրում են անոմալիայի ամպլիտուդի, նրա լայնության և ասիմետրիայի կախվածությունը  $h$  և  $\alpha$  պարամետրերից։ Խնդիրը լուծված է երկու դեպքերի համար՝ երբ հանքային մարմինները ձգվում են միևեկ թափառող հոսանքի աղբյուր ծառայող տրանսպորտային լեռնային փորվածքը (լիցքավորված հանքային մարմնի դեպք) և երբ հանքամարմինները շեն հատվում վերջինիս կողմից։

Լաբորատոր ուսումնասիրությունների վիճակագրական մշակման ճանապարհով դուրս են բերված  $h$  և  $\alpha$  պարամետրերը որոշող մաթեմատիկական բանաձևեր։

Մշակված է նշված պարամետրի որոշման հետևյալ մեթոդիկան։

1. Դիտված արժեքներում խառնարող պորժոնների ազդեցության հաշվառումից հետո  $\Delta V^*$  պարամետրի կորի տեսքից որոշվում է հանքային մարմնի և թափառող հոսանքների աղբյուրի կոնտակտի առկայությունը։ Նշված կոնտակտի առկայության դեպքում  $\Delta V^*$  անոմալիան բնութագրվում է տարանիշ էքստրեմալ արժեքներով, նրա բացակայության դեպքում՝ մինիմումով։

2. Լիցքավորված մարմնի դեպքում որոշվում են տարանիշ էքստրեմումների ամպլիտուդները ( $A_1$  և  $A_2$ ), շրջման կետերի հեռավորությունները ( $m_1$  և  $m_2$ ) և (6) բանաձևի օգնությամբ հաշվվում է  $\alpha$  պարամետրը։

3. Դաշտի աղբյուրից հեռու գտնվող հանքային մարմնի դեպքում հաշվվում է անոմալիայի էքստրեմալ արժեքներից շրջման կետերի միջև եղած հեռավորությունների աբսցիսները ( $\Delta_1$  և  $\Delta_2$ ) և (8) բանաձևի օգնությամբ հաշվվում է  $\alpha$ -ն։

4. Ունենալով  $\alpha$ -ն և շրջապատող ապարների և հանքանյութերի տեսակարար դիմադրությունների հարաբերությունը՝  $\mu$ -ն, (7) և (9) բանաձևերի օգնությամբ հաշվվում են հանքային մարմնի տեղակայման խորությունը։

5. Հանքային մարմնի շափերն ըստ տարածման և անկման որոշվում են հարևան երթուղիների վրա և ստորգետնյա լեռնային փորվածքներում սուսացված անոմալիաների համահարաբերակցման ճանապարհով։

Տեսական և լաբորատոր ուսումնասիրությունների ճշգրտությունը և կիրառելիությունը գնահատելու համար բնափորձարարական աշխատանքներ են կատարված Մելրաձորի հանքավայրի կենտրոնական տեղամասում. հայտնաբերված են երկու անոմալ գոտիներ, հետախույզված է հանձնարարված հանքային մարմինը։

Ստացված անոմալիաները քանակական մեկնաբանման են ենթարկվել հողվածում ներկայացված բանաձևերի օգնությամբ։ Որոշված է հանքային մարմինների տեղադրման տարրերը, հզորությունը, գնահատված են նրանց շափերն ըստ տարածման։

V. B. GAMOVAN

THE POTENTIAL DIFFERENTS RATIO ANOMALIES  
INTERPRETATION OVER THE BEDIFORM ORE BODIES DURING  
APPLYING THE WANDERING CURRENTS METHOD

Abstract

By means of theoretical and laboratory investigations data statistic analysis there are obtained mathematical formulas and curves of dependence of the potential difference increments ratio anomalies  $\Delta V^*$  of the wandering currents (WC) field on the occurrence and thickness of a

conducting bediform ore body. The results of laboratory investigations as  $\Delta W^*$  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 verified by natural-model investigations on the Meghradzor ore deposit. As a result a method of conducting bediform ore bodies occurrence peculiarities and sizes determination is worked out

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гамоян В. Б. Поле сложного источника блуждающих токов при наличии пластообразного тела на примере Алавердского месторождения меди Армянской ССР.—ДАН АрмССР, № 2, 1986, с. 76—79.
2. Гамоян В. Б. Способ геозеэктроразведки методом блуждающих токов. А. с. СССР, № 1330597, 1987.
3. Поляков А. С. Руководство по методу заряда. Л.: Недра, 1969, 166 с. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 2, 53—66

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

УДК 550.837

А. К. МАТЕВОСЯН

## 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 анизотропии удельного электрического сопротивления и поляризуемости геологических образований. 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 поверхности однородного анизотропного полупространства при возбуждении электрического поля произвольно расположенной системой питающих электродов и регистрации первичного и вторичного электрических полей двумя взаимно перпендикулярными приемными линиями (диполями). Для этого воспользуемся ортогональной системой координат  $XOY$ , совмещенной с поверхностью раздела земля-воздух. Известно [1, 5], что на поверхности однородного анизотропного полупространства потенциал первичного поля точечного источника тока определяется формулой:

$$U = \rho_m I_1 / 2\pi \sqrt{A(x_0 - x_1)^2 + B(y_0 - y_1)^2 + 2C(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)},$$

где  $\rho_m = \sqrt{\rho_n \cdot \rho_z}$  — среднеквадратичное удельное электрическое сопротивление анизотропной среды;  $\rho_n$  и  $\rho_z$  — удельное электрическое сопротивление вкост и по простиранию плоскости анизотропии;  $I_1$  — сила тока;  $x_0, y_0$  и  $x_1, y_1$  — координаты точки наблюдения и источника тока;