

КРИТЕРИЙ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

© 2001 г. А. К. Матевосян

Институт геологических наук НАН РА
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения,
E-mail: ramelk@sci.am
Поступила в редакцию 16.05 2000 г.

С целью повышения эффективности площадных электроразведочных исследований методами сопротивлений и вызванной поляризации с использованием различных систем возбуждения электрического поля необходима разработка соответствующих критериев измерений. В данной статье предлагается один из них – критерий достоверности измерений. На примерах различных однородных анизотропных сред показана эффективность исследований с учетом этого критерия.

Особое значение при выполнении площадных электроразведочных исследований различными (особенно многоэлектродными) системами возбуждения электрического поля методами сопротивлений и вызванной поляризации приобретает определение эффективности (оптимальности) используемой (выбранной) установки измерений [2,3,8]. С этой целью необходима разработка соответствующих количественных показателей, к которым следует отнести критерии достоверности и разрешающей способности электроразведочных измерений. В данной статье рассмотрим критерий достоверности измерений.

При электроразведочных работах критерием достоверности измерений в данном пункте наблюдений может являться величина (интенсивность) искусственно возбуждаемого электрического поля (вектора плотности тока j в методе сопротивлений и вектора напряженности первичного поля E – в методе вызванной поляризации). На рис.1 изображены карты распределения вектора плотности тока j при использовании простых (состоящих из двух питающих электродов) установок. Для многоэлектродных установок, состоящих из единственной системы возбуждения вращающегося электрического поля в рассматриваемом пункте наблюдений [5], этим критерием является минимальная величина j в этом пункте наблюдений. В частности, определение минимальной величины j в требуемом пункте при системе возбуждения ABC, состоящей из трех питающих электродов (A, B и C), осуществляется по формуле

$$j_{min}^{ABC} = 2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)/d}, \quad (1)$$

где $a=|j^{AB}|$, $b=|j^{AC}|$, $c=|j^{BC}|$ – величины (модули) векторов плотности тока в данном пункте наблюдений при возбуждении электрического поля двумя питающими электродами A и B, A и C, B и C, соответственно; $p=(a+b+c)/2$; $d=\max\{a, b, c\}$.

В случае возбуждения системой AB-CD, состоящей из четырех питающих электродов (A, B, C и D), подключенных попарно (A и B, C и D) к двум автономным источникам тока, значение минимальной величины (модуль) j определяется по выражению:

$$j_{min}^{AB-CD} = 2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)/d}, \quad (2)$$

где $a=|j^{AB}|$, $b=|j^{CD}|$, $d=\max\{|j^{AB}+j^{CD}|, |j^{AB}-j^{CD}|\}$, $p=(a+b+d)/2$. Графически векторы j_{min}^{ABC} и j_{min}^{AB-CD} можно представить с использованием схематического представления (диаграмм) вектора j [7].

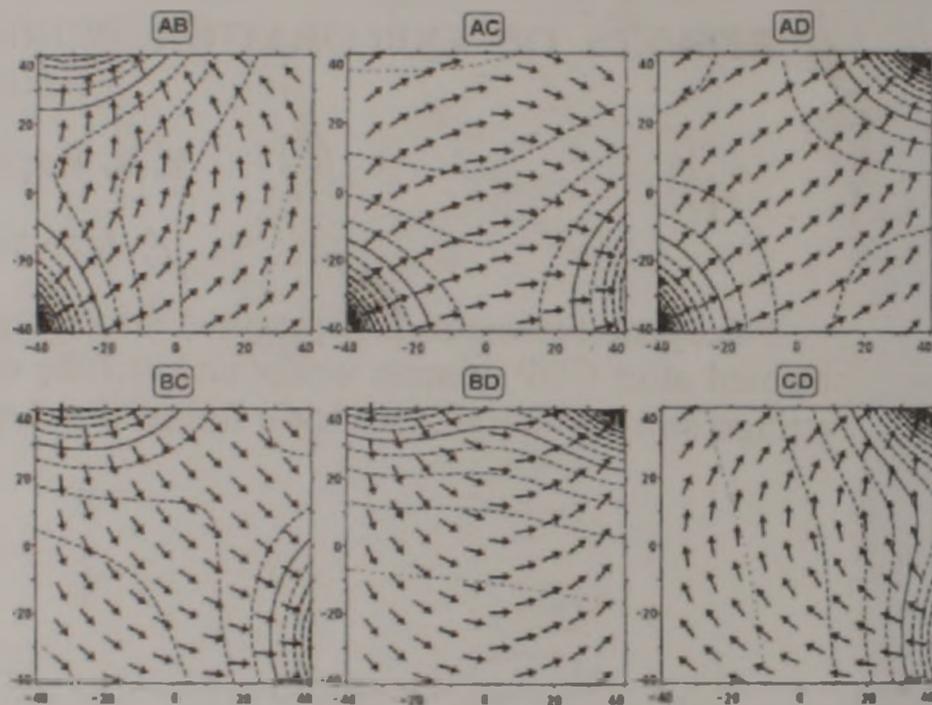


Рис. 1. Карты вектора j на поверхности однородной изотропной среды при шести (AB, AC, AD, BC, BD, CD) двухэлектродных системах возбуждения электрического поля.

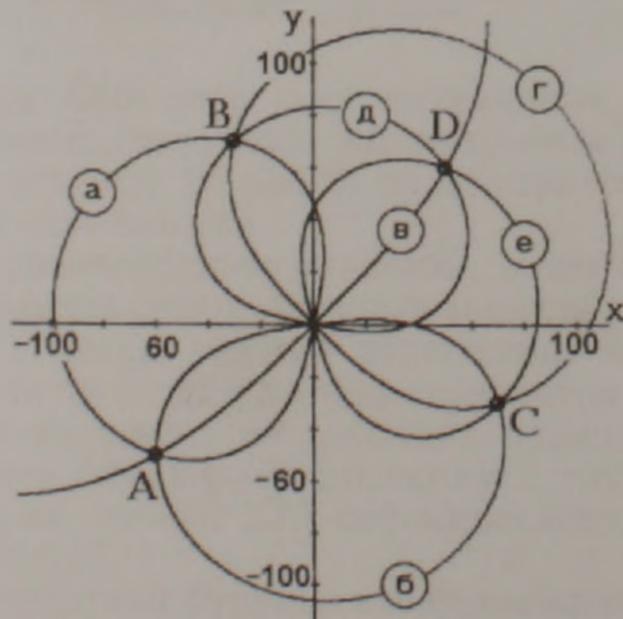


Рис. 2. Схема (план) месторасположения третьего питающего электрода, исключающая возможность возбуждения вращающегося электрического поля в пункте наблюдений, совмещенном с центром координат, при использовании следующих пар питающих электродов: а – A и B; б – A и C; в – A и D; г – B и C; д – B и D; е – C и D.

Аналогичным образом определяется минимальная величина вектора напряженности первичного поля в требуемом пункте наблюдений – E_{min} .

которая является критерием достоверности измерений для соответствующих (вышерассмотренных) многоэлектродных систем возбуждения при проведении работ методом вызванной поляризации. Заметим, что по принятому определению этого критерия при использовании многоэлектродных систем возбуждения предъявляются более строгие требования, чем к двухэлектродным системам, слагающим многоэлектродную, поскольку достоверными могут являться результаты тех измерений, при которых, независимо от направления возбуждаемого электрического поля, создается поле необходимой величины.

Особое внимание необходимо уделить тому обстоятельству, что в ряде случаев многоэлектродная система возбуждения не позволяет создавать вращающееся электрическое поле в требуемом пункте. С этой целью рассмотрим случай исследования первичного поля (методом сопротивлений), при котором системой возбуждения ABC невозможно изменять направление вектора возбуждаемого электрического поля (плотности тока j) в пункте наблюдений. Допустим, даны координаты двух питающих электродов $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ и пункта наблюдений $Q(x_0, y_0)$ в ортогональной системе координат XOY , совмещенной с поверхностью полупространства. Задача сводится к определению местоположения третьего питающего электрода $C(x_C, y_C)$, при котором соблюдается равенство $j^{AC} = m j^{AB}$ (где $m \neq 0$, $m \neq 1$), т.е. наблюдается коллинеарность векторов j^{AB} и j^{AC} , полученных при одном (AB) и втором (AC) вариантах подключения питающих электродов к источнику тока. Представив это условие системой уравнений

$$\begin{cases} j_x^{AC} = m j_x^{AB} \\ j_y^{AC} = m j_y^{AB} \end{cases}$$

где j_x^{AB} , j_x^{AC} и j_y^{AB} , j_y^{AC} — x - и y -составляющие векторов j^{AB} , j^{AC} , соответственно, и решив ее относительно x_C и y_C , получим

$$x_C = x_0 - a / (a^2 + b^2)^{3/4} \text{ и } y_C = y_0 - b / (a^2 + b^2)^{3/4}, \quad (3)$$

где $a = (x_0 - x_A)(1 - m) / r_A^3 + (x_0 - x_B)m / r_B^3$, $b = (y_0 - y_A)(1 - m) / r_A^3 + (y_0 - y_B)m / r_B^3$, r_A и r_B — расстояния от электродов A и B до пункта наблюдений, соответственно. На рис.2 приведено то множество месторасположений третьего питающего электрода, при котором различными трехэлектродными системами возбуждения невозможно возбудить вращающееся электрическое поле в требуемом пункте наблюдений, совмещенном с центром выбранной координатной системы. Очевидно, что в частном случае, при расположении питающих электродов и пункта наблюдений на одной прямой, также невозможно возбудить вращающееся поле в данном пункте.

Определив (выбрав) месторасположение третьего питающего электрода с координатами питающего электрода C по выражениям (3) и воспользовавшись условием $i^B j^{AB} + i^C j^{AC} = 0$, при котором многоэлектродная установка ABC становится нулевой (величина вектора плотности тока

равна нулю) [1,5,6,7], получим соотношение $i^B / i^C = -m$. Здесь i^B , i^C — соотношения (значения, нормированные по величине суммарного тока) токов, пропускаемых через питающие электроды B и C . Как показано в [5], это соотношение позволяет определять вариант подключения питающих электродов к источнику тока и величину соотношений токов, пропускаемых через питающие электроды, при которых интенсивность возбуждаемого поля в пункте наблюдений равна нулю.

Коллинеарность векторов при одном и втором направлениях возбуждаемого поля можно проследить по картам, приведенным на рис.1. Так, при создании поля трехэлектродной системой возбуждения ABC , слагающейся из двухэлектродных систем AB , AC , BC , нетрудно заметить, что в верхней правой части планшета поле вектора плотности тока характеризуется низкими значениями, а векторы ориентированы по близким друг к другу направлениям. Похожая картина наблюдается и при других трехэлектродных системах (ABD — в нижней правой части; ACD — в верхней левой части; BCD — в нижней левой части). При создании поля четырехэлектродными системами возбуждения $AB-CD$ и $AC-BD$ векторы плотности тока, слагающие соответствующую систему возбуждения, ориентированы по близким друг к другу направлениям в центральной части планшета, как бы разделяя его на две части, соответственно горизонтально и вертикально расположенной областью. В случае же возбуждения поля четырехэлектродной системой $AD-BC$, векторы плотности тока при одном (AD) и другом (BC) направлениях на всей площади планшета скрещены (почти ортогональны), что уже предварительно позволяет предположить об ее сравнительно высокой эффективности. Напомним, что при коллинеарности векторов возбуждаемого поля при одном и втором направлениях в пункте наблюдений параметры кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости при исследовании многоэлектродной установкой теряют смысл [5,6,7,9].

Таким образом, многоэлектродная установка становится нулевой только при коллинеарности векторов возбуждаемого электрического поля в рассматриваемом пункте наблюдений при одном и втором вариантах подсоединения питающих электродов к источнику (источникам) тока и при определенном (конкретном) соотношении величин токов, пропускаемых через питающие электроды системы возбуждения.

Для анализа характера возбуждаемого электрического поля многоэлектродной установкой $ABCD$, рассмотренной в [5], при работах методом сопротивлений на рис.3 приведены карты изолиний минимальной величины вектора плотности тока (j_{min}) трехэлектродных (ABC , ABD , ACD , BCD) и четырехэлектродных ($AB-CD$, $AC-BD$, $AD-BC$) систем возбуждений, характеризующихся не более одной системой возбуждения вращающегося электрического поля в произвольном пункте наблюдений. Расчеты проведены при координатах $A(-60, -50)$, $B(-30, 70)$, $C(70, -30)$, $D(50, 60)$ (в метрах)

для планшета съемки $-42\text{ м} \leq (x, y) \leq 42\text{ м}$, при шаге по x и y , равном 1.5 м . На рис.3 те области планшета, где величина j_{\min} меньше некоторого (в данном случае заданного 0.000005 А/м^2) порогового значения – затемнены. Заметим, что при использовании трехэлектродных (ABC , ABD , ACD , BCD) систем возбуждения в определенных краевых частях планшета наблюдаются величины j_{\min} меньше порогового значения, а при четырехэлектродных ($AB-CD$ и $AC-BD$) – эта область охватывает центральную часть планшета и тем самым приводит к неэффективности их применения. В отличие от них, четырехэлектродная система возбуждения $AD-BC$ позволяет возбудить электрическое поле со значениями выше пороговой величины по всему планшету. В результате сопоставления этих карт наглядно выявляются существенная зависимость возбуждаемого электрического поля от выбранной системы возбуждения, сложность проявления этого поля и необходимость учета данного фактора при обработке и истолковании результатов векторных измерений (векторной съемки).

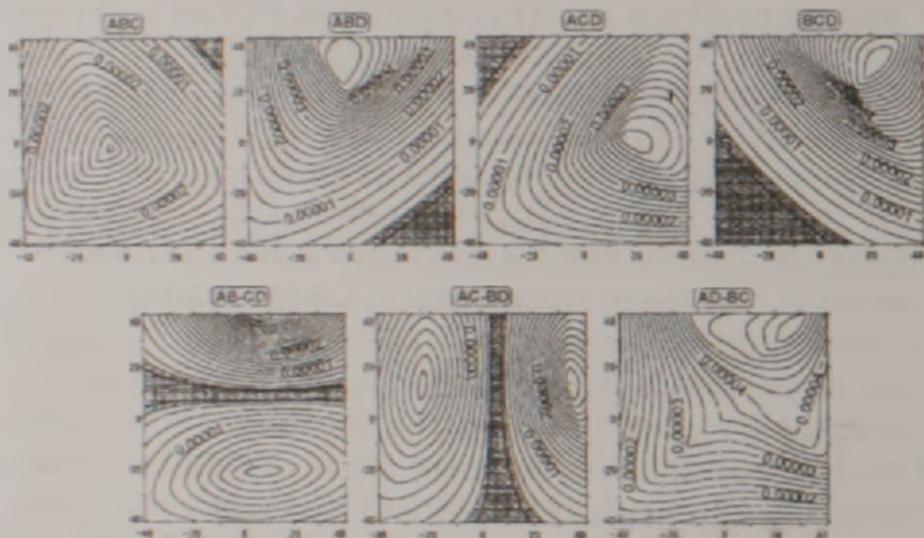


Рис. 3 Карты изолиний j_{\min} на дневной поверхности при семи (ABC , ABD , ACD , BCD , $AB-CD$, $AC-BD$, $AD-BC$) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля

С целью изучения проявления первичного электрического поля (необходимого при исследованиях методом вызванной поляризации), созданного той же многоэлектродной установкой $ABCD$ на вышепредставленном планшете съемки, от характера распределения удельного электрического сопротивления исследуемой геоэлектрической среды, на рис.4 приведены карты изолиний минимальной величины вектора напряженности первичного поля (E_{\min}) трехэлектродных (ABC , ABD , ACD , BCD) и четырехэлектродной ($AD-BC$) систем возбуждений для четырех однородных анизотропных геоэлектрических моделей при $\rho_n = 1200\text{ Ом}\cdot\text{м}$ и $\rho_r = 800\text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\eta_n = 0.01$ и $\eta_r = 0.05$, $\alpha = 75^\circ$ и β равном 40° (а), 80° (б), -10° (в), -50° (г). Здесь ρ_r и ρ_n – удельные электрические сопротивления вдоль и поперек плоскости простирания одноосной анизотропии; η_r и η_n – поляризуемости при тех же направлениях; α – угол падения плоскости анизотропии; β – угол между простиранием плоскости анизотропии и осью y против часовой стрелки. Математические формулы, по которым определялись параметры электрических полей, приведены в [4,8]. Карты построены с использованием паке-

та программ *SURFER* версии 6.04 фирмы *Golden Software*. На рис.4 области планшета съемки, где величина E_{\min} меньше заданного (принятого равным 0.01 В/м) порогового значения – затемнены. Сопоставление этих карт с соответствующими (при одинаковых системах возбуждения) картами, изображенными на рис.3, показывает зависимость эффективности исследования вторичного поля рассматриваемых систем возбуждения от проявления первичного поля (распределения удельного электрического сопротивления геоэлектрической среды).

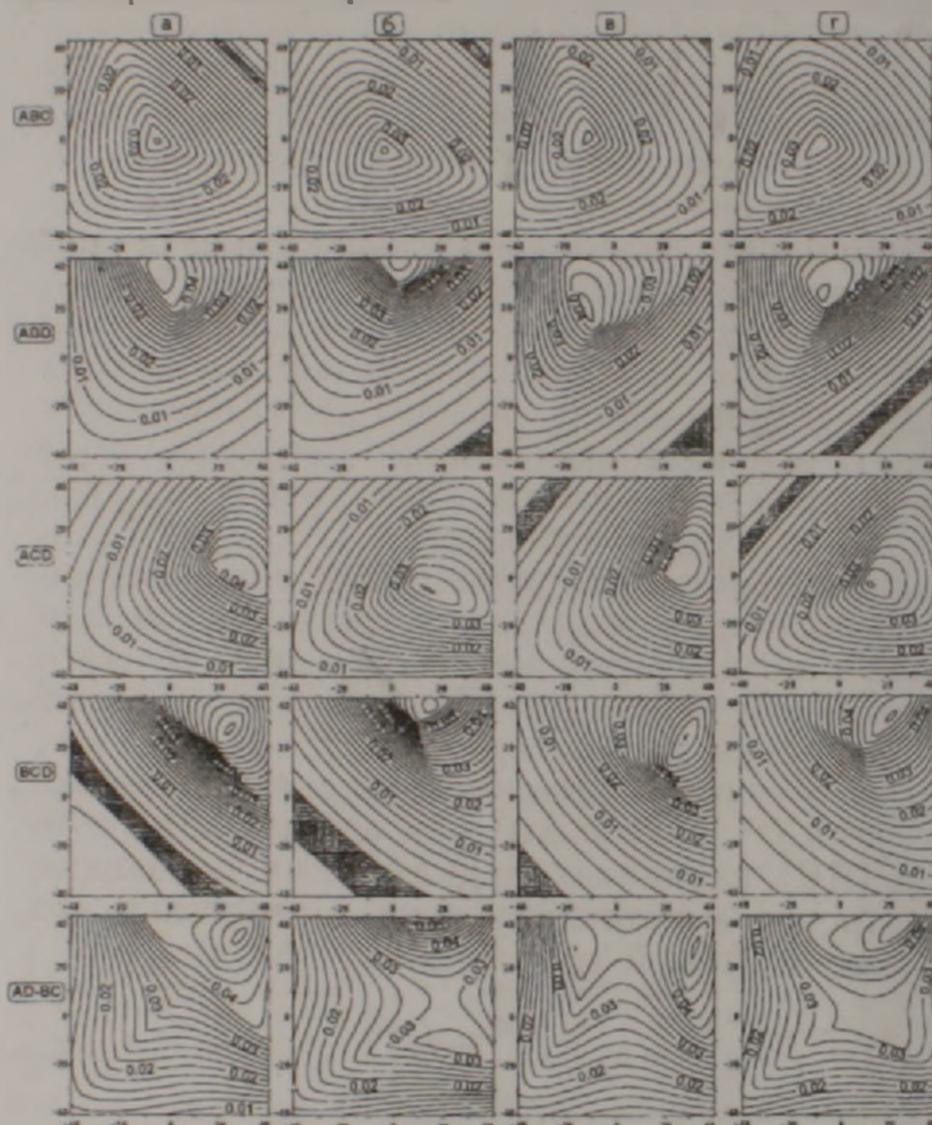


Рис. 4 Карты изолиний E_{\min} на поверхности однородных анизотропных сред (а - $\beta=40^\circ$; б - $\beta=80^\circ$; в - $\beta=-10^\circ$; г - $\beta=-50^\circ$) при пяти (ABC , ABD , ACD , BCD , $AD-BC$) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля.

На рисунках 5-8 приведены карты параметров кажущегося сопротивления ($\rho_{S\text{med}} = \sqrt{\rho_{S\text{max}} \cdot \rho_{S\text{min}}}$ и $\rho_{S\text{rel}} = \rho_{S\text{max}} / \rho_{S\text{min}}$, здесь $\rho_{S\text{max}}$ и $\rho_{S\text{min}}$ – главные, экстремальные, значения ρ_S) и кажущейся поляризуемости ($\eta_{S\text{med}} = \sqrt{\eta_{S\text{max}} \cdot \eta_{S\text{min}}}$ и $\eta_{S\text{rel}} = \eta_{S\text{max}} / \eta_{S\text{min}}$, где $\eta_{S\text{max}}$ и $\eta_{S\text{min}}$ – главные, экстремальные, значения η_S) при различных многоэлектродных системах возбуждения [5] для вышепредставленных геоэлектрических моделей анизотропных сред. Общей особенностью проявления представленных параметров КС и КП является резкое их изменение в областях с малыми значениями минимальных значений векторов плотности тока и напряженности первичного поля соответственно, что говорит о низкой достоверности исследований соответствующей системой возбуждения в данной части планшета. Для количественной (обобщенной) оценки эффективности каждой системы возбуждения по предлагаемому (рассматриваемому) критерию, в табл.1 приведены величины относительной (в процентах) эффек-

тивной площади исследований (при исследовании методом сопротивлений — отношение площади исследований с величинами $j_{\text{мин}}$ больше порогового значения к площади всего планшета, а методом вызванной поляризации — отношение

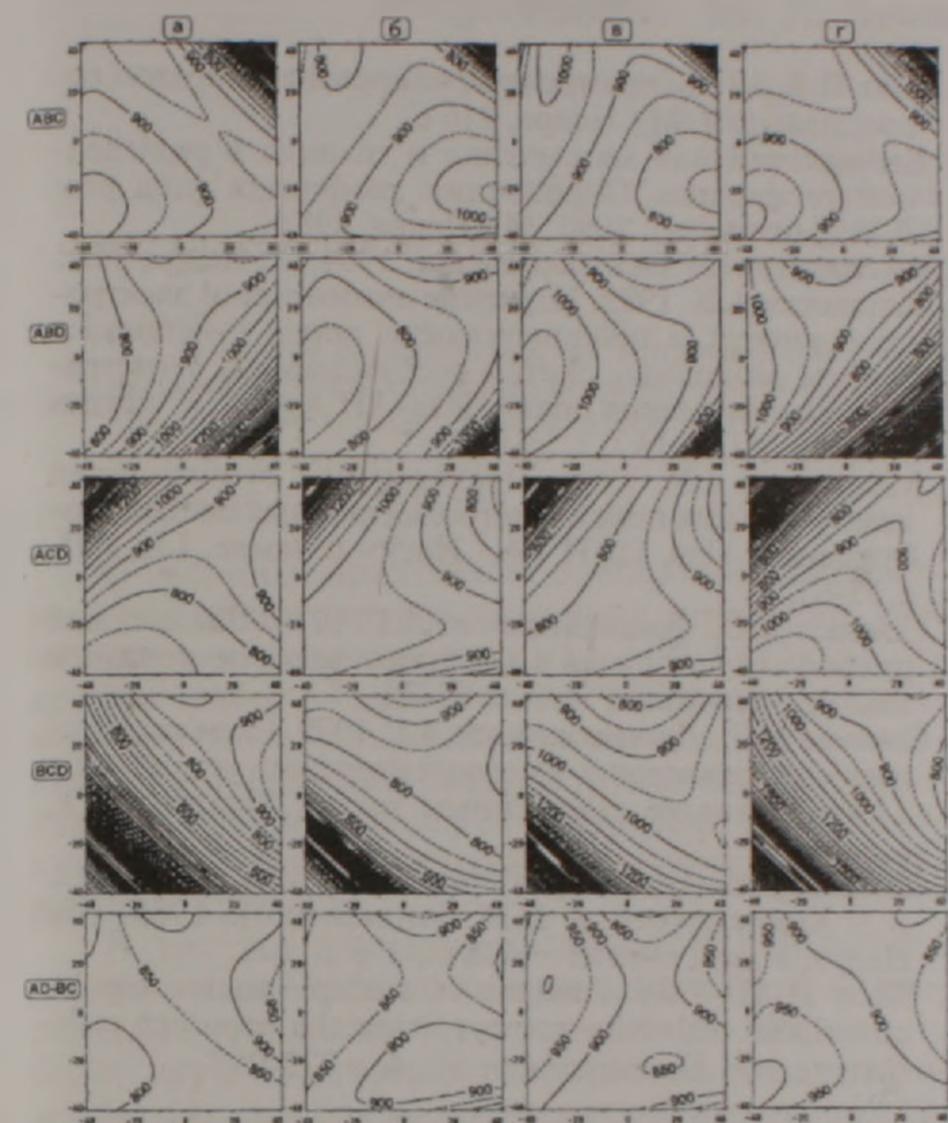


Рис 5 Карты изолиний ρ_{Smed} на поверхности однородных анизотропных сред (а - $\beta = 40^\circ$; б - $\beta = 80^\circ$; в - $\beta = -10^\circ$; г - $\beta = -50^\circ$) при пяти (ABC, ABD, ACD, BCD, AD-BC) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля.

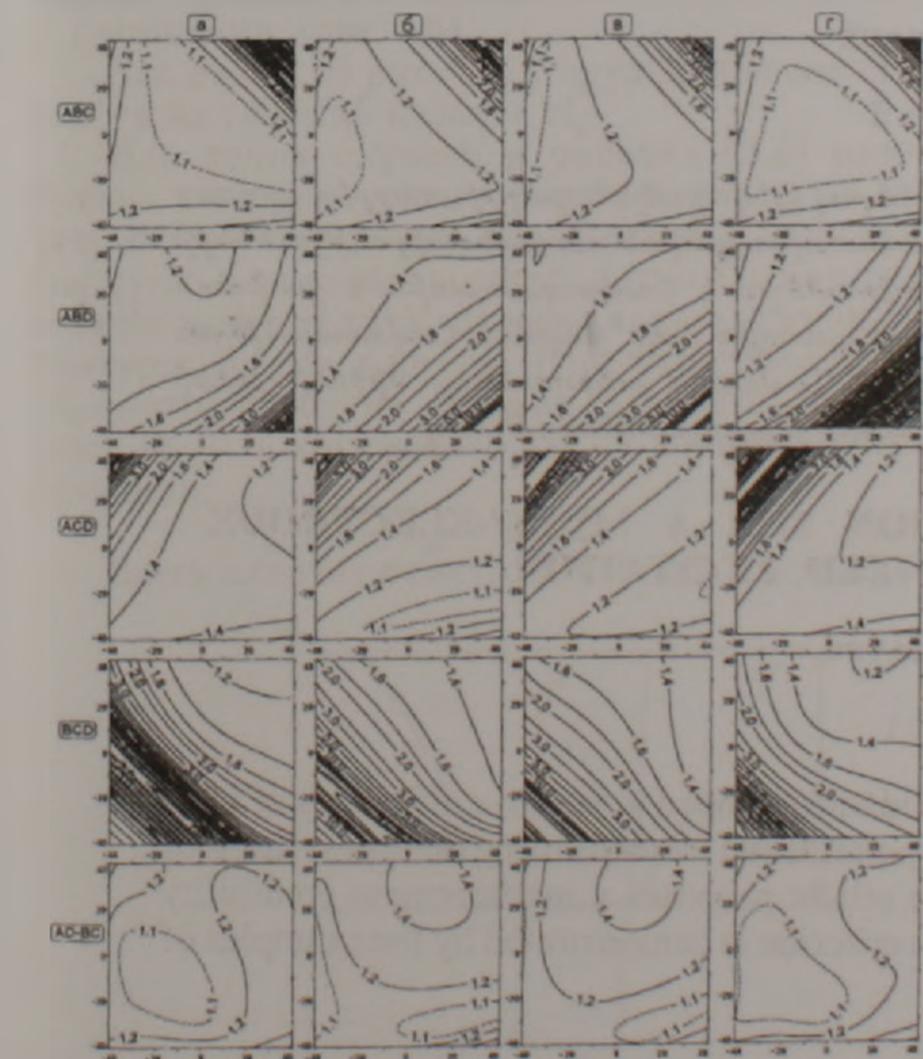


Рис 6 Карты изолиний ρ_{Srel} на поверхности однородных анизотропных сред (а - $\beta = 40^\circ$; б - $\beta = 80^\circ$; в - $\beta = -10^\circ$; г - $\beta = -50^\circ$) при пяти (ABC, ABD, ACD, BCD, AD-BC) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля.

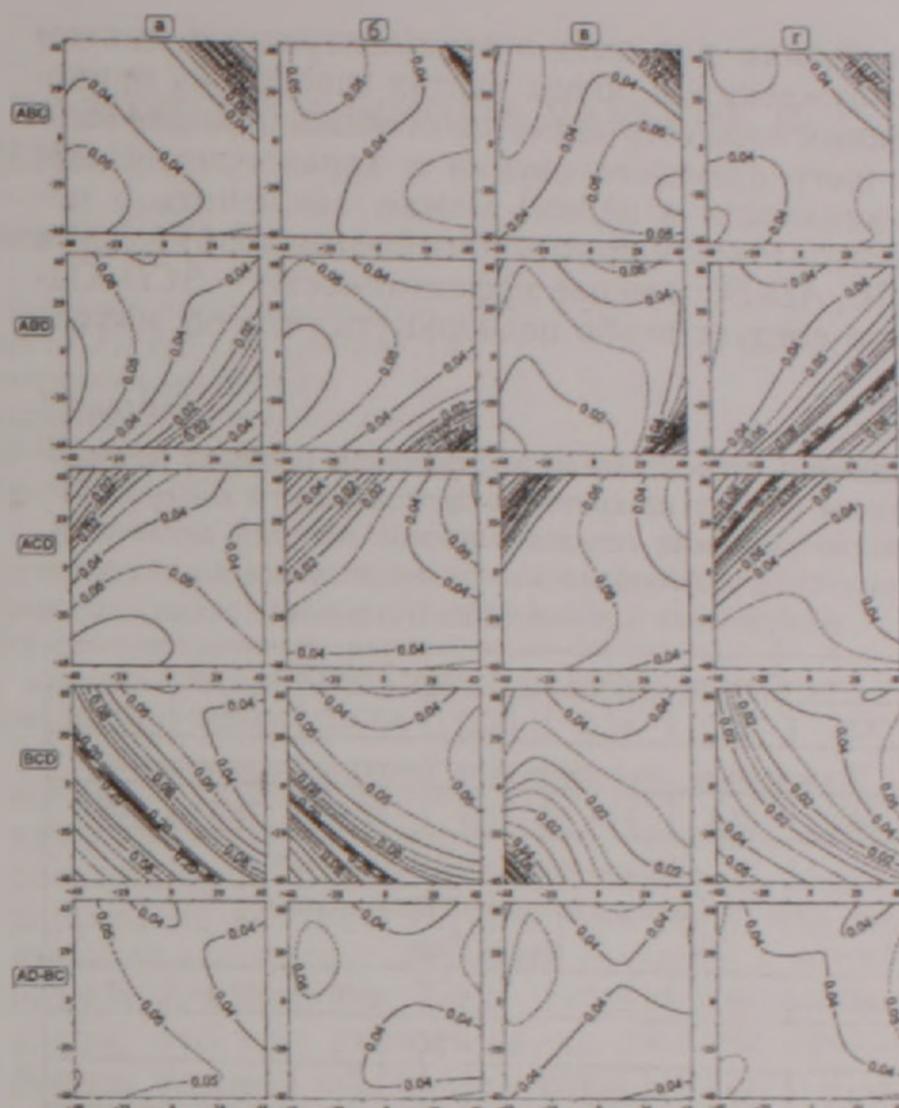


Рис 7 Карты изолиний η_{Smed} на поверхности однородных анизотропных сред (а - $\beta = 40^\circ$; б - $\beta = 80^\circ$; в - $\beta = -10^\circ$; г - $\beta = -50^\circ$) при пяти (ABC, ABD, ACD, BCD, AD-BC) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля

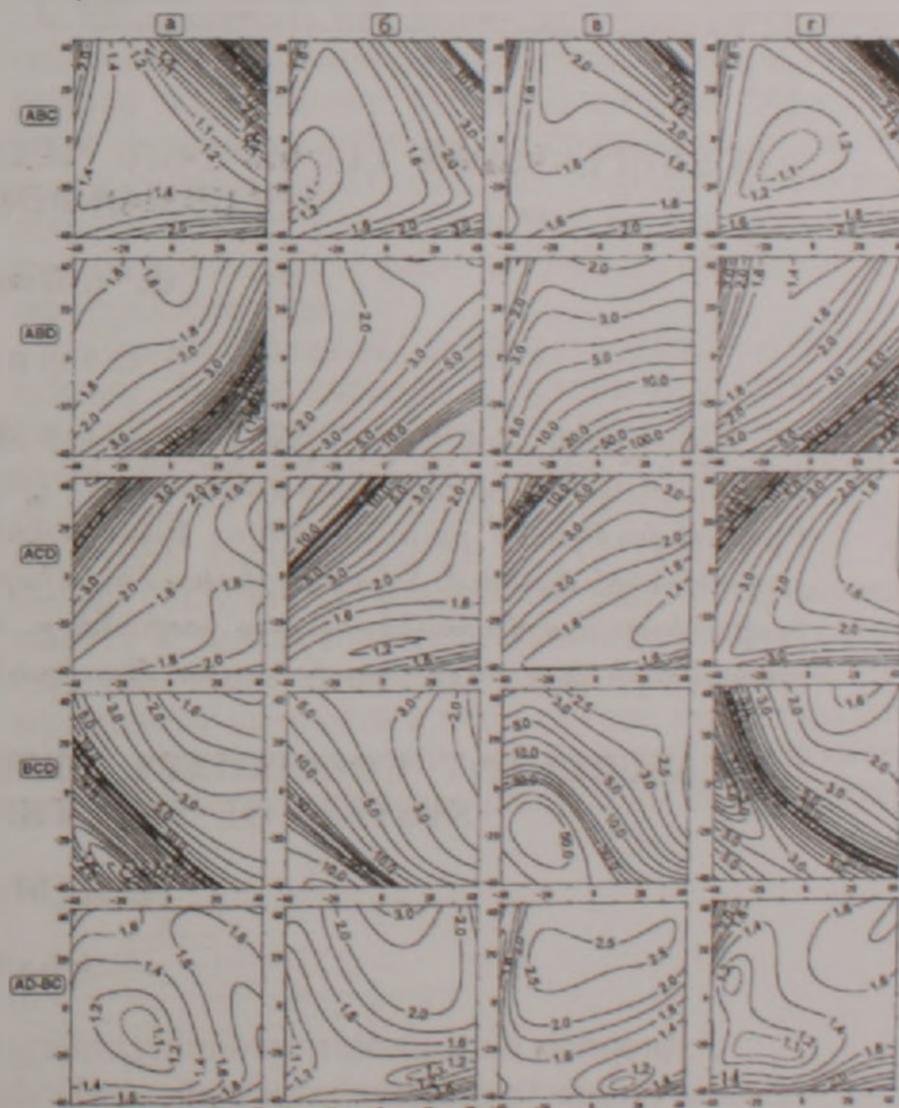


Рис 8 Карты изолиний η_{Srel} на поверхности однородных анизотропных сред (а - $\beta = 40^\circ$; б - $\beta = 80^\circ$; в - $\beta = -10^\circ$; г - $\beta = -50^\circ$) при пяти (ABC, ABD, ACD, BCD, AD-BC) многоэлектродных системах возбуждения электрического поля

площади исследований с величинами $j_{\text{мин}}$ и $E_{\text{опп}}$ больше соответствующих пороговых значений к той же площади). По приведенным в таблице

значениям для пяти многоэлектродных систем возбуждения, в общих чертах (поскольку приведенный параметр является обобщенным для выбранного планшета съемки и характеризует эффективность в целом) можно заключить о целесообразности применения систем возбуждения ABC , $AD-BC$ и менее эффективности — BCD . Однако следует особо подчеркнуть, что об эффек-

тивности исследований каждой системой возбуждения конкретно в той или иной части планшета следует судить по картам минимальных значений соответствующих векторов (рис 3-4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох И.Х. 1971. Электропрофилирование методом сопротивлений. М.: Недра, 216 с.
2. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика (под ред. В.И.Дмитриева). 1990. М.: Недра, 498 с.
3. Инструкция по электроразведке. 1984. Л.: Недра, 352с.
4. Матевосян А.К. 1989. Изучение анизотропии электропроводности и поляризуемости пород с использованием различных систем возбуждения и регистрации электрических полей. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, XLII, №2, с.53-66.
5. Матевосян А.К. 1999. Исследование особенностей электрических полей многоэлектродных систем возбуждения. Изв. НАН РА, Науки о Земле, LII, №1, с. 53-63.
6. Семенов А.С., Джавахишвили Л.Г. 1978. Связь полей различных установок в электроразведке постоянным током. Вестник ЛГУ, 6, с. 68-74.
7. Семенов А.С., Джавахишвили Л.Г. 1979. Поле кажущегося сопротивления многоэлектродных установок в электроразведке постоянным током. Вестник ЛГУ, 6, с. 31-37.
8. Электроразведка. Справочник геофизика (под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко). 1989. М.: Недра, в двух книгах — 438 с., 378 с.
9. Bibby Н.М. 1986. Analysis of multiple-source bipole-quadrupole resistivity surveys using the apparent resistivity tensor. Geophysics, v. 51, 4, p 972-983.

Таблица 1

Величины относительной эффективной площади исследований (только по критерию достоверности измерений) рассматриваемых геоэлектрических моделей анизотропных сред различными многоэлектродными системами возбуждения для выбранного планшета съемки

Система возбуждения электрического поля						
ABC	ABD	ACD	BCD	$AB-CD$	$AC-BD$	$AD-BC$
Исследование первичного поля (методом сопротивлений)						
96.0	86.7	91.6	73.3	82.5	79.3	100.0
Исследование вторичного поля (методом вызванной поляризации)						
При $\beta = 40^\circ$						
85.7	69.1	67.7	41.4	49.7	52.3	97.8
При $\beta = 80^\circ$						
84.9	57.7	79.3	46.9	58.1	45.6	98.0
При $\beta = 10^\circ$						
82.6	71.4	64.4	58.9	47.6	58.7	99.9
При $\beta = 50^\circ$						
85.9	60.7	74.2	66.1	60.6	55.9	99.8

ԲԱԶՄԱԷԼԵԿՏՐՈՂ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԳՐԳՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՎԱՍՏԻՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԱՆԻՇԸ

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիմադրության և հարուցված բևեռացման մեթոդներով էլեկտրական դաշտի տարբեր գրգռող համակարգերի օգտագործմամբ մակերեսային էլեկտրահետախուզական ուսումնասիրությունների էֆեկտիվությունը բարձրացնելու նպատակով անհրաժեշտ է համապատասխան չափման չափանիշների մշակում: Տվյալ հոդվածում առաջարկվում է դրանցից մեկը՝ չափման հավաստիության չափանիշը: Հաշվի առնելով այս չափանիշը, տարբեր համասեռ անիզոտրոպ միջավայրերի օրինակների վրա ցույց է տրված ուսումնասիրությունների արդյունավետությունը:

MEASUREMENT CREDIBILITY CRITERION FOR A MULTI-ELECTRODE SYSTEM OF ELECTRIC FIELD EXCITATION

A. K. Matevosyan

Abstract

Appropriate measurement credibility criteria should be developed to improve efficiency of areal electric-prospecting studies by resistance and induced polarization methods using diverse systems of electric field excitation. As one of such criteria, the article proposes a measurement credibility criterion. Improved efficiency of studies based on this criterion is demonstrated by the examples of various homogenous anisotropic media.