

ОБРАБОТКА, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕКТОРНОЙ СЪЕМКИ МЕТОДОМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

© 2004 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 16.01 2004 г.

В статье рассматривается подход при выборе эффективного временного режима для автоматизированной обработки электроразведочных данных векторной съемки методом блуждающих токов (БТ). Представлен критерий надежности исходных данных по результатам измерений и вычислений нормированных значений приращения напряженности электрического поля БТ в каждом полевом пункте. Предлагаемый алгоритм обработки и интерпретации данных позволяет выделять аномальные области средней проводимости и анизотропности по характеру распределения техногенного электрического поля в пределах исследуемого планшета съемки. Приведены примеры визуализации интерпретируемых параметров.

В статье (Матевосян, 2004) впервые дана классификация первичного электрического поля блуждающих токов (БТ) и представлены способы нормирования поля БТ в полевом пункте: по одному – ныне используемый, и предлагаемые – по двум, трем и более базисным пунктам, скользящим окном. Внедрение в геофизику цифровых способов регистрации и эффективных методов обработки данных на базе компьютерной технологии позволяет сократить затраты на проведение электроразведочных исследований, повысить их качество и информативность. Решающая роль в процессе обработки принадлежит преобразованию и визуализации определяемых параметров, что является весьма актуальной задачей при площадной векторной съемке методом БТ, чему посвящена настоящая статья.

Обработка и интерпретация данных

При одном (каждом) направлении первичного техногенного электрического поля в процессе интерпретации результатов векторных измерений определяются параметры ψ (остаточного или нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления): величина и направление – по формулам (Гамоян, 1986; Инструкция по электроразведке, 1984; Матевосян, 1987, 1992; Скважинная и шахтная..., 1989):

$$\psi^B = \Delta E_{BT}^H / \Delta E_{BT}^B \quad \text{и} \quad (1)$$

$$\phi = \arctg(\Delta E_{BT}^B / \Delta E_{BT}^H) + k\pi,$$

где ΔE_{BT}^H и ΔE_{BT}^B – модули векторов приращений напряженности наблюдаемого (измеренного) и нормированного (в частности, по одному В1 или трем В1-В2-В3 базисным пунктам) в полевом пункте за исследуемый момент времени при выбранной величине приращения времени; ΔE_{BT}^B и ΔE_{BT}^H – x - и y -составляющие вектора приращений напряженности нормированного поля; $k=0$ при $\Delta E_{BT}^B \geq 0$ и $k=1$ при $\Delta E_{BT}^B < 0$; $\Delta E_{BT}^B = [(\Delta E_{BT}^B)^2 + (\Delta E_{BT}^H)^2]^{1/2}$. Следует подчеркнуть, что определенному моменту времени (T) могут быть присвоены несколько значений ис-

следуемого параметра в зависимости от выбранной величины приращения времени (ΔT), за время которого определяется его изменение.

При выборе моментов времени с различными величинами приращений времени (ΔT), благоприятных для исследования планшета съемки методом БТ, могут служить величины наблюдаемого и нормированного векторов приращения напряженности первичного электрического поля в пределах планшета (или как минимум, в базисном / базисных / и полевом пунктах), которые должны превышать пороговую напряженность, задаваемую известным способом с учетом уровня искажающих факторов (Инструкция по электроразведке, 1984; Матевосян, 1989; Электроразведка, 1989).

При интерпретации данных, полученных при двух различных направлениях техногенного электрического поля в исследуемом полевом пункте наблюдений, определяются компоненты ($\psi_{xx}, \psi_{yy}, \psi_{xy}, \psi_{yx}$) двухмерного тензора ψ второго ранга из выражения (Матевосян, 1987, 1992):

$$\begin{bmatrix} \Delta E_{BT}^H_x \\ \Delta E_{BT}^H_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_{xx} & \psi_{xy} \\ \psi_{yx} & \psi_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E_{BT}^B_x \\ \Delta E_{BT}^B_y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\Delta E_{BT}^H_x$, $\Delta E_{BT}^H_y$ и $\Delta E_{BT}^B_x$, $\Delta E_{BT}^B_y$ – x - и y -составляющие векторов наблюдаемого и нормированного электрических полей в полевом пункте, соответственно.

Критерием надежности при определении двухмерного тензора ψ (тензорных параметров ψ) в исследуемом полевом пункте по результатам измерений и вычислений нормированных значений приращения напряженности поля БТ при двух моментах времени ($\Delta E_{BT1}, \Delta E_{BT2}$) является величина $2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-d)}/d$, где $a = |\Delta E_{BT1}|$, $b = |\Delta E_{BT2}|$, $d = \max\{|\Delta E_{BT1} + \Delta E_{BT2}|, |\Delta E_{BT1} - \Delta E_{BT2}|\}$, $p = (a+b+d)/2$, которая должна быть не менее пороговой напряженности. Следует напомнить, что при этом векторы $\Delta E_{BT1}, \Delta E_{BT2}$ должны быть неколлинеарны. Заметим, что при таких условиях выбора благоприятных моментов времени при

определении тензорных параметров ψ предъявляются более строгие требования.

Компоненты тензора ψ наиболее полно характеризуют особенности проявления исследуемой среды по данному параметру. Однако, поскольку их совместное рассмотрение при интерпретации во многих случаях значительно осложнено и визуально трудно представимо, удобнее манипулировать различными инвариантами данного тензора (аналогично как при исследованиях методами сопротивлений и вызванной поляризации – Матевосян, 2002). В частности, по приведенным формулам вычисляются главные (экстремальные: максимальное – ψ_{\max} и минимальное – ψ_{\min}) значения тензора ψ :

$$\psi_{\text{ex}} = \left| \sqrt{(\psi_{xx} - \psi_{yy})^2 + (\psi_{xy} + \psi_{yx})^2} \pm \sqrt{(\psi_{xx} + \psi_{yy})^2 + (\psi_{xy} - \psi_{yx})^2} \right| / 2 \quad (3)$$

и их направления

$$\phi_{\text{ex}} = \{ \arctg[(\psi_{xy} + \psi_{yx}) / (\psi_{xx} - \psi_{yy})] + \arctg[(\psi_{xy} - \psi_{yx}) / (\psi_{xx} + \psi_{yy})] + \pi k \} / 2, \quad (4)$$

где $k=0,1$. В качестве основных интерпретируемых параметров наряду с ψ_{\max} , ψ_{\min} , ϕ_{ex} используются также $\psi_{\text{med}} = \sqrt{\psi_{\max} \psi_{\min}}$, $\psi_{\text{rel}} = \psi_{\max} / \psi_{\min}$ – инварианты тензора ψ . При требуемом направлении возбуждаемого поля величина параметра ψ определяется отношением модулей векторов приращений напряженностей и представляется следующим образом:

$$\psi^B = \Delta E_{\text{БТ}}^H / \Delta E_{\text{БТ}}^B = \sqrt{(\psi_{xx} \cos \phi + \psi_{xy} \sin \phi)^2 + (\psi_{yx} \cos \phi + \psi_{yy} \sin \phi)^2}, \quad (5)$$

где ϕ – угол между вектором $\Delta E_{\text{БТ}}^B$ и осью x .

При измерении в пункте наблюдений составляющих электрических полей, отличных от принятой системы координат (XOY), необходимо их предварительно пересчитать во взаимно перпендикулярные x - и y -составляющие с использованием формул, приведенных в (Матевосян, 1999).

В процессе обработки данных обычно определяются усредненные значения ψ за исследуемый цикл измерений по формуле:

$$\psi = (\sum_{k=1}^N \psi_k) / N, \quad (6)$$

здесь N – количество моментов времени (импульсов); ψ_k – k -ое значение ψ , вычисленное одним из способов нормирования поля (Матевосян, 2004). При этом среднеквадратичное отклонение равно

$$\sigma_{\psi} = [\sum_{k=1}^N (\psi - \psi_k)^2] / N. \quad (7)$$

Естественно, такая обработка данных не позволяет исследовать проявление анизотропности параметра ψ в зависимости от направления вектора нормированного поля. Для повышения информативности за счет учета этого фактора предлагается определять следующие (дифференцированные по азимуту упомянутого вектора) параметры:

$$\psi_{\text{ave}} = (\sum_{n_{\phi}} \psi_{\phi}) / n_{\phi}, \quad \sigma_{\psi_{\text{ave}}} = (\sum_{n_{\phi}} \sigma_{\psi_{\phi}}) / n_{\phi},$$

здесь $\psi_{\phi} = (\sum_{i=1}^{n_{\phi}} \psi_i) / n_{\phi}$, $\sigma_{\psi_{\phi}} = [\sum_{i=1}^{n_{\phi}} (\psi_i - \psi_{\phi})^2] / n_{\phi}$, n_{ϕ} –

количество секторов (при 10° $n_{\phi}=18$ – данные противоположных секторов, согласно принципу линейности первичного электрического поля БТ, объединяются); n_{ϕ} – количество моментов времени, при которых нормированный вектор находится в ϕ -ом секторе, и которое должно быть достаточным для надежной обработки данных, в противном случае необходимо вычислить значения ψ для такого сектора с использованием компонентов тензора ψ , определяемых по результатам измерений других моментов времени (по данным указанного вектора в других секторах) согласно формулам (2) и (5). После определения ψ_{ϕ} при каждом ϕ проверяется условие $|\psi_{\phi} - \psi_{\phi}| \leq 3\sigma_{\psi_{\phi}}$, что позволяет отсеять высокие (результаты измерений при таких моментах времени в дальнейшей обработке данных не привлекаются).

Величина $\psi_{\phi_{\max}} / \psi_{\phi_{\min}}$ (где $\psi_{\phi_{\max}} = \max\{\psi_{\phi}\}$, $\psi_{\phi_{\min}} = \min\{\psi_{\phi}\}$) характеризует степень проявления анизотропности ψ , а ϕ_{\max} , ϕ_{\min} – направления (дискретные по секторам) соответствующих экстремальных значений ψ . Теоретически анизотропность по ψ может возникнуть в двух случаях: во-первых, за счет погрешности, связанной с нормированием поля БТ (в частности, линейным интерполированием по трем базисным пунктам при выраженном нелинейном характере поля БТ), что увеличивается с удалением от базисных пунктов; во-вторых, из-за неоднородности геоэлектрической среды по удельному электрическому сопротивлению. При отсутствии проявления анизотропности $\psi \approx \psi_{\text{ave}}$ и $\sigma_{\psi} \approx \sigma_{\psi_{\text{ave}}}$.

Теперь сформулируем условия принятия решения о наличии аномалии по параметру ψ в рассматриваемом полевом пункте:

- средней проводимости: $|\psi_{\text{ave}} - 1| \geq 3\sigma_{\psi_{\text{ave}}}$,
- анизотропности: $\psi_{\phi_{\max}} - \psi_{\phi_{\min}} \geq 3\sigma_{\psi_{\text{ave}}}$.

Последующая обработка позволяет построить карты не только ψ , σ_{ψ} , ψ_{ave} , $\sigma_{\psi_{\text{ave}}}$ и аномальных областей средней проводимости и анизотропности для всего планшета съемки, но и азимутальные гистограммы и круговые диаграммы ψ в требуемом полевом пункте.

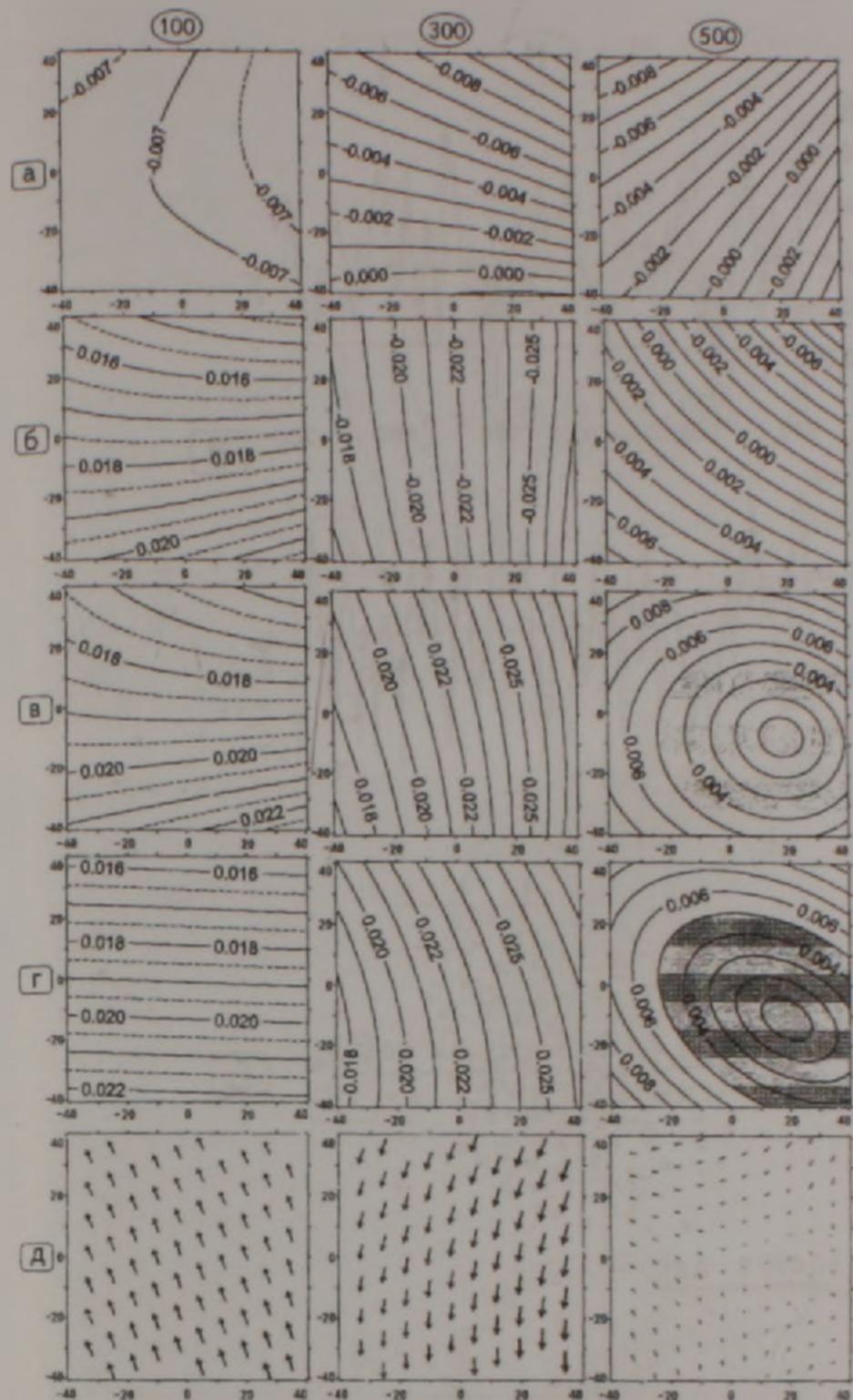


Рис. 1. Карты изолиний наблюдаемых x - и y -составляющих (а и б), модулей векторов приращения напряженности электрического поля БТ по наблюдаемым (в) и нормированным по трем (В1-В2-В3) базисным пунктам (г) (области планшета, в которых величина модуля вектора ΔE_{BT} меньше принятого порогового значения, наблюдаемого во времени 500τ , — затемнены, и в последующем процессе интерпретации результатов данные за этот момент времени исключаются), а также вектора приращения напряженности первичного поля БТ (д) (размеры стрелок пропорциональны величине вектора ΔE_{BT}) для трех (100, 300 и 500τ) моментов времени при цикле II измерений.

Визуализация данных

При проведении векторной съемки методом БТ определяются напряженность и приращения напряженности техногенного электрического поля, по которым строятся карты векторного поля (рис. 1д), изолиний его составляющих (рис. 1а-б) и модуля (рис. 1в-г) при различных моментах времени, параметров ψ и σ (рис. 2а-г) и проявления анизотропности по ψ (рис. 2д) при различных способах нормирования поля, а также графики x - и y -составляющих (рис. 3а) и годографы (рис. 3б) вектора первичного электрического поля БТ, круговые диаграммы (рис. 4), азимутальные гистограммы (рис. 4б-в), корреляционные поля между наблюдаемыми и нормированными

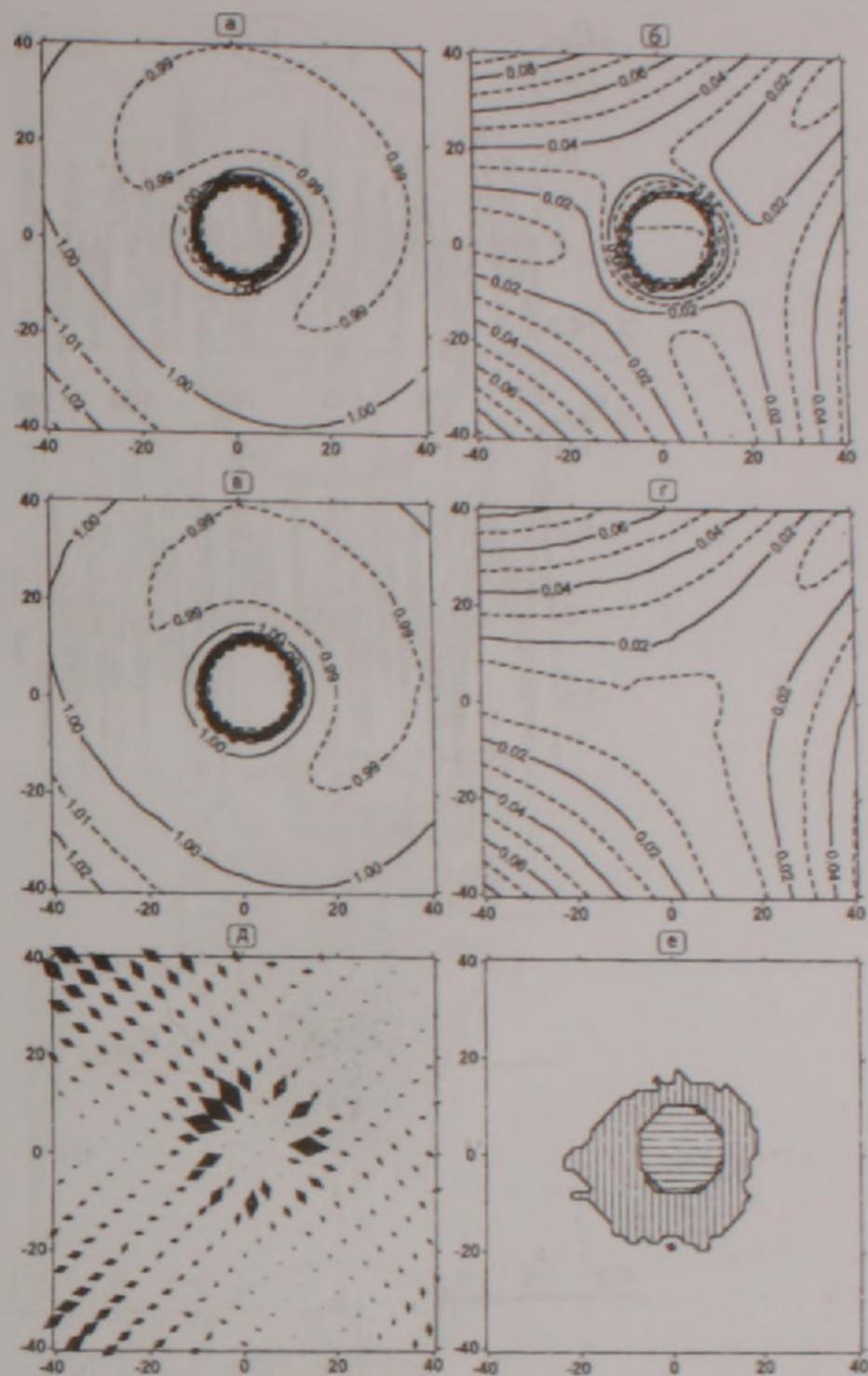


Рис. 2. Карты изолиний ψ^{B123} (а), σ^{B123} (б), ψ^{B123} (в), σ^{B123} (г), проявления анизотропности по ψ^{B123} (д) (размер ромбиков прямо пропорционален величине $\psi_{\text{max}}/\psi_{\text{min}} - 1$, а их большая диагональ ориентирована по направлению ψ_{max}) и аномальных областей средней проводимости (горизонтальная штриховка) и анизотропности (вертикальная штриховка) по параметру ψ^{B123} (е) на поверхности однородной изотропной среды, содержащей полусферическую низкоомную неоднородность при цикле II измерений.

ными параметрами поля (рис. 3в) за весь исследуемый цикл в исследуемом пункте наблюдений. В результате интерпретации строятся обобщенные (сводные) карты аномальных областей средней проводимости и анизотропности по параметру ψ (рис. 2е) на поверхности исследуемых геоэлектрических моделей.

Для однозначной интерпретации данных БТ при сложных геологических и техногенных условиях, необходимо полученные данные сопоставлять с результатами других электроразведочных методов на постоянном токе (в частности, электроразведки и электростроения) с привлечением результатов математического и физического моделирования электрических полей в разнотипных геоэлектрических средах.

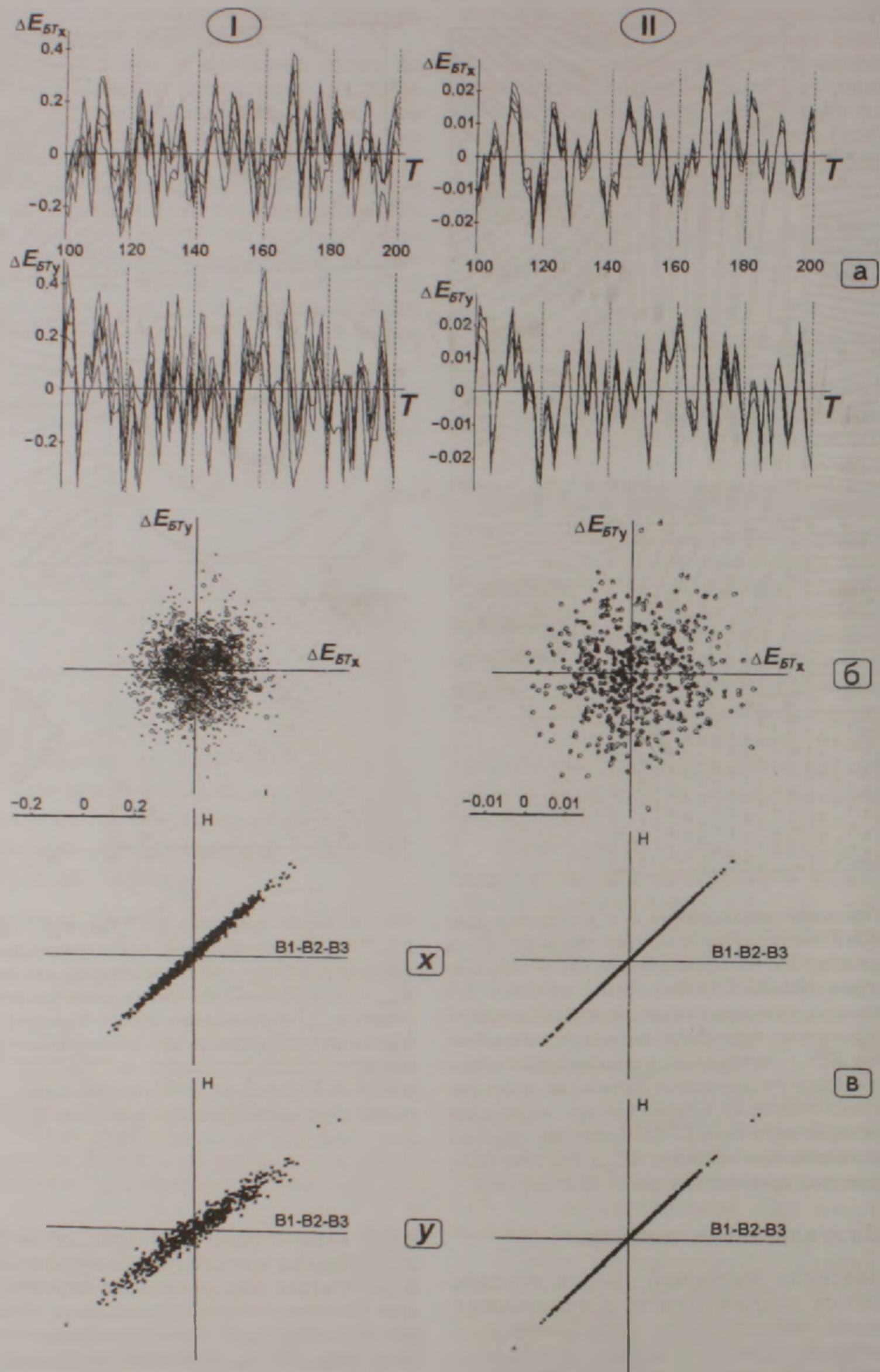


Рис 3. Визуализация параметров электрического поля в полевом и трех (B1, B2, B3) базисных пунктах при двух (I, II) циклах измерений.
 а – совмещенные графики x - и y -составляющих приращения напряженности электрического поля БТ во временном интервале $100+200\tau$;
 б – совмещенные годографы векторов приращения напряженности поля БТ в полевом пункте по наблюдаемым и нормированным по трем (B1-B2-B3) и двум (B1-B4) базисным пунктам (кружками обозначены наблюдаемые значения в полевом пункте).
 в – корреляционные поля (диаграммы рассеяния) x - и y -составляющих вектора приращения напряженности поля БТ, наблюдаемых в полевом пункте по наблюдаемым и нормированным по трем (B1-B2-B3) базисным пунктам.

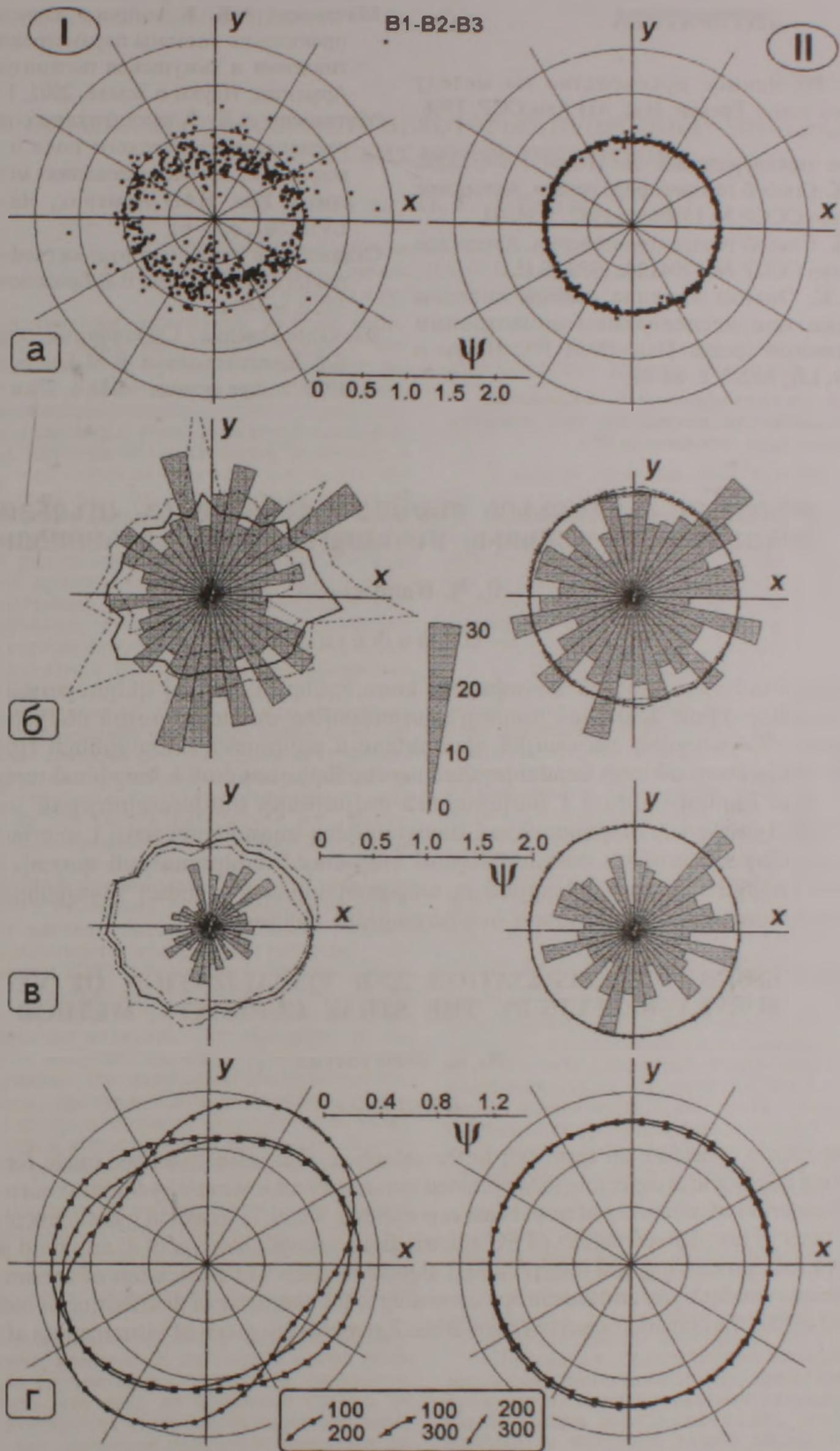


Рис 4 Визуализация параметра ψ^{B123} путем нормирования поля БТ по трем (B1-B2-B3) базисным пунктам в полевом пункте при двух (I, II) циклах измерений.

а – круговые диаграммы ψ^{B123} ;

б – азимутальные гистограммы и круговые диаграммы усредненного параметра ψ^{B123} (сплошная линия) и $\psi^{B123} \pm \sigma_{B123}$ (пунктирная) без учета величины пороговой напряженности;

в – азимутальные гистограммы и круговые диаграммы усредненного параметра ψ^{B123} (сплошная линия) и $\psi^{B123} \pm \sigma_{B123}$ (пунктирная) с учетом величины пороговой напряженности;

г – круговые диаграммы ψ^{B123} по попарно взятым трем (100, 200, 300τ) моментам времени.

ЛИТЕРАТУРА

- Гамоян В.Б. Временное руководство по методу блуждающих токов. Ереван: Изд. АН Арм.ССР, 1986, 100 с.
- Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984, 352 с.
- Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1350640, 1987, Б.И. 41.
- Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1704120, 1992, Б.И. 1.
- Матевосян А.К. Оценка влияния выбора системы регистрации при исследовании анизотропии геоэлектрической среды. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1999, LII, №2-3, с. 84-88.
- Матевосян А.К. К вопросу изучения особенностей проявления системы параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2002, LV, №1-3, с. 54-58.
- Матевосян А.К. Классификация первичного техногенного электрического поля и способы его нормирования при исследованиях методом блуждающих токов. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2004, LVII, №1, с.58-61.
- Скважинная и шахтная рудная геофизика. Справочник геофизика. Под ред. В.В.Бродового, М.: Недра, 1989, 320 с. и 440 с.
- Электроразведка. Справочник геофизика (под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко). М.: Недра, 1989, в двух книгах – 438 с, 378 с.

ԹԱՓԱՌՈՂ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ՎԵԿՏՈՐԱՅԻՆ ՀԱՆՈՒՅԹԻ ԱՐԳՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ, ՄԵԿՆԱԲԱՆՈՒՄ ԵՎ ՆԵՐԿԱՅԱՅՈՒՄ

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Ա մ փ ո փ ո մ

Հոդվածում դիտարկվում է թափառող հոսանքների մեթոդով վեկտորային հանույթի ավտոմատավորված մշակման համար արդյունավետ ժամանակային ռեժիմի ընտրման մոտեցում: Պահանջվող դաշտային դիտակետում թափառող հոսանքների էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի նորմավորված արժեքների չափման և հաշվման արդյունքների հիման վրա ներկայացված է նախնական տվյալների հավաստիության չափանիշը: Տվյալների մշակման և մեկնաբանման առաջարկվող ալգորիտմը թույլ է տալիս աճջատել հետազոտվող տեղամասի սահմաններում տեխնոգեն էլեկտրական դաշտի բաշխման բնույթով միջին հաղորդականության ու անիզոտրոպիայի անոմալ շրջանները: Բերված են մեկնաբանվող պարամետրերի ներկայացման օրինակներ:

PROCESSING, INTERPRETATION AND VISUALIZATION OF VECTOR SURVEY RESULTS BY THE STRAY CURRENTS METHOD

A. K. Matevosyan

Abstract

The article considers an approach to the selection of an effective time mode for automated processing of electric prospecting data obtained through a vector survey by the stray currents method (SC). A criterion of reliability of initial data is presented, which is based on measurement results and calculations of normalized values of SC electric field strength increment at any field station. The proposed data processing and interpretation algorithm allows identification of abnormal areas of medium-rate conductivity and anisotropy according to the character of distribution of industrial electric field across the considered survey plan-table. Examples are given of visualization of interpreted results.