

ЛИТЕРАТУРА

1. Азизбекян М.С. Геологическое строение и условия локализации медного оруденения Алавердского месторождения Армянской ССР. Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. геол.-мин. наук — Тбилиси: ГИН АН Грузинской ССР, 1975, 25 с.
2. Алтунян А.З. Геологическое строение и условия локализации оруденения Шамлугского рудного поля. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. — Ереван: ЕГУ, 1973, 25 с.
- ✓ 3. Асланян А.Т., Акопян М.С., Мелконян Р.Л., Пароникян В.О. Кохб-Шнохская палеоостроводужная рудно-магматическая система и модель ее формирования. — Геохимия, 1990, N1, с.91-105.
4. Ачикгезян А.З., Зограбян С.А., Карапетян А.И., Мирзоян Г.Г., Саркисян Р.А., Зарьян Р.Н. Кафанский рудный район (геологическое строение и рудоносность). — Ереван: Изд. АН АрмССР, 1987, 199 с.
5. Геология Армянской ССР, т.V. Литология. — Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 500 с.
6. Зограбян С.А. Структура и условия образования Ахтальского месторождения. — Ереван: Изд. АН Арм.ССР, 1971, 143 с.
7. Зограбян С.А. Положение Шаумянского месторождения в юрском вулканическом комплексе Южной Армении. — Изв. АН Арм.ССР, Науки о Земле, 1979, N3, с.38-46.
8. Зограбян С.А., Мелконян Р.Л. Роль структурных факторов в локализации оруденения на колчеданных месторождениях Алаверди-Капанской зоны. — Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1999, N2, с.31-40.
9. Мурадян К.М. Рудоносность вулканогенных формаций Малого Кавказа. — Ереван: Изд. НАН Армении, 1994, 359 с.

Известия НАН РА, Науки о Земле, 2000, LIII, №1-2, 93-98

СПОСОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2000 г. А. К. Матевосян

*Институт геологических наук НАН РА
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения
Поступила в редакцию 8.10.98.*

В статье предлагается способ интерпретации вариаций геомагнитного поля, заключающийся в определении трехмерного тензора нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления ($\mathbf{R}$). Приводятся выражения для расчета тензорной поверхности $\mathbf{R}$, предлагается способ визуализации трехмерного тензора, что способствует эффективному сопоставлению полученных по измерениям за различные циклы наблюдений, и при интерпретации различных пар пунктов наблюдений. Определенное внимание уделяется взаимосвязи между основными интерпретируемыми параметрами при смене местами базисного и полевого пунктов. Вводится понятие годографа тензора $\mathbf{R}(t)$.

Внедрение в геофизику цифровых способов регистрации и эффективных методов обработки данных на базе компьютерной технологии позволяет сократить затраты на проведение исследований, повысить их качество, точность и информативность получаемых данных. Решающая роль в этом принадлежит преобразованию и визуализации интерпретируемых параметров.

В настоящее время комплексирование магнитотеллурических и магнитовариационных методов находит все большее применение как при глубинном и среднемасштабном картировании в нефтегазовой геологии, поисках крупных рудоконтролирующих зон и геотермальных ресурсов, так и при изучении глобальных и региональных геодинамических процессов. Обработка результатов наблюдений при этих исследованиях сводится к определению двумерных матриц и компонентов индукционного вектора Визе-Паркинсона [1-4]. Анализ методики интерпретации трехкомпонентных измерений геомагнитного поля показал, что исследуемые параметры не могут полностью и достоверно охарактеризовать электропроводность геоэлектрического разреза и ее изменения во времени.

Ниже предлагается способ интерпретации, заключающийся в определении компонентов трехмерного тензора нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления ($\mathbf{R}$) в исследуемом поле-вом пункте по синхронным измерениям тех же параметров в базисном пункте.

Представим взаимосвязь приращений во временной области векторов геомагнитного поля в полевом ($\Delta\mathbf{T}$) и базисном ($\Delta\mathbf{T}^0$) пунктах через систему линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \Delta H_{xi} \\ \Delta H_{yi} \\ \Delta H_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H_{xi}^0 \\ \Delta H_{yi}^0 \\ \Delta H_{zi}^0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $i=1, 2, 3$; $\Delta H_x, \Delta H_y, \Delta H_z$ — соответствующие составляющие приращений поля при первом, втором и третьем промежутках времени, синхронно измеренные в полевом и базисном пунктах, при условии, что векторы $\Delta\mathbf{T}_i$ и $\Delta\mathbf{T}_i^0$ за рассматриваемые промежутки времени некомпланарны.

Критерием достоверности результатов при выборе этих трех промежутков может служить величина

$$K_R \geq C_R \cdot \max \left\{ \begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} \Delta H_{x1} & \Delta H_{y1} & \Delta H_{z1} \\ \Delta H_{x2} & \Delta H_{y2} & \Delta H_{z2} \\ \Delta H_{x3} & \Delta H_{y3} & \Delta H_{z3} \end{vmatrix} \right\}, \quad (2)$$

где C_R — коэффициент, величина которого задается с учетом точности исследований компонентов геомагнитного поля.

Решив систему (1), получим компоненты тензора $\mathbf{R}$:

$$R_{xx} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1} & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2} & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3} & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0}, \quad R_{xy} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{x1} & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{x2} & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{x3} & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0},$$

$$R_{xz} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{x1} \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{x2} \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{x3} \end{vmatrix}}{D^0}, \quad R_{yx} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{y1} & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{y2} & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{y3} & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0},$$

$$R_{yy} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1} & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2} & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3} & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0}, \quad R_{yz} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{y1} \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{y2} \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{y3} \end{vmatrix}}{D^0},$$

$$R_{zx} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{z1} & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{z2} & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{z3} & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0}, \quad R_{zy} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{z1} & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{z2} & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{z3} & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}}{D^0},$$

$$R_{zz} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1} \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2} \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3} \end{vmatrix}}{D^0}, \quad D^0 = \begin{vmatrix} \Delta H_{x1}^0 & \Delta H_{y1}^0 & \Delta H_{z1}^0 \\ \Delta H_{x2}^0 & \Delta H_{y2}^0 & \Delta H_{z2}^0 \\ \Delta H_{x3}^0 & \Delta H_{y3}^0 & \Delta H_{z3}^0 \end{vmatrix}.$$

В качестве интерпретируемых параметров могут быть использованы следующие инварианты тензора $\mathbf{R}$:
линейный — $R_{xx} + R_{yy} + R_{zz}$,

квадратичный —
$$\begin{vmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} R_{xx} & R_{xz} \\ R_{zx} & R_{zz} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zy} & R_{zz} \end{vmatrix},$$

инвариант 3-го порядка —
$$\begin{vmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{vmatrix},$$

а также всевозможные их комбинации.

Характеристическое уравнение тензора $\mathbf{R}$ представляет собой кубическое уравнение относительно λ

$$\begin{vmatrix} R_{xx} - \lambda & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} - \lambda & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (3)$$

решение которого дает значения тензора вдоль главных взаимно перпендикулярных осей — главные (собственные) значения тензора $R_{\max}$, R_{med} , $R_{\min}$, для которых справедливо равенство: $R_{\max} \cdot R_{\text{med}} \cdot R_{\min} = D_R$. Поскольку рассматриваемая матрица $\mathbf{R}$ трехмерна, то, в частности, основной интерпретируемый параметр — эффективный магнитный параметр L_R [2] примет вид

$$L_R = |D_R|^{1/3} = (3V_m/4\pi)^{1/3},$$

где V_m — объем магнитного эллипсоида, построенного по направлению поля в поле в пункте.

Величина R при произвольном направлении в прямоугольной системе координат определяется по формуле:

$$R = \Delta T / \Delta T^0 = (R_x^2 + R_y^2 + R_z^2)^{1/2} = [(R_{xx} \cos \alpha + R_{xy} \cos \beta + R_{xz} \cos \gamma)^2 + (R_{yx} \cos \alpha + R_{yy} \cos \beta + R_{yz} \cos \gamma)^2 + (R_{zx} \cos \alpha + R_{zy} \cos \beta + R_{zz} \cos \gamma)^2]^{1/2} \quad (4)$$

— где $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ — направляющие косинусы. Поскольку в сфери-

ческой системе координат (р, ф, θ) компоненты вектора ΔT^0 (ΔH_x^0 , ΔH_y^0 , ΔH_z^0) имеют вид

$$\Delta H_x^0 = \Delta T^0 \sin \theta^0 \cos \phi^0, \quad \Delta H_y^0 = \Delta T^0 \sin \theta^0 \sin \phi^0, \quad \Delta H_z^0 = \Delta T^0 \cos \theta^0,$$

то компоненты вектора ΔT равны

$$\Delta H_x = (R_{xx} \sin \theta^0 \cos \phi^0 + R_{xy} \sin \theta^0 \sin \phi^0 + R_{xz} \cos \theta^0) \Delta T^0 = R_x \Delta T^0,$$

$$\Delta H_y = (R_{yx} \sin \theta^0 \cos \phi^0 + R_{yy} \sin \theta^0 \sin \phi^0 + R_{yz} \cos \theta^0) \Delta T^0 = R_y \Delta T^0, \quad (5)$$

$$\Delta H_z = (R_{zx} \sin \theta^0 \cos \phi^0 + R_{zy} \sin \theta^0 \sin \phi^0 + R_{zz} \cos \theta^0) \Delta T^0 = R_z \Delta T^0.$$

При смене местами базисного и полевого пунктов можно получить матрицу $\underline{R}$, которая является обратной по отношению к матрице $\mathbf{R}$ и компоненты которой представляются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \underline{R}_{xx} & \underline{R}_{xy} & \underline{R}_{xz} \\ \underline{R}_{yx} & \underline{R}_{yy} & \underline{R}_{yz} \\ \underline{R}_{zx} & \underline{R}_{zy} & \underline{R}_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & r_{zz} \end{bmatrix} / D_R,$$

где r_{ij} (при $i, j = x, y, z$) – алгебраическое дополнение элемента R_{ij} матрицы $\mathbf{R}$. Между параметрами, характеризующими тензоры $\mathbf{R}$ и $\underline{R}$, справедливы следующие соотношения:

$$D_R = 1/D_{\underline{R}}, \quad R_{\max} = 1/R_{\min}, \quad R_{\min} = 1/R_{\max}, \quad R_{\text{med}} = 1/R_{\text{med}}, \quad L_R = 1/L_{\underline{R}}.$$

Вычисленные значения компонентов тензора $\mathbf{R}$ за различные три промежутка времени (с учетом критерия достоверности результатов (2)) в течение определенного цикла измерений усредняются. В результате получается усредненный тензор $\mathbf{R}$ за данный цикл, который полностью и наиболее достоверно характеризует электропроводность геоэлектрической среды по проявлению геомагнитного поля в полевом пункте относительно базисного. На рис.1 изображен пример растровой полярной карты параметра R , полученной с использованием формул (4) и (5).

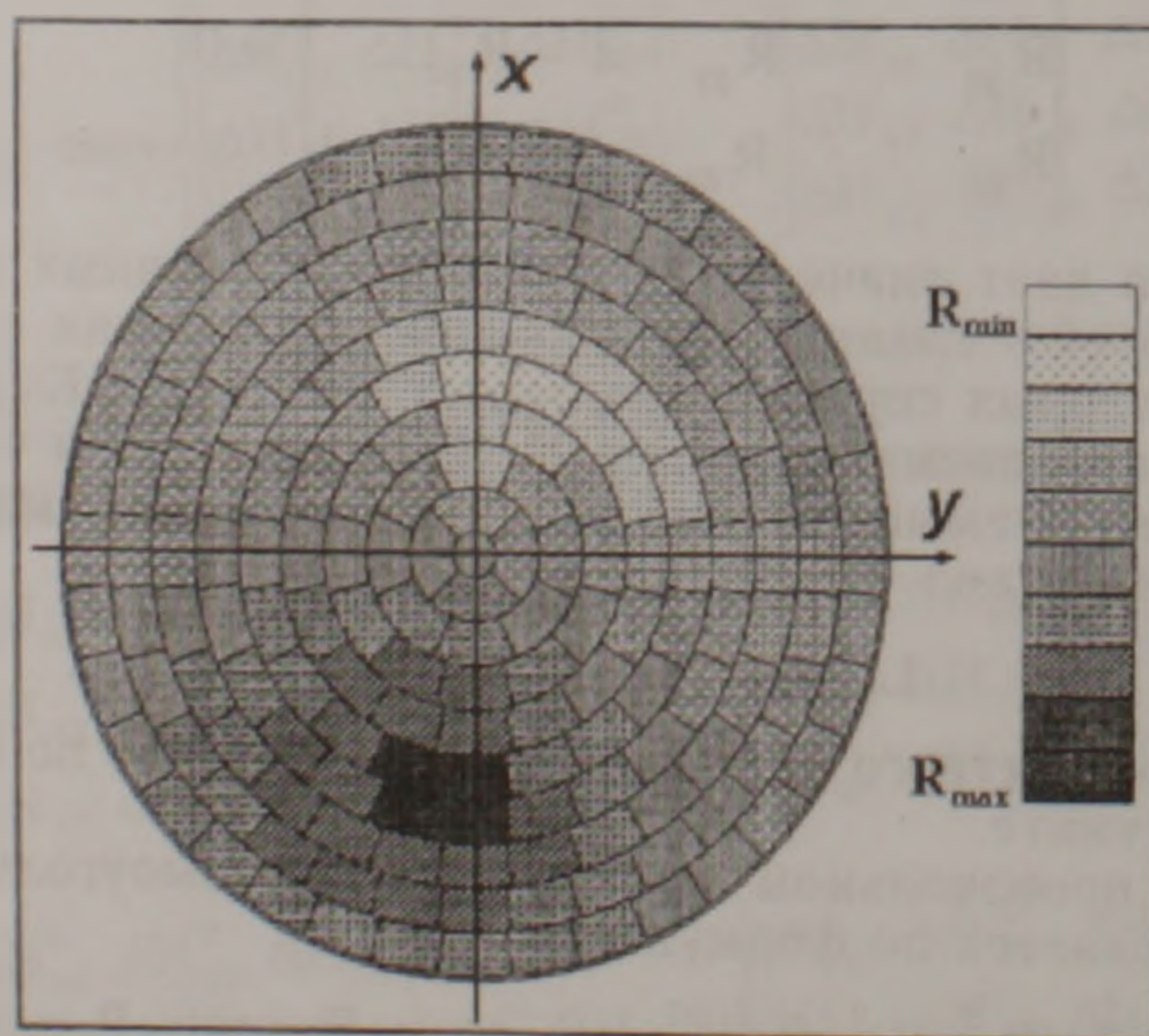


Рис.1. Растровая полярная карта нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления R .

Поскольку в общем случае тензор $\mathbf{R}$ несимметричен, то тензорная поверхность неоднозначно характеризует тензор $\mathbf{R}$, и поэтому предлагается следующий способ (подход) представления этого тензора. При

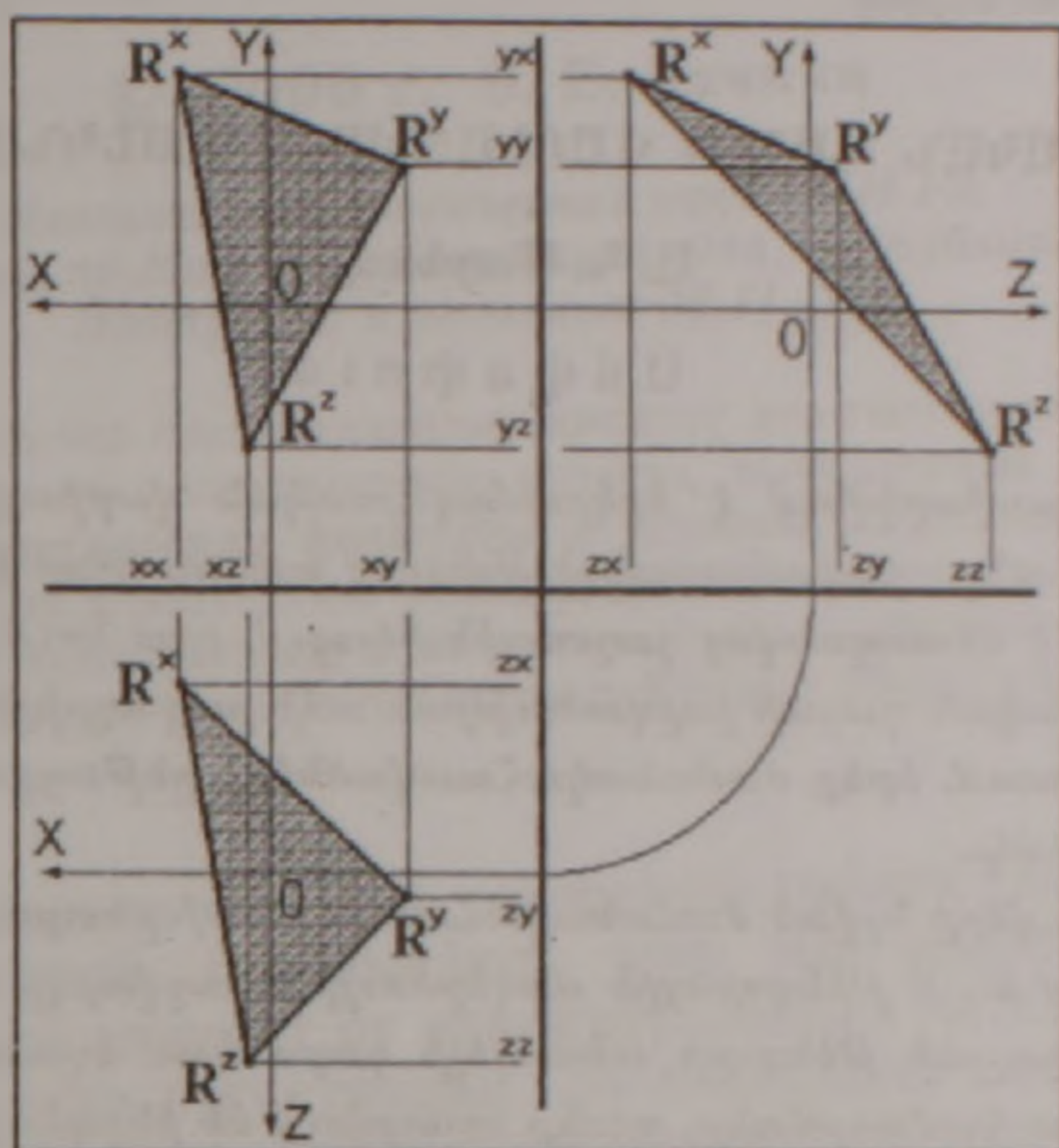


Рис.2. Эпюр тензора нормированного кажущегося сопротивления $\mathbf{R}$.

возбуждении (поляризации) поля в базисном пункте единичными векторами $\mathbf{1}(1,0,0)$, $\mathbf{1}(0,1,0)$, $\mathbf{1}(0,0,1)$ вдоль осей x , y , z , соответственно, с учетом усредненной матрицы $\mathbf{R}^*$, в полевом пункте получим векторы (стрелки): $\mathbf{R}^x(R_{xx}^*, R_{yx}^*, R_{zx}^*)$, $\mathbf{R}^y(R_{xy}^*, R_{yy}^*, R_{zy}^*)$, $\mathbf{R}^z(R_{xz}^*, R_{yz}^*, R_{zz}^*)$. Соединив концы последних векторов и построив проекции полученного треугольника (треугольника тензора нормированного кажущегося сопротивления — $\mathbf{R}^A$) на плоскости XOY , XOZ , YOZ получим фигуры в виде треугольника, либо отрезка (рис.2) — эпюр «треугольника тензора $\mathbf{R}$ ».

При детальном исследовании изменения электропроводности геоэлектрической среды во времени, можно рекомендовать построение векторных производных $d\mathbf{R}^x/dt$, $d\mathbf{R}^y/dt$, $d\mathbf{R}^z/dt$, всегда направленных по касательной к соответствующему годографу векторов $\mathbf{R}^x(t)$, $\mathbf{R}^y(t)$, $\mathbf{R}^z(t)$. Полная величина изменения $\mathbf{R}(t)$ во времени определяется по формуле

$$d\mathbf{R}/dt = [(d\mathbf{R}^x/dt)^2 + (d\mathbf{R}^y/dt)^2 + (d\mathbf{R}^z/dt)^2]^{1/2},$$

где

$$d\mathbf{R}^x/dt = [(dR_{xx}/dt)^2 + (dR_{yx}/dt)^2 + (dR_{zx}/dt)^2]^{1/2},$$

$$d\mathbf{R}^y/dt = [(dR_{xy}/dt)^2 + (dR_{yy}/dt)^2 + (dR_{zy}/dt)^2]^{1/2},$$

$$d\mathbf{R}^z/dt = [(dR_{xz}/dt)^2 + (dR_{yz}/dt)^2 + (dR_{zz}/dt)^2]^{1/2}.$$

Годограф тензора $\mathbf{R}(t)$ — изменение тензора-функции от времени, и для его визуализации необходимо построение эпюра треугольника тензора $\mathbf{R}$ при различных циклах измерений — $\mathbf{R}^A(t)$. Такая визуализация трехмерного тензора $\mathbf{R}^*$ дает наиболее полное и наглядное представление о нем и способствует эффективному сопоставлению полученных по измерениям как за различные циклы наблюдений, так и при интерпретации различных пар пунктов наблюдений. Выбор временного режима измерений вариаций геомагнитного поля производится в зависимости от поставленной задачи исследований.

Предлагаемый комплекс мероприятий при обработке и интерпретации синхронных вариаций геомагнитного поля, регистрируемых по сети пунктов наблюдений, позволит изучать более сложные неоднородно-анизотропные геоэлектрические разрезы с использованием магнито-вариационных методов.

ԵՐԿՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՎԱՐԻԱՑԻԱՆԵՐԻ ՄԵԿՆԱԲԱՆՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում առաջարկվում է երկրամագնիսական վարիացիաների մեկնաբանման եղանակ, որի էությունը չափակարգված թվացող տեսակարար էլեկտրական դիմադրության (R) որոշումն է հետազոտվող դաշտային կետում, ըստ նույն այդ չափանիշների (x -, y -, z երկրամագնիսական դաշտի լարվածության ածի բաղադրիչների) սինխրոն չափումների հիմնական կետում, երեք ժամանակահատվածների ընթացքում, որոնք տարբերվում են դաշտի բեռնացմամբ:

Դիտարկվում է վերը նշված ժամանակահատվածների ընտրության հավաստիության չափանիշը: Բերվում են R թենզորային մակերևույթի հաշվարկի արտահայտություններ, առաջարկվում է եռաչափ թենզորի տեսանելի դարձնելու եղանակ, ինչը նպաստում է նրանց արդյունավետ համադրմանը, որոնք ստացվում են ինչպես ըստ տարբեր ցիկլերում չափումներից, այնպես էլ դիտակետերի տարբեր զույգերի մեկնաբանման ժամանակ: Որոշակի ուղադրություն է հատկացվում հիմնական չափանիշների փոխադարձ կապին, երբ փոխվում են հիմնական և դաշտային դիտակետերի տեղերը: Առաջարկվում է $R(t)$ թենզորի հոդոգրաֆի հասկացությունը:

A METHOD OF INTERPRETATION OF GEOMAGNETIC FIELD VARIATIONS

A. K. Matevosyan

A b s t r a c t

A method for interpretation of geomagnetic field variations is proposed. It is based on the definition of a three-dimensional tensor of the normalized apparent electric resistivity (R). Expressions to calculate R tensor surface are given, and a method of 3D tensor visualization is proposed, which facilitates efficient comparison of measurement results for different observation cycles and interpretation of various pairs of observation sites. Attention is paid to the relationship of the main interpreted parameters after substitution of permanent and field site places. A concept of tensor time-graph $R(t)$ is introduced.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.И. 1968. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 254 с.
2. Жданов М.С. 1986. Электроразведка. М.: Недра, 316 с.
3. Электроразведка. Справочник геофизика (под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко). 1989. М.: Недра, в двух книгах - 438 с., 378 с.
4. Electromagnetic methods in applied geophysics. (Investigations in Geophysics, 3 — edited by M.N.Nabighian), 1994, v.1, 513 p.; v.2, 972p.