

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

К ВОПРОСУ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯ
ТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ТОКОВ

© 2000 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 08.10.98.

В настоящее время большое значение придается исследованию динамики физико-геологических процессов, которые в определенной мере проявляются на поверхности Земли при режимных наблюдениях естественного электромагнитного поля [5,6,7]. В связи с этим представляет определенный интерес развитие методики интерпретации вариаций поля теллурических токов при исследовании сложных неоднородно-анизотропных геоэлектрических сред.

Компоненты магнитотеллурического тензора t (нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления) определяются по формулам [1,2]:

$$\begin{aligned} t_{xx} &= (\Delta E_{x1} \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{x2} \Delta E_{y1}^0) / (\Delta E_{x1}^0 \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{x2}^0 \Delta E_{y1}^0), \\ t_{xy} &= (\Delta E_{x2} \Delta E_{x1}^0 - \Delta E_{x1} \Delta E_{x2}^0) / (\Delta E_{x1}^0 \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{x2}^0 \Delta E_{y1}^0), \\ t_{yx} &= (\Delta E_{y1} \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{y2} \Delta E_{y1}^0) / (\Delta E_{x1}^0 \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{x2}^0 \Delta E_{y1}^0), \\ t_{yy} &= (\Delta E_{y2} \Delta E_{x1}^0 - \Delta E_{y1} \Delta E_{x2}^0) / (\Delta E_{x1}^0 \Delta E_{y2}^0 - \Delta E_{x2}^0 \Delta E_{y1}^0), \end{aligned} \quad (1)$$

где t_{xx} , t_{xy} , t_{yx} , t_{yy} – компоненты тензора t ; ΔE_x , ΔE_y и ΔE_x^0 , ΔE_y^0 – x - и y -составляющие приращений векторов напряженности теллурического поля в центре приемных линий на полевом (ΔE) и базисном (ΔE^0) пунктах; индексами 1 и 2 обозначены соответствующие составляющие поля за первый и второй промежутки времени. Отметим, что векторы ΔE^0 и ΔE не коллинеарны.

Критерием достоверности выбора этих двух промежутков может служить величина

$$K_t \geq C_t \max \left\{ \left| \begin{array}{cc} \Delta E_{x1}^0 & \Delta E_{y1}^0 \\ \Delta E_{x2}^0 & \Delta E_{y1}^0 \end{array} \right|, \left| \begin{array}{cc} \Delta E_{x1} & \Delta E_{y1} \\ \Delta E_{x2} & \Delta E_{y1} \end{array} \right| \right\}, \quad (2)$$

где C_t – коэффициент, величина которого задается с учетом точности исследований составляющих поля теллурических токов.

Главные (экстремальные – максимальное и минимальное) значения тензора t равны

$$t_{ex} = \left| \left[(t_{xx} - t_{yy})^2 + (t_{xy} + t_{yx})^2 \right]^{1/2} \pm \left[(t_{xx} + t_{yy})^2 + (t_{xy} - t_{yx})^2 \right]^{1/2} \right| / 2, \quad (3)$$

а их направления определяются по формуле

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

где $k=0, 1$; j_{ex} – угол между направлением экстремального значения t и осью x . Величина нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления определяется отношением величин полных напряженностей теллурического поля на полевом и базисном пунктах для каждого промежутка времени (при различных поляризациях поля) и представляется следующим образом:

$$t = \Delta E / \Delta E^0 = \left[(t_{xx} \cos \delta^0 + t_{xy} \sin \delta^0)^2 + (t_{yx} \cos \delta^0 + t_{yy} \sin \delta^0)^2 \right]^{1/2}, \quad (5)$$

где δ^0 – угол между вектором ΔE^0 и осью x . По этой формуле можно рассчитать

значения t при произвольной поляризации поля, что позволяет строить диаграммы t в зависимости от направления как в полевом, так и в базисном пункте. В первом случае построенная круговая диаграмма имеет форму овала, во втором – эллипса [1,2].

Особый интерес представляет рассмотрение инвариантов тензора t – параметров, не зависящих от выбранной системы координат (в нашем случае – от ориентировки двух взаимно перпендикулярных приемных диполей в пункте наблюдений). Инвариантами тензора t , в частности, являются теллурупараметры $K=(t_{\max}t_{\min})^{1/2}$, $M=t_{\min}/t_{\max}$, которые являются основными используемыми интерпретируемыми параметрами тензорного поля теллурических токов, а также t_{\max} , t_{\min} .

Определенный интерес представляет и рассмотрение взаимосвязи между основными интерпретируемыми параметрами при смене местами базисного и полевого пунктов (при этом можно получить матрицу \underline{t} , которая является обратной по отношению к матрице t), компоненты которой представляются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \underline{t}_{xx} & \underline{t}_{xy} \\ \underline{t}_{yx} & \underline{t}_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{yy} & -t_{xy} \\ -t_{yx} & t_{xx} \end{bmatrix} / D_t,$$

где D_t – детерминант определителя t . При этом справедливы следующие соотношения: $D_{\underline{t}} = 1/D_t$, $\underline{t}_{\max} = 1/t_{\min}$, $\underline{t}_{\min} = 1/t_{\max}$, $K_{\underline{t}} = 1/K_t$, $M_{\underline{t}} = 1/M_t$.

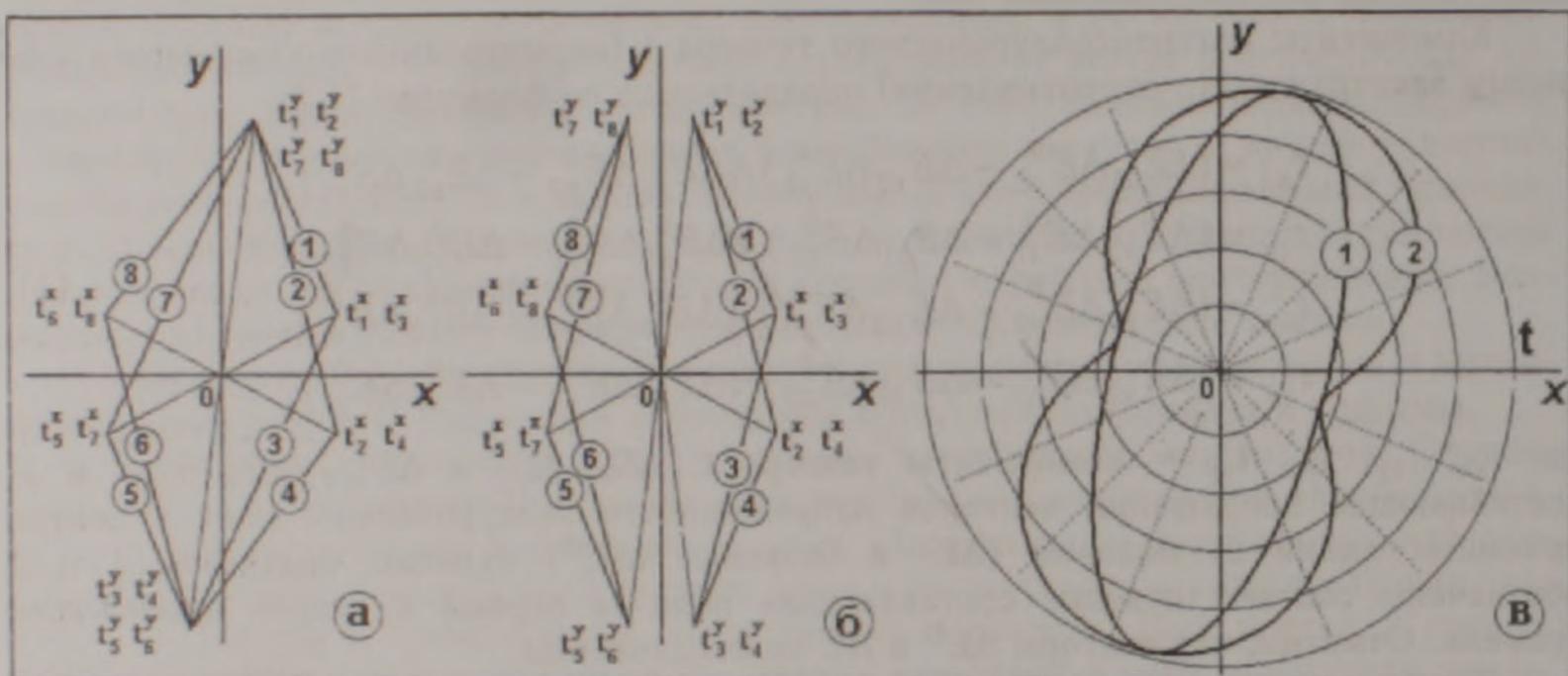


Рис.1. Визуализация компонентов восьми тензоров t (1-8), при которых эллипсы (а) и овалы (б) поляризации идентичны. в – диаграммы эллипса (1) и овала (2).

Однако, круговые диаграммы не могут однозначно характеризовать тензор t . Так, в табл.1 приведены по восемь различных тензоров t , описываемых одним и тем же эллипсом или овалом. Поэтому, для устранения этой неоднозначности, предлагается способ визуализации тензора t , заключающийся в построении векторов (стрелок) $t^x(t_{xx}, t_{yx})$ и $t^y(t_{xy}, t_{yy})$ в плоскости XOY . Физический смысл этих векторов заключается в том, что они проявляются в полевом пункте при поочередной поляризации поля в базисном пункте единичными векторами $\mathbf{1}(1,0)$ и $\mathbf{1}(0,1)$, направленными по осям x и y , соответственно. На рис.1 изображены стрелки t^x и t^y для вышеуказанных тензоров t , которые попарно соединены («отрезок тензора нормированного кажущегося сопротивления» – t^-).

Таблица 1

Знаки компонентов тензора t , при которых эллипсы и овалы поляризации идентичны.

	Эллипс								Овал							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
t_{xx}	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
t_{xy}	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
t_{yx}	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+
t_{yy}	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+

Годограф тензора $\mathbf{t}(t)$ – изменение тензора-функции от времени, а для его визуализации проводится построение отрезков \mathbf{t} , полученных за различные циклы наблюдений.

С целью более детального исследования изменения электропроводности геоэлектрической среды во времени, можно воспользоваться построением векторных производных (приращений) dt^x/dt , dt^y/dt , всегда направленных по касательной к соответствующему годографу векторов $\mathbf{t}^x(t)$, $\mathbf{t}^y(t)$ и определяемых по формулам

$$dt^x/dt = [(dt_{xx}/dt)^2 + (dt_{yx}/dt)^2]^{1/2} \text{ и } dt^y/dt = [(dt_{xy}/dt)^2 + (dt_{yy}/dt)^2]^{1/2}.$$

Такая визуализация двумерного тензора \mathbf{t} дает наиболее полное и наглядное представление о нем, и способствует эффективному сопоставлению тензоров, полученных по измеренным как за различные циклы, так и при интерпретации различных пар пунктов наблюдений. Выбор временного режима измерений вариаций поля производится в зависимости от поставленной задачи исследований.

В реальных условиях может возникнуть необходимость выполнения измерений в базисном и полевом пунктах двумя приемными линиями с ориентировкой, отклоненной от принятой ортогональной системы. Тогда требуется пересчитывать соответствующие составляющие вектора напряженности магнитотеллурического поля методикой, используемой при обработке и интерпретации данных векторной съемки методами постоянного тока [3]. Здесь следует напомнить, что поскольку определяемый параметр кажущегося сопротивления в магнитотеллурических методах, так же как в методах постоянного тока, является сложной интегральной характеристикой электропроводности исследуемой геоэлектрической среды, то при резкой дифференциации по удельному электрическому сопротивлению верхних слоев геоэлектрического разреза в области пунктов наблюдений, отсутствие учета ориентировки и размеров приемных линий может привести к существенным погрешностям исследований (в частности, получаемые диаграммы \mathbf{t} при различных ориентировках взаимно перпендикулярных приемных линий могут значительно отличаться). В этом случае можно рекомендовать усреднение соответствующих компонентов тензора \mathbf{t} , полученных различными приемными линиями с учетом их азимута (ориентировки относительно основной координатной системы).

Применение предлагаемого комплекса при обработке и интерпретации синхронных вариаций поля теллурических токов, регистрируемых по рациональной сети пунктов наблюдений, позволит существенно повысить эффективность исследований более сложных геоэлектрических разрезов и генерируемых электромагнитных полей в ходе геодинамических процессов. Для использования предлагаемой методики интерпретации (рассмотренной в [4] и настоящей статье) в прогностических целях, необходимо его включение в пространственно-временную сеть сейсмологических и других геофизических наблюдений.

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. Матевосян А.К. 1999. Оценка влияния выбора системы регистрации при исследовании анизотропии геоэлектрической среды. Известия НАН РА, Науки о Земле, LII, №2-3, с.84-88.
4. Матевосян А.К. 2000. Способ интерпретации вариаций геомагнитного поля. Известия НАН РА, Науки о Земле, LIII, №1-2, с.93-99.
5. Светов Б.С., Каринский С.Д., Кукса Ю.И., Одинцов В.И. 1997. Магнитотеллурический мониторинг геодинамических процессов. Известия РАН, Физика Земли, 5, с. 36-46.
6. Электроразведка. Справочник геофизика (под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко). 1989. М.: Недра, в двух книгах - 438 с, 378 с.
7. Electromagnetic methods in applied geophysics. (Investigations in Geophysics, 3 - edited by M.N.Nabighian), 1994, v.1, 513 p; v.2, 972 p.