

**О ВАРИАЦИЯХ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ  
ОБСЕРВАТОРИЙ  
«МАГАДАН» И «ПАРАТУНКА»**

*Мороз Ю.Ф.<sup>1</sup>, Мороз Т.А.<sup>1</sup>, Смирнов С.Э.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, morozyf@kscnet.ru; moroz@irk.ru*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, sergey@ikir.ru*

Представление о динамике электропроводности геологической среды можно получить с помощью передаточных магнитовариационных параметров, представленных в виде магнитного типпера и магнитного тензора. Магнитный типпер характеризует связь вариаций вертикальной составляющей геомагнитного поля с горизонтальными составляющими геомагнитного поля в одном пункте наблюдения. Магнитный тензор дает представление о связи горизонтальных составляющих вариаций геомагнитного поля при одновременном наблюдении в двух разнесенных пунктах наблюдений. Исследования магнитного типпера и тензора выполнены по данным синхронных наблюдений вариаций геомагнитного поля с дискретностью 1 с в обсерваториях «Магадан» и «Паратунка» в 2007 – 2008 гг.

**Вариации магнитного типпера**

По вариациям компонент  $H$ ,  $D$ ,  $Z$  имеется возможность изучить передаточную функцию в частотной области, которая получила название магнитного типпера. В основе получения типпера лежит предположение о существовании линейного соотношения вида [1]:

$$H_z = \hat{\mathbf{W}} \mathbf{H}_{\text{гид.}}, \text{ где } \hat{\mathbf{W}} = |W_{zx} W_{zy}| \text{ или}$$

$H_z = W_{zx} H_x + W_{zy} H_y$ , где  $H_z, H_x, H_y$  составляющие наблюдаемого магнитного поля,  $W_{zx}, W_{zy}$  компоненты индукционной матрицы (типпера), зависящие от частоты, распределения электропроводности в Земле и ориентации координатных осей. По компонентам индукционной матрицы определяются индукционные стрелки [5]:

$$\mathbf{ReW} = \text{Re}W_{zx} \mathbf{i} + \text{Re}W_{zy} \mathbf{j}$$

$$\mathbf{ImW} = \text{Im}W_{zx} \mathbf{i} + \text{Im}W_{zy} \mathbf{j}$$

По данным наблюдений вариаций геомагнитного поля в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан» изучена динамика магнитного типпера в 2007 – 2008 гг. Анализ показал, что типперы определяются более устойчиво на временном интервале не менее 5 суток. При этом когерентность между вертикальной и горизонтальными составляющими должна быть не менее 0.8. Для получения временных рядов магнитного типпера создана специальная программа, с помощью которой из банка вариаций геомагнитного поля формируются массивы заданной продолжительностью 5 суток. Для каждого массива определены магнитные типперы в диапазоне периодов от 300 до 10000 с. На рис.1 представлены временные ряды вещественных и мнимых частей магнитного типпера на периодах 300, 1000, 3000 и 10000 с. Известно, что вещественные стрелки связаны с активными электрическими токами, а мнимые – с реактивными. Величина мнимых стрелок определяется индукцией в проводящих слоях [2].

В обсерватории «Паратунка» мнимые стрелки более устойчиво определяются на периоде 1000 с, а в обсерватории «Магадан» - на периоде 300 с. На этих периодах в поведении модулей мнимых стрелок четко выражены годовые вариации. Данные периоды на кривых МТЗ приурочены к минимумам, связываемым с коровыми проводящими слоями. Следовательно, годовые вариации модулей мнимых индукционных стрелок характеризуют вариации электропроводности корового проводящего слоя, в котором концентрируются электрические токи, вызванные индукцией. По-видимому, за счет концентрации токов мы имеем более устойчивые значения и хорошо выраженные годовые вариации мнимых индукционных стрелок на периодах 1000 с и 300 с. Следует отметить, что годовые вариации в меньшей мере выражены и на других периодах. Это свидетельствует, что годовым изменениям электропроводности в той или иной степени подвержены различные толщи литосферы. Можно предположить, что годовые изменения электропроводности литосферы могут быть связаны с геодинамическими процессами, имеющими годовую цикличность, вызванную

степенью освещенности Земли при её годовом вращении вокруг Солнца. Данные процессы возможно приводят к изменению ширины и глубины литосферных разломов, степени их насыщенности гидротермальными растворами и уровня их минерализации, что проявляется в вариациях электропроводности литосферы.

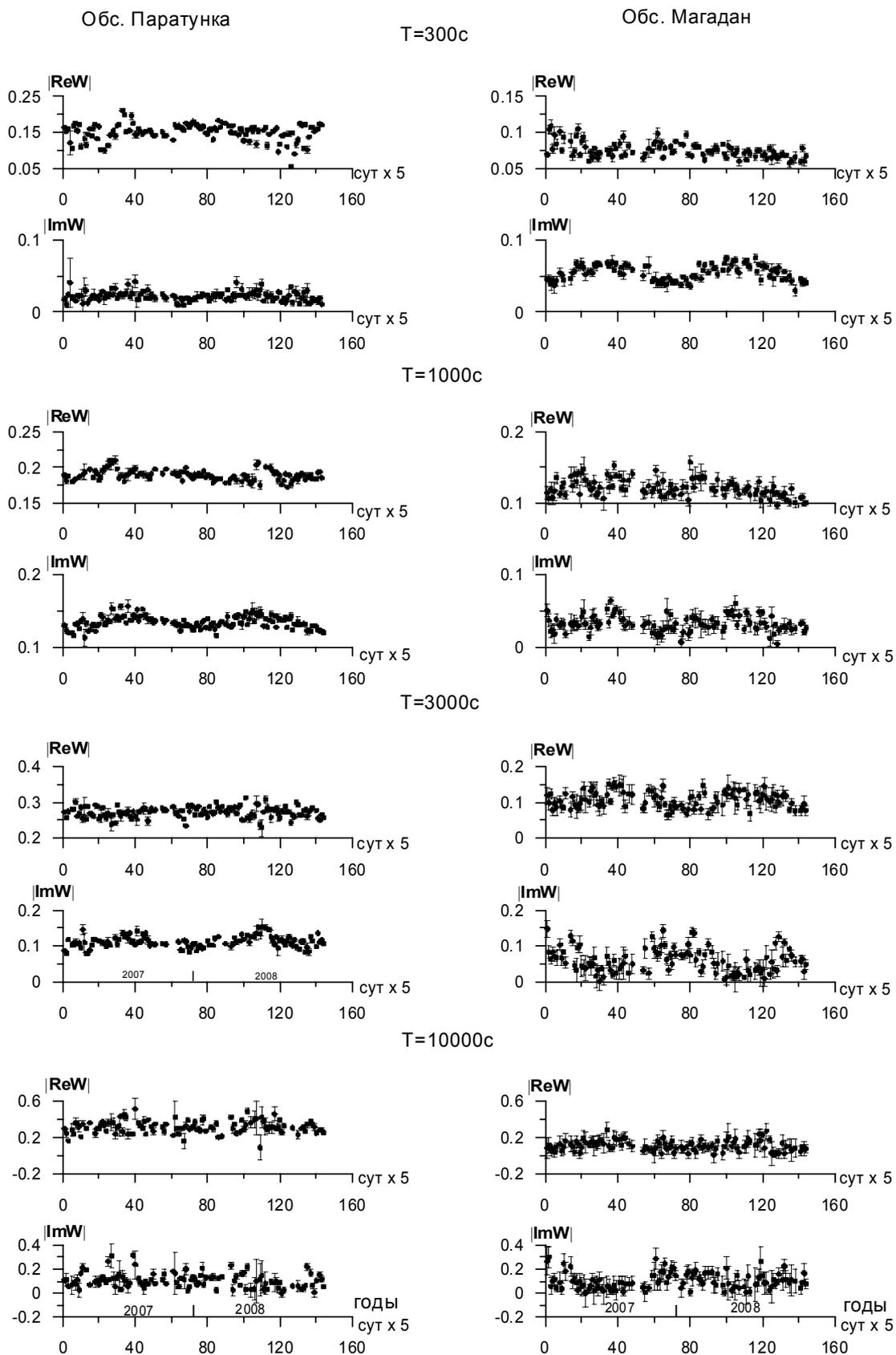


Рис.1. Временные ряды вещественной и мнимой частей типпера на периодах 300, 1000, 3000 и 10000 с.

### Вариации магнитного тензора

Пульсации и бухтообразные вариации геомагнитного поля в средних и низких широтах допускают аппроксимацию их плоской моделью. В рамках этой модели существует связь между горизонтальными векторами геомагнитного поля в двух точках земной поверхности в виде [Бердичевский, Жданов, 1981]:

$$\mathbf{H}_1 = \hat{\mathbf{m}} \mathbf{H}_2, \text{ где } \hat{\mathbf{m}} = \begin{pmatrix} m_{xx} & m_{xy} \\ m_{yx} & m_{yy} \end{pmatrix}, \text{ где } \hat{\mathbf{m}} - \text{ магнитный тензор, } m_{xx}, m_{xy}, m_{yx}, m_{yy} - \text{ комплексные}$$

компоненты тензора, зависящие от частоты, распределения проводимости в Земле и ориентации координатных осей.

В нашем случае, для обсерваторий «Паратунка» и «Магадан», это выражение представим в следующем виде:

$$\mathbf{H}^i = \hat{\mathbf{m}} \mathbf{H}^i, \text{ отсюда}$$

$$H_x^i = m_{xx} H_x^M + m_{xy} H_y^M$$

$$H_y^i = m_{yx} H_y^M + m_{yy} H_x^M,$$

где  $H_x^i$ ,  $H_y^i$  и  $H_x^M$ ,  $H_y^M$  - горизонтальные составляющие геомагнитного поля в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан».

Расстояние между обсерваториями почти 900 км. Поэтому возникает вопрос об устойчивости связи между векторами геомагнитного поля на таком расстоянии. Приближенные оценки свидетельствуют, что на периодах вариаций более 300 с длина электромагнитной волны превышает расстояние между пунктами наблюдений. Можно полагать, что связь между векторами геомагнитного поля будет устойчивой в диапазоне периодов 300 – 10000 с. В пользу этого свидетельствует высокая когерентность (более 0.8) между вариациями геомагнитного поля в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан».

Для определения компонент магнитного тензора использована программа, алгоритм которой основан на известной робастной методике, разработанной Дж. Ларсеном [Larsen, 1996, 1997]. Данная программа позволяет вычислять передаточные функции по электромагнитным полям, содержащим поля различного происхождения и даёт возможность не только определять передаточные функции, но и эффективно подавлять помехи.

Рассмотрим результаты мониторинга магнитного тензора. Анализ показал, что компоненты магнитного тензора в диапазоне периодов от 100 до 3000 с определяются более устойчиво на временном интервале равным 5 суткам. С помощью специальной программы двухлетний интервал синхронных регистраций вариаций геомагнитного поля в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан» был разбит на интервалы по 5 суток. На каждом интервале определены модули и фазы компонент магнитного тензора. Графики этих параметров на периодах 300, 1000 и 3000 с приведены на рис. 2. Графики основных компонент и их фаз имеют дисперсию меньше, чем дополнительные компоненты и их фазы. Характерно, что в поведении компонент магнитного тензора выражены годовые вариации, которые по амплитуде на многих графиках превышают в несколько раз дисперсию. В лучшей мере годовые вариации проявились в поведении фаз основных компонент на периодах 300 и 1000 с. Также они выражены в отдельных случаях на графиках дополнительных компонент и их фаз. Это свидетельствует, что годовые вариации в значительной мере связаны с изменением глубинной электропроводности сред в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан».

### Аномальные изменения магнитного типпера и тензора в связи с землетрясениями

Временные ряды компонент магнитного типпера и тензора сопоставлены с моментами сильных землетрясений с  $K \geq 6.3$ , произошедших в районах Камчатки и Магадана в 2007 – 2008 гг. Таких землетрясений три. Самое сильное землетрясение с  $M=7.7$  произошло 05.07.2008 г. в Охотском море. Эпицентр его располагался в 420 км от обсерватории «Паратунка» и в 1060 км от обсерватории «Магадан». Гипоцентр находится на глубине 594 км. Два других землетрясения с  $M=6.4$  и  $M=6.3$  произошли в районе южной Камчатки 30.05.2007 г. и 24.07.2008 г. Эпицентры этих землетрясений расположены на расстоянии 90 и 235 км от обсерватории «Паратунка», гипоцентры – на глубинах 128 и 36 км. Аномальные изменения параметров, которые можно связать с сильными землетрясениями, наиболее заметно проявились в поведении модуля вещественной индукционной стрелки на периоде 1000 с и компоненты  $m_{yy}$  магнитного тензора на периоде 300 с.

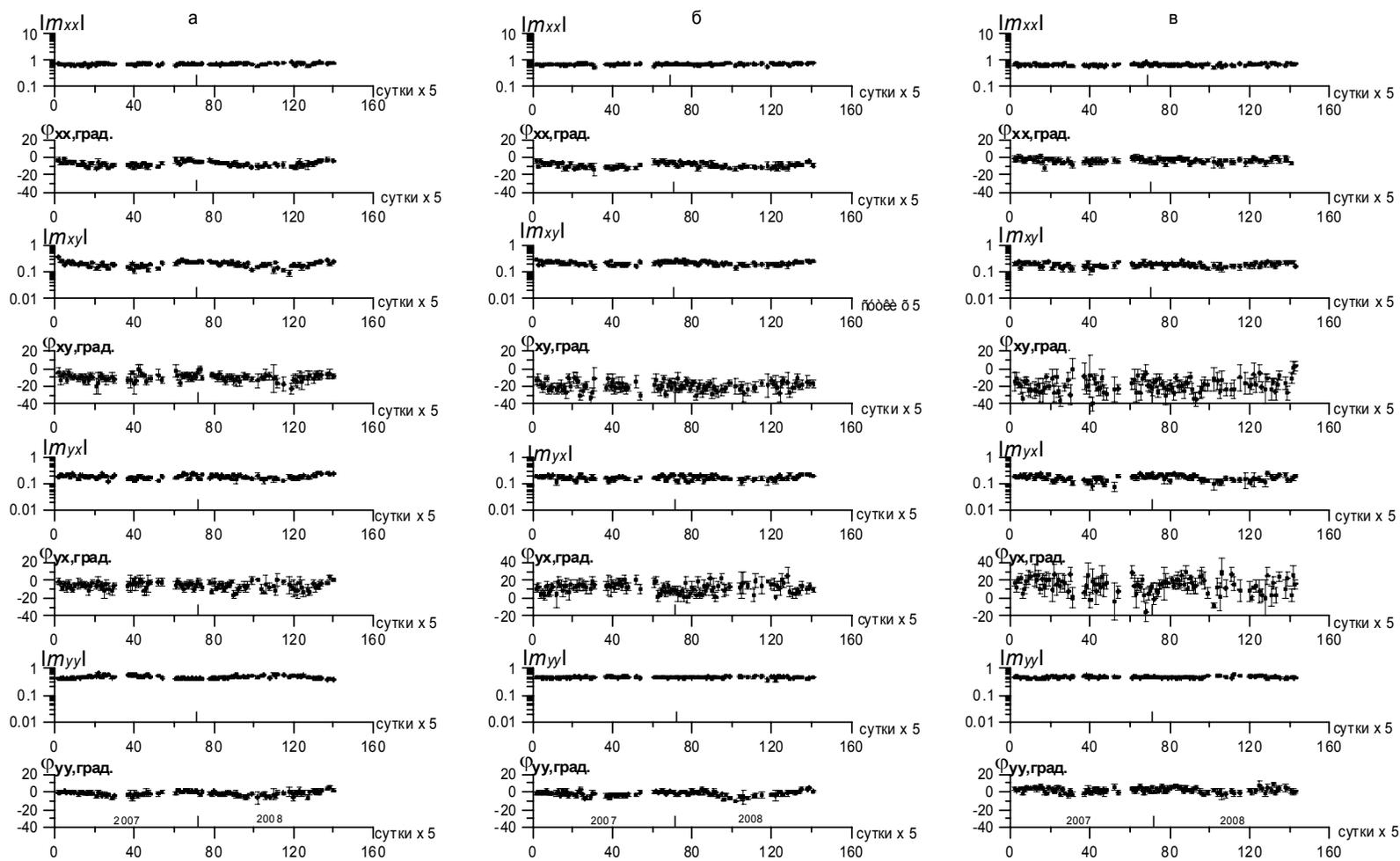


Рис.2. Временные ряды модулей и фаз компонент магнитного тензора на периодах 300 с (а), 1000 с (б) и 3000 с (в).

На рис.3 приведены временные ряды данных параметров на указанных периодах. На временной оси показаны моменты сильных землетрясений. В поведении временного ряда модуля вещественной стрелки отмечаются «скачкообразные» изменения, предвещающие землетрясения. Так, перед землетрясениями с  $M=7.7$  и  $M=6.4$  отмечаются «скачки» параметра  $|\text{Re}W|$ , превышающие дисперсию в 1,5 – 2 раза. Изменения произошли за 10 – 15 суток до землетрясений. Обратимся к временному ряду  $m_{yy}$ . В его поведении отмечается увеличение дисперсии, которое можно связать с сильными землетрясениями.

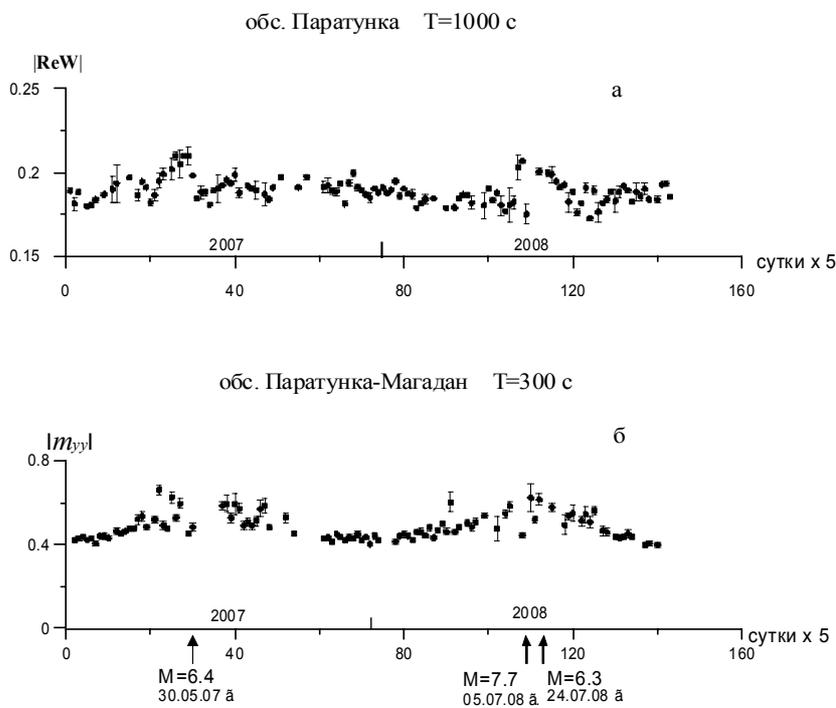


Рис.3. Временные ряды модуля вещественной индукционной стрелки (а) и компоненты магнитного тензора (б) на периодах 1000 с и 300 с. На временной оси показаны моменты землетрясений, магнитуды и даты.

Какова возможная природа аномалий магнитовариационных параметров? Параметр  $|\text{Re}W|$  характеризует геоэлектрическую неоднородность среды. Можно предположить, что геоэлектрическая среда испытывает резкие изменения при геодинамических процессах, предвещающих сильные землетрясения. Наряду с этим возможно нарушение связи горизонтальных векторов геомагнитного поля в обсерваториях «Паратунка» и «Магадан», что выражено увеличением дисперсии параметра  $m_{yy}$ . Не исключено, что нарушение связи может быть вызвано влиянием на ионосферу и магнитосферу электромагнитных волн, возникающих в литосфере в связи с землетрясениями.

#### Список литературы

1. Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра. 1981. 207 с.
2. Бердичевский М.Н., Нгуен Тхань Ван. Магнитовариационный вектор// Физика Земли. 1991. № 3. С. 52-62.
3. Larsen I.C., Mackie R.L., Manzella A., Fiodelisi A. and Rieven S. Robust smooth magnetotelluric transfer functions // Geophysical Journal International. 1996. V. 124. P. 801-819.
4. Larsen I.C. Noise reduction in electromagnetic time series to improve detection of seismic-induced signals// Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. 1997. V. 49. P. 1257-1265.
5. Schmucker U.. Anomaies of geomagnetic variations in the South wester United States. University of Colifornia Press, Berkelylos Angels-London, 1970. 165 с.