

УДК 550.837

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА В СВЯЗИ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА КАМЧАТКЕ

© 2015 г. Ю. Ф. Мороз, Т. А. Мороз

Представлено академиком РАН Е.И. Гордеевым 30.04.2014 г.

Поступило 12.05.2014 г.

DOI: 10.7868/S0869565215070208

Мониторинг магнитотеллурического импеданса дает возможность получить информацию о динамике электропроводности литосферы на различных уровнях. Модуль магнитотеллурического импеданса обладает повышенной чувствительностью к наличию локальных геоэлектрических неоднородностей. Однако фаза импеданса свободна от влияния таких неоднородностей. Поэтому мониторинг фазы импеданса позволяет получить в более “чистом” виде изменение электропроводности литосферы. Данный подход использован для интерпретации данных многолетнего электромагнитного мониторинга на Камчатке. В результате эксперимента впервые выявлен аномальный эффект в поведении фазы магнитотеллурического импеданса, связанной с сильной сейсмичностью в зоне поперечного глубинного разлома на Камчатке. Этому явлению и посвящено настоящее сообщение.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Мониторинг электромагнитного поля осуществляется на протяжении почти 13 лет на побережье Авачинского залива в пунктах Шипунский, Тундровый и Верхняя Паратунка (рис. 1). Измерения составляющих электромагнитного поля Земли проводятся один раз в минуту. Эксплуатация автоматизированных пунктов наблюдений и предварительная обработка данных осуществляются Камчатским филиалом Геофизической службы РАН.

*Институт вулканологии и сейсмологии
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Петропавловск-Камчатски
E-mail: morosyf@kschet.ru
Геологический институт
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Улан-Удэ*

В основе получения данных об электропроводности литосферы лежит связь между горизонтальными векторами электрического и магнитного полей в пункте наблюдения [1]:

$$\mathbf{E}_{\text{гор}} = [\mathbf{Z}]\mathbf{H}_{\text{гор}}, \quad [\mathbf{Z}] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

или в развернутом виде

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y, \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y, \end{aligned} \quad (2)$$

где $[\mathbf{Z}]$ – тензор импеданса, $Z_{xx}, Z_{xy}, Z_{yx}, Z_{yy}$ – комплексные компоненты тензора импеданса, зависящие от частоты, распределения удельных электрических сопротивлений в Земле и ориентации координатных осей.

По вариациям магнитотеллурического поля с помощью программы [7] определены компоненты тензора импеданса и его фазы в зависимости от периода вариаций. Результаты свидетельствуют [4]: когда в поведении временного ряда модуля импеданса выражены вариации, но они не проявляются в фазе импеданса, то действует эффект ρ , связанный с локальными геоэлектрическими неоднородностями. Если в поведении временного ряда фазы импеданса выражены аномальные изменения, то они свидетельствуют о глубинных изменениях электропроводности геологической среды.

Представление о глубинном геоэлектрическом разрезе на пунктах наблюдений дает рис. 2, где представлены амплитудные кривые МТЗ в сопоставлении со стандартной кривой кажущегося сопротивления. Характерно, что правые ветви кривых ρ_k расположены выше по уровню сопротивлений относительно стандартной кривой. Это свидетельствует о том, что кривые ρ_k подвержены влиянию региональных геоэлектрических неоднородностей. Следует отметить, что фазовые кривые на более высоких частотах отражают более глубинные части разреза, чем амплитудные. Это

хорошо видно на рис. 2, где на амплитудных кривых выражен только максимум и слабо выражена нисходящая ветвь, а фазовые кривые уже представлены нисходящей ветвью, отражающей увеличение электропроводности с глубиной. Максимум амплитудных кривых связывается с высокоомной литосферой. Нисходящие ветви амплитудных и фазовых кривых, выходящих в минимум, обусловлены проводящей астеносферой.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА

Анализ показал, что минимальный временной интервал, на котором можно получить компоненты тензора импеданса с погрешностью в единицы процентов, равен 5 сут. На этом временном интервале импеданс определяется в диапазоне от первых минут до первых часов. Для мониторинга электропроводности литосферы приняты временные ряды на периодах 500 и 1000 с, на которых модули и фазы импеданса определяются более устойчиво.

Результаты мониторинга фаз импеданса представлены на рис. 3. Во временных рядах имеются разрывы, связанные с техническими причинами. Фазы импеданса характеризуются дисперсией, которая может быть связана с точностью определения фаз и геологическим шумом, вызванным изменчивостью электропроводности геологической среды во времени. Стандартное отклонение фаз главного импеданса (за исключением 2009 г.) на пунктах Верхняя Паратунка, Тундровый и Шипунский на периоде 500 с не превышает 7° , 10° и 15° , на периоде 1000 с – 7° , 10° и 12° . Характерно, что в 2009 г. стандартное отклонение фазы импеданса существенно возрастает. В п. Верхняя Паратунка на периодах 500 и 1000 с оно составляет 33° и 22° , в п. Тундровый – 32° и 17° , в п. Шипунский – 25° и 40° . На периодах 3000 с и более на всех пунктах аномальный эффект затухает.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что аномальное увеличение дисперсии значений фазы главного импеданса в 2009 г. выражено на всех пунктах наблюдений электромагнитного поля Земли, расположенных на расстоянии до 150 км. Следовательно, выявленный эффект имеет региональный характер. Возникает вопрос о возможной его природе. На кривых МТЗ, приведенных на рис. 2, видно, что вариации с $T=500$ с приурочены к восходящей ветви амплитудных кривых, связанных с литосферным слоем повышенного удельного электрического сопротивления. На фазовых кривых вариации данного периода относятся к началу нисходящей ветви, обусловленной астеносферным слоем повышенной

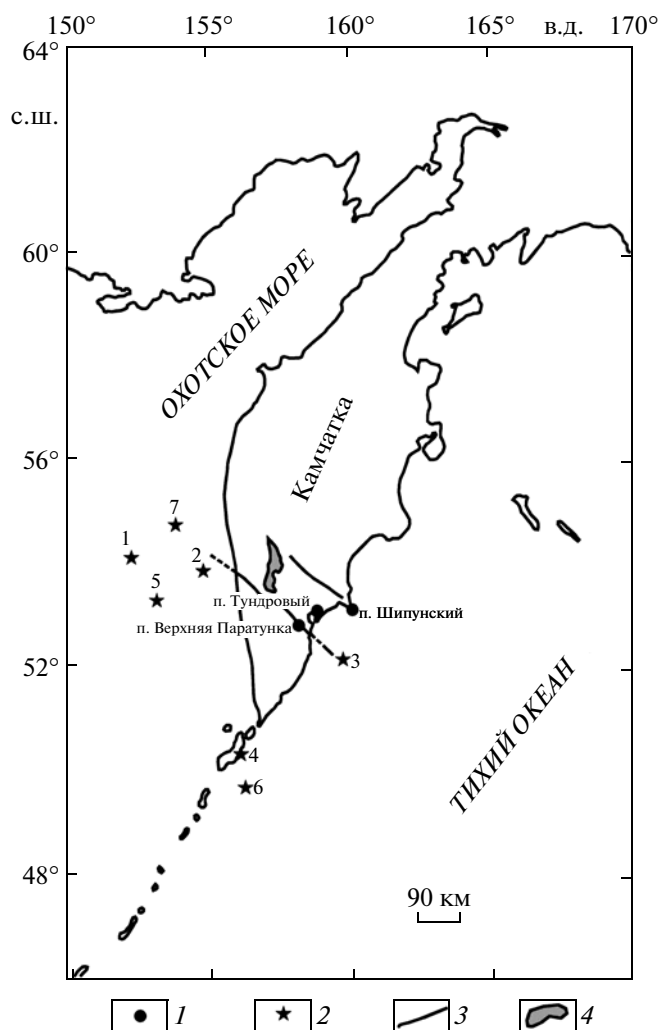


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений магнитотеллурического поля и эпицентров землетрясений. 1 – пункты наблюдений МТ-поля; 2 – эпицентры землетрясений, 3 – разломы, 4 – выходы древних пород (домелового фундамента). Цифрами обозначены номера землетрясений в табл. 1.

электропроводности. Вариации с периодом 3000 с и более приурочены почти к минимуму фазовой кривой, связанному с глубинным проводящим слоем. Из этого анализа можно судить, что увеличенная дисперсия фаз импеданса характерна для высокоомных частей литосферы. В области проводящей астеносферы дисперсия становится близкой к среднему фону за многолетний период.

Выявленный региональный эффект в аномальном увеличении дисперсии фаз импеданса можно объяснить процессами, связанными с сейсмичностью в районе Камчатского региона. Характерная особенность сейсмичности за последние десятки лет – сильные глубокие землетрясения в Охотском море. Эпицентры этих землетрясений приурочены к области, примыкающей к продолжению попе-

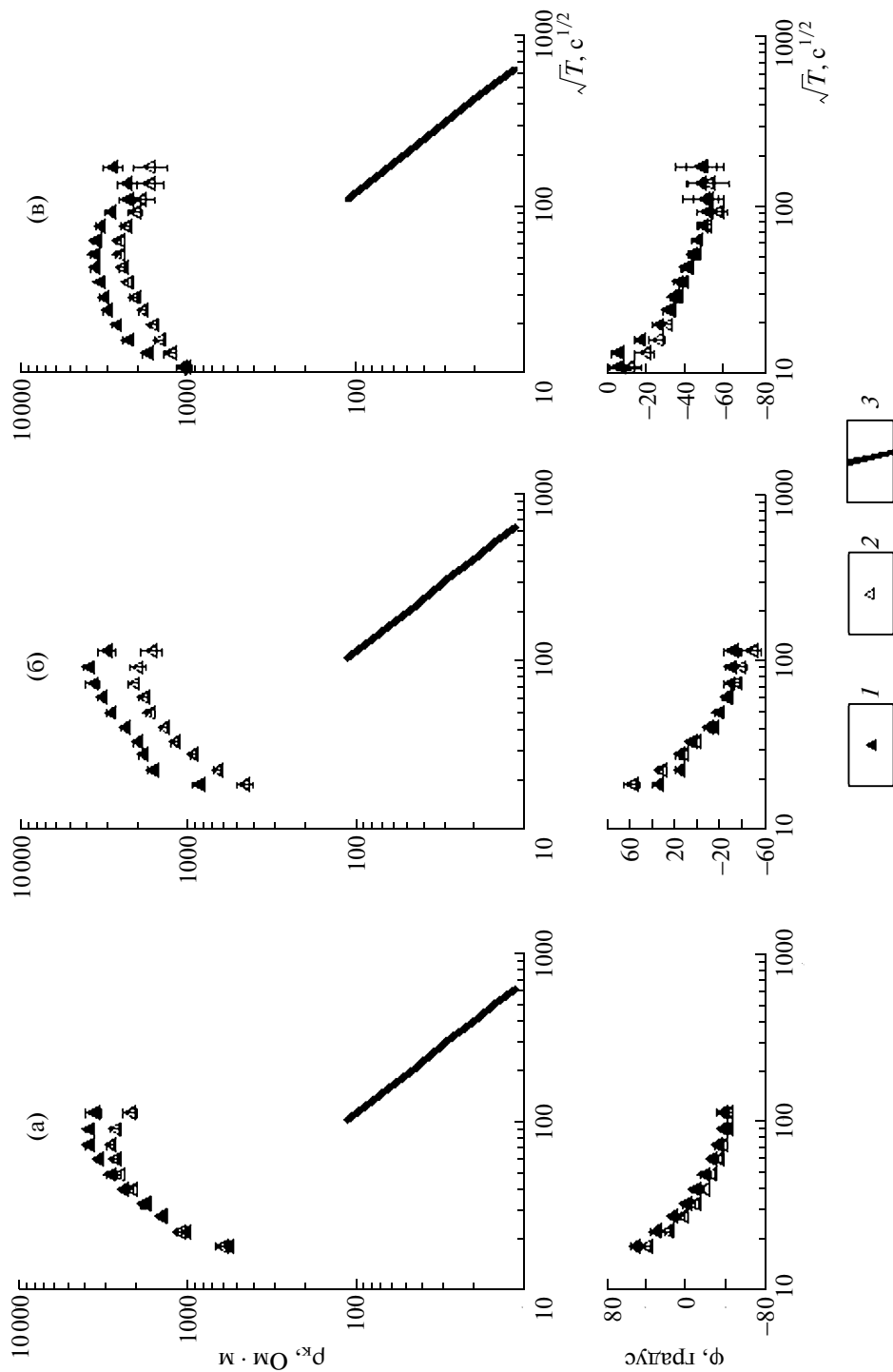


Рис. 2. Совмещенные кривые МТЗ по главным направлениям в пунктах Верхняя Паратунка (а), Тундровый (б) и Шилунский (в); 1, 2 – кривые МТЗ по двум главным направлениям, 3 – стандартная кривая.

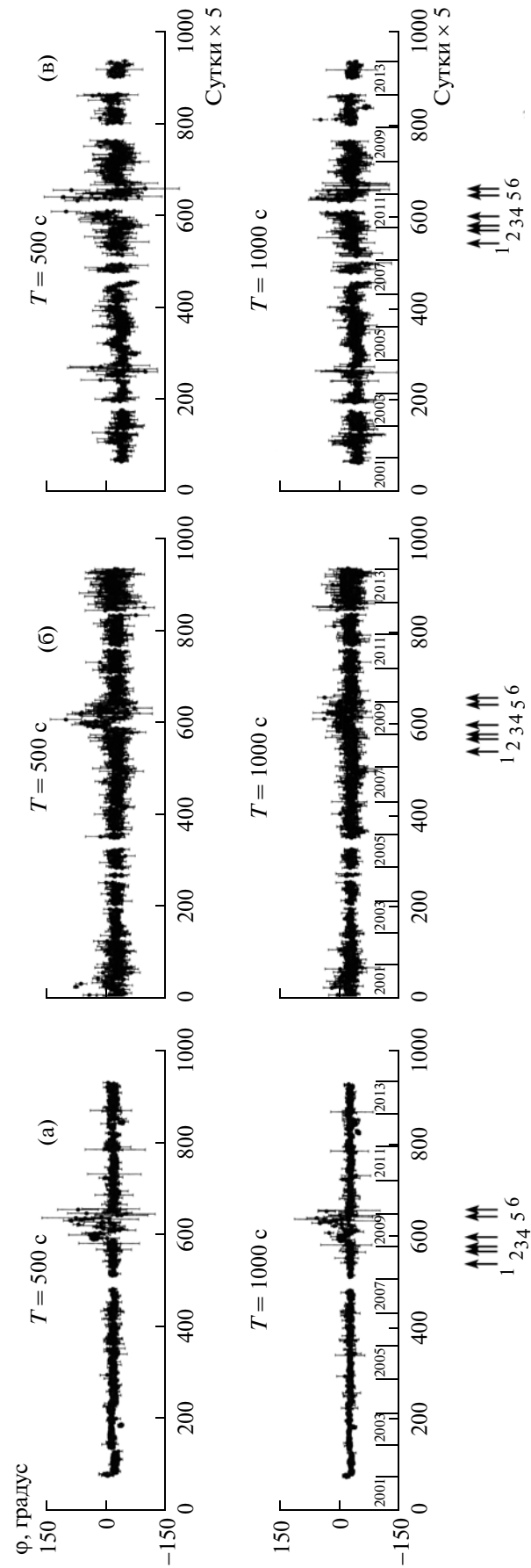


Рис. 3. Временные ряды фазы главного импеданса на периодах 500 и 1000 с в пунктах Верхняя Паратунка (а), Тундровый (б) и Шигунский (в). На временной оси стрелками показаны моменты землетрясений (см. табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Сведения о землетрясениях

№	Дата	Время, UTC	с.ш.	в.д.	Глубина, км	Класс	Магнитуда
1	05.07.2008 г.	02:12:01.100	54.120	152.200	594.0	14.2	7.7
2	24.11.2008 г.	09:02:53.100	53.870	154.790	559.0	16.9	7.3
3	14.11.2009 г.	05:14:18.970	52.166	159.704	11.1	12.5	5.5
4	21.04.2009 г.	05:26:09.980	50.367	156.063	179.6	13.6	6.1
5	10.12.2009 г.	02:30:55.710	53.272	153.131	597.5	14.4	6.5
6	23.02.2010 г.	10:43:10.040	49.688	156.210	80.4	12.7	5.6
7	24.05.2013 г.	05:44:47.040	54.755	153.785	629.8	17	7.4

речного глубинного разлома северо-западного простирания, пересекающего Южную Камчатку. Этот разлом выявлен по геолого-геофизическим данным [3]. Он является юго-восточной границей Петропавловск-Малкинской зоны поперечных дислокаций [2]. По магнитотеллурическим данным разлом проникает на глубину 100 км и более. Предполагается, что он имеет продолжение в Охотское море и в акваторию Тихого океана [5, 6].

Рассмотрим в районе Камчатки землетрясения с $M > 5.5$ за период с конца 2008 до начала 2010 г. (табл. 1). Эпицентры данных землетрясений показаны на рис. 1.

Сильнейшее землетрясение № 1 в Охотском море вызвало усиление сейсмичности в районе глубинного разлома. Землетрясение № 2 и землетрясение № 3, эпицентр которого находился в районе пунктов наблюдений электромагнитного поля, близки по времени проявления. Можно предположить, что землетрясения вызвали активизацию процессов в зоне глубинного разлома. В результате такой активизации возможно усиление геоэлектрической неоднородности литосферы. Геоэлектрическая среда в период сейсмической активизации является неустойчивой. Также неустойчивой становится связь между вариациями электротеллурического поля и вариациями геомагнитного поля, что проявилось увеличенной дисперсией фаз главного импеданса. Следует

отметить, что сильное землетрясение № 7 в 2013 г. не вызвало такой активизации в зоне поперечных дислокаций. Здесь в районе наблюдений электромагнитного поля не произошло близкого землетрясения. В поведении фазы магнитотеллурического импеданса отмечается увеличенная дисперсия в 2013 г. только в п. Тундровый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. С. 677.
2. Геология СССР. Т. 31. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.
3. Карта полезных ископаемых Камчатской области. 1 : 500000 / Под ред. А.Ф. Литвинова, М.Г. Патоки, Б.А. Марковского. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. Лист XIII.
4. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. // Физика Земли. 2012. № 4. С. 3–13.
5. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Науч. мир, 1998. 164 с.
6. Шумараев В.Н. В кн.: Геофизические методы разведки в Арктике. Л., 1971. С. 55–57.
7. Larsen I.C., Mackie R.L., Manzella A., Fiodelisi A., Rieven S. // Geophys. J. Intern. 1996. V. 124. P. 801–819.