

Аномальные изменения параметров теллурического тензора в связи с сейсмичностью на Камчатке.

Ю.Ф. Мороз^{1,2}, Е.С. Рылов¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: zaparin16@mail.ru*

² *Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, 670047*

Рассмотрены особенности в поведении электромагнитного поля Земли за период 2001-2017 гг., и динамики электропроводности среды. В поведении теллурического тензора выявлены аномальные возмущения, которые могут быть связаны с землетрясениями 24.05.2013 г. ($K_s - 17$, $M_l - 7.8$). Обсуждается возможная природа аномалий фазы импеданса.

Введение

Для изучения динамики электропроводности геологической среды можно использовать вариации магнитотеллурического поля, связанного с магнитосферными и ионосферными источниками [6]. В магнитотеллурическом поле повышенной чувствительностью к геоэлектрическим неоднородностям обладает электрическое поле. Эта особенность положена в основу электротеллурического мониторинга с целью изучения динамики электропроводности геологической среды в связи с сейсмичностью. Мониторинг электротеллурического поля осуществляется синхронно в пунктах на расстоянии 50-100 км. В настоящей работе рассмотрены результаты многолетнего мониторинга в двух пунктах Верхняя Паратунка и Тундровый, расположенных на побережье Авачинского залива Тихого океана.

Краткая геолого-геофизическая характеристика района

Район исследований характеризуется сложным геологическим строением. Здесь, в отличие от других районов полуострова, где преобладают тектонические сооружения северо-восточного простирания, развиты поперечные структуры северо-западной ориентации, получившие название Малко-Петропавловской зоны дислокаций [3]. Она включает Начикинский грабен и ряд других структур. О северо-западной ориентировке глубинных структур свидетельствуют магнитные и гравитационные поля [5,9]. В поведении полей хорошо выражены зоны градиентов, вытянутых в северо-западном направлении. Пункты наблюдений Верхняя Паратунка и Карымшина расположены в подобной зоне, связываемой с крупным глубинным разломом, разграничивающим крупные тектонические сооружения. Эти особенности геофизических полей нашли отражение на тектонической схеме Южной Камчатки [1].

Следует иметь в виду, что пункты мониторинга электротеллурического поля располагаются на побережье Авачинского залива и вблизи Авачинской бухты. Проводимость осадочно-вулканогенного чехла на суше составляет первые десятки См и возрастает примерно на 7000 См в Авачинском заливе и на 20000 См в районе глубоководного желоба. Резкий контраст проводимости верхнего слоя на суше и в акватории океана проявляется в виде берегового эффекта. Данный эффект сильно влияет на поведение электротеллурического поля в пунктах наблюдения, что необходимо учитывать при изучении электропроводности земной коры и верхней мантии. Важно отметить, что напряженность и поляризация электрического поля также зависят от распределения локальных и региональных геоэлектрических неоднородностей. Геологические данные свидетельствуют, что на исследуемой территории выделяются геологические тела и тектонические нарушения размерами от первых десятков до сотен и более метров [3]. Поэтому в районе мониторинга электротеллурического поля высока вероятность наличия геоэлектрических неоднородностей, параметры которых могут испытывать временные изменения в связи

с геодинамическими процессами в районах повышенной сейсмической активности Южной Камчатки.

Методика и результаты мониторинга теллурического тензора

Регистрация разности потенциалов электротеллурического поля производилась с использованием системы измерительных линий. Азимуты линий в п. Тундровый, в п. Верхняя Паратунка. В качестве заземлений использованы свинцовые электроды, опущенные на глубину 2-2,5 м. Измерения разности потенциалов электротеллурического поля производятся с помощью радиотелеметрической системы. Значения разности потенциалов регистрируются один раз в минуту. Эксплуатация автоматизированных пунктов наблюдений земных электрических токов и предварительная обработка данных осуществляется Камчатским филиалом геофизической службы РАН.

В основе мониторинга связи между горизонтальными векторами электрического поля в двух точках земной поверхности является соотношение в виде [2]:

$$\mathbf{E}_1 = \hat{t}\mathbf{E}_2; \text{ где } \hat{t} = \begin{vmatrix} t_{xx} & t_{xy} \\ t_{yx} & t_{yy} \end{vmatrix}$$

где \hat{t} - теллурический тензор, t_{xx} , t_{xy} , t_{yx} , t_{yy} – комплексные компоненты тензора, зависящие от частоты, распределения проводимости в Земле и ориентации координатных осей.

Для изучения теллурического тензора использованы временные ряды разности потенциалов электрического поля в пунктах Верхняя Паратунка и Тундровый за период с 2001 по 2017 год. Во временных рядах имеется двухгодичный пропуск, обусловленный прекращением регистрации в 2010-2011 гг. в связи с техническими проблемами. Для определения компонент теллурического тензора использована программа, алгоритм которой основан на известной робастной методике, разработанной Дж.Ларсеном [10,11]. Данная методика спектральной обработки создана специально для вычисления передаточных функций по электромагнитным полям, содержащим поля различного происхождения, и позволяет не только определять передаточные функции, но и эффективно подавлять помехи. Исходные данные для обработки представляют собой числовые массивы значений напряженности электротеллурического поля с минутным интервалом для каждого канала. Длина временного массива определяет диапазон периодов, для которых рассчитывается теллурический тензор и устойчивость (точность) полученных значений компонент тензора. Предварительно выполнен расчет для различных временных массивов (5, 10, 15, 20, 30 суток и др.). Анализ показал, что более устойчивые значения компонент тензора определяются на временном массиве, равным 20 суткам. Для обработки многолетних временных рядов создана специальная программа, которая автоматически из банка данных формирует синхронные массивы напряженности электрического поля по четырем каналам заданной продолжительности.

По данным обработки получены временные ряды компонент тензора на периодах 100, 200, 450, 1000, 2000, 3000 с. Мы уже отмечали, что компоненты тензора зависят от направления, периода вариаций и распределения электропроводности геологических сред в пунктах наблюдений. Если закрепим период вариаций, то в заданном направлении компонента тензора даст возможность контролировать изменение электропроводности в пп. Верхняя Паратунка и Тундровый. Анализ временных рядов модулей и фаз компонент тензора показал, что большей информативностью характеризуется компонента t_{yy} на периодах 450 и 1000 с. В поведении модуля этой компоненты выражена бухтообразная вариация в период с 2013 по 2015 год (рис. 1а).

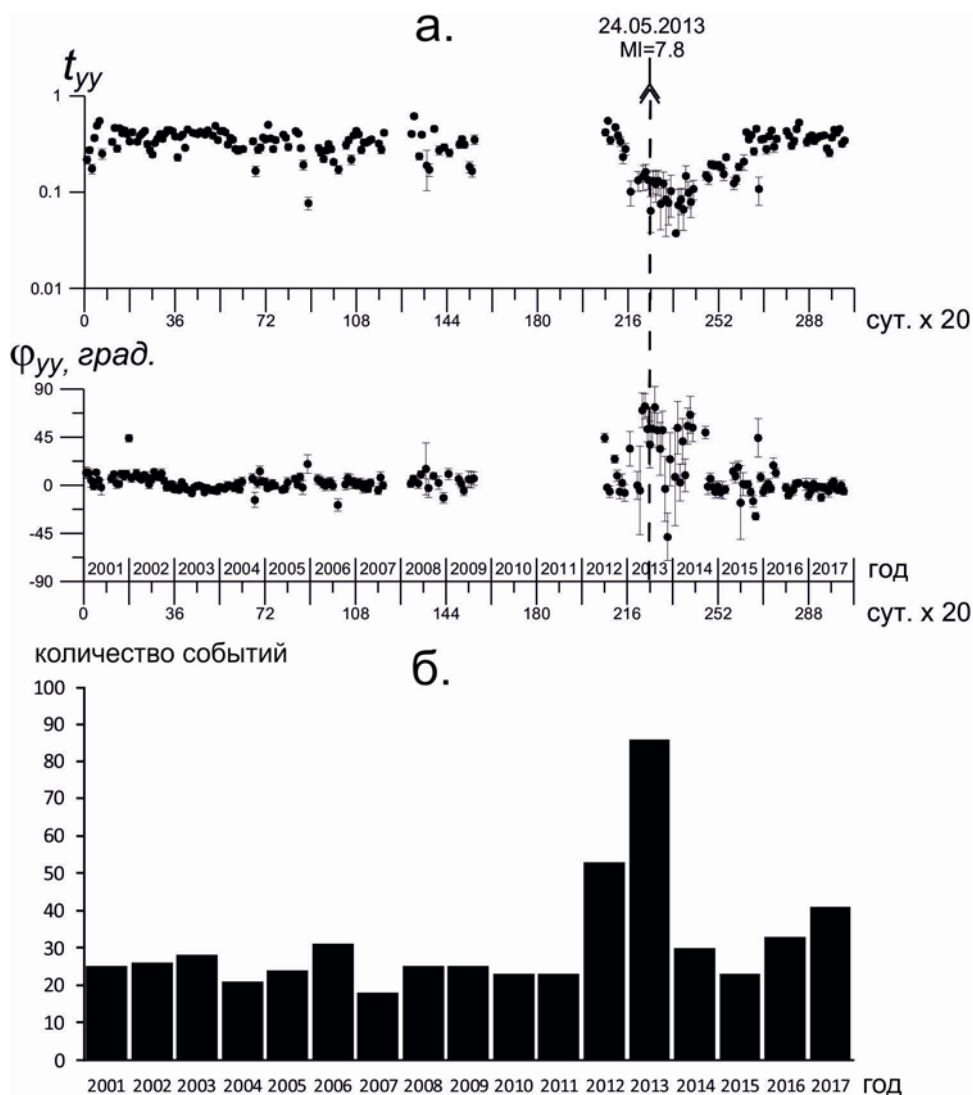


Рис. 1. Сопоставление временного ряда компоненты тензора, его фазы (а) и гистограммы землетрясений с $K_s \geq 12$ (б). Пунктиром обозначено землетрясение 24.05.2013 года.

Амплитуда вариации существенно превышает ошибку определения модуля компонент. Важно отметить, что бухтообразная аномалия модуля компоненты характеризуется увеличением дисперсии ее фазы. Рассмотрим возможную природу аномального поведения теллурического тензора. Анализ показал, что выявленная аномалия не связана с влиянием метеопараметров. Гистограмма землетрясений с $K \geq 12$ (рис. 1б) в районе п-ва Камчатки свидетельствует о высокой сейсмической активности в 2013 г., которая связана с сильнейшим Охотоморским землетрясением, произошедшим вблизи Южной Камчатки в мае указанного года. Это землетрясение характеризуется большим количеством афтершоков, определившим высокую сейсмическую активность 2013 г. Приуроченность аномалии теллурического тензора во времени к повышенной сейсмической активности свидетельствует о возможной их связи с динамическими процессами, предворяющими и сопровождающими сильные землетрясения. Существуют представления, что эти процессы при сильных землетрясениях происходят в значительных по объему блоках литосферы, составляющих сотни км [8]. Важную роль в возникновении аномальных изменений электропроводности среды отводится зоне глубинных разломов, пересекающих южную Камчатку в северо-западном направлении. Зона разломов выражена в юго-восточной части южной Камчатки в виде Петропавловск-Малкинской зоны поперечных дислокаций. В районе этой зоны, как мы уже отмечали, находятся пункты Верхняя

Паратунка и Тундровый. При тектонических напряжениях, вызванных землетрясением, возможны деформации геологической среды, изменение пористости пород, минерализации растворов, насыщающих породы и т.д. Эти явления будут выражены различным образом в пунктах наблюдения Верхняя Паратунка и Тундровый, отличающихся геологическим строением. Возможно, они привели к появлению или изменению геоэлектрических неоднородностей в электротеллурическом поле в виде различных эффектов (индукционный, гальванический, концентрации и др.), выраженных в аномальном поведении модуля и фазы компоненты теллурического тензора.

Авторы выражают благодарность лаборатории геофизических исследований Камчатского филиала геофизической службы РАН за предоставление данных мониторинга.

Список литературы

1. *Апрелков С.Е.* Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки // Геотектоника. 1971. № 2. С. 47 – 61.
2. *Бердичевский М.Н., Жданов М.С.* Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра. 1981. 207 с.
3. *Геология СССР. Т. 31.* Камчатка, Курильские и Командорские острова. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.
4. Геологическая карта. Южно-Камчатская серия. Масштаб 1:200000. / Под ред. В.С. Шеймович, Б.А. Марковский. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. Л. N-57-XXVII
5. *Декин Г. П., Зубин М. И.* Рельеф основных поверхностей раздела земной коры Камчатки // Геофизические поля северо-запада Тихоокеанского подвижного пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1976. С.44 – 55.
6. *Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А.* Исследование динамики геоэлектрической среды по данным электротеллурического поля // Вулканология и сейсмология. 2009. № 1. С. 39 – 48.
7. *Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г., Мороз Т.А.* Глубинная геоэлектрическая модель Петропавловского геодинамического полигона на Камчатке // Физика Земли. 2001. № 6. С.58–66.
8. *Резниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука. 1976. С. 9 – 27.
9. *Ривош Л.А.* О тектонике Камчатского полуострова и дна прилегающих к нему морских районов по геофизическим данным // Геология и геофизика. 1963. № 6. С. 30 – 48.
10. *Larsen I.C., Mackie R.L., Manzella A., Fiodelisi A., Rieven S.* Robust smooth magnetotelluric transfer functions // Geophysical Journal International. 1996. V. 124. P. 801 – 819.
11. *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. 125