

МЕТОД ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Мороз Ю.Ф.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск- Камчатский, moroz@irk.ru

Существует представление, что в горизонтально-однородных средах вертикальное электротеллурическое поле равно нулю (модель плоской первичной электромагнитной волны). При возникновении геоэлектрической неоднородности появляются вариации вертикального электрического поля. Это дает возможность по горизонтальным и вертикальной составляющим электрического поля (т.е. в трехмерном пространстве) контролировать поведение геоэлектрической неоднородности среды. Для разработки метода необходимо убедиться в правомерности использования модели плоской первичной электромагнитной волны.

Оценка вертикальных электрических токов

Для определения вертикальной компоненты электрического поля в первичной электромагнитной волне более эффективны измерения в водных акваториях, представляющих собой однородные изотропные среды. Такой эксперимент по измерению вертикальной составляющей электротеллурического поля в озере Байкал был выполнен Виноградовым П.А. [4]. По данным эксперимента отношение $E_z/E_{гор}$ для короткопериодных вариаций меняется от 1/10 до 1/65. При этом не указывается, для каких конкретных периодов получены указанные отношения. Так как измерения электротеллурического поля производились с помощью аналоговой аппаратуры, то записи во времени были ограничены, а точность их была невысокой.

Поэтому мы вновь вернулись к измерениям вертикальной электрической компоненты в водной среде. Регистрация электротеллурического поля производилась в зимний период 2006 г. одновременно на озере Байкал и на береговой станции в п. Тырган с резко выраженной геоэлектрической неоднородностью среды. На озере Байкал пункт наблюдений находился в его средней части (рис. 1).

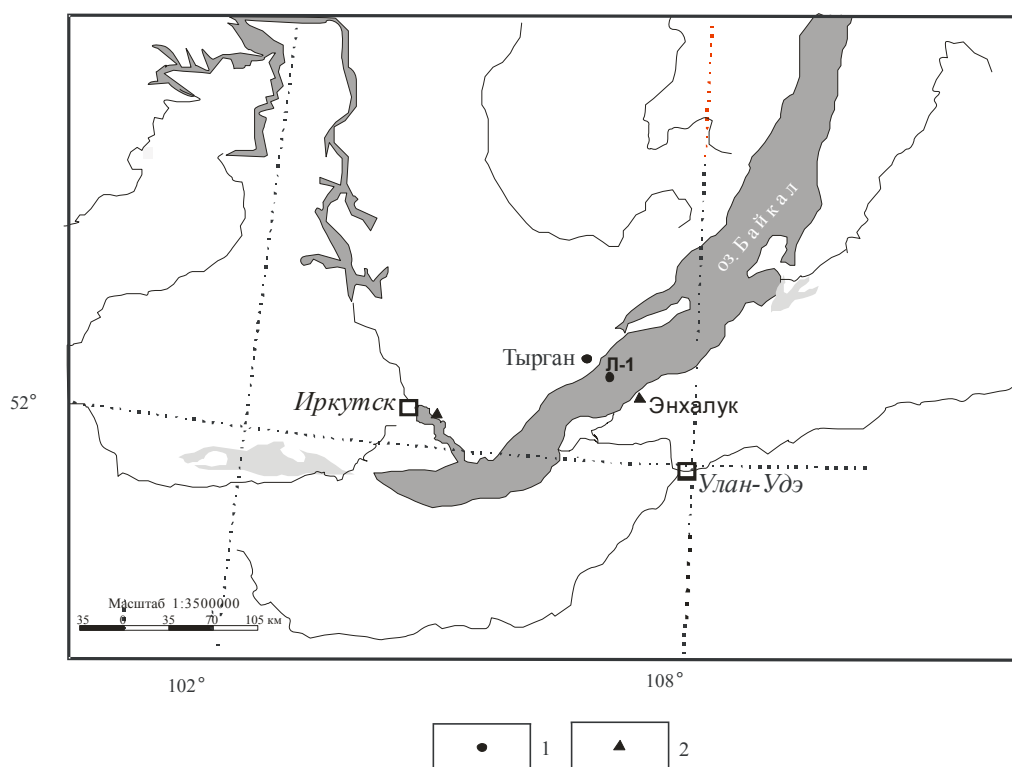


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений на оз. Байкал.
Условные обозначения: 1 – пункты наблюдений электротеллурического поля - Л-1 (2006 г.) и п. Тырган (2003-2006 гг.); 2 – геомагнитные обсерватории.

Глубина озера здесь равна 1 км. Наблюдения выполнены со льда озера в период с 02.02.06 – 10.04.06 гг., когда его толщина была не менее 1 м. Для измерения горизонтальных составляющих электротеллурического поля использованы основные линии длиной 500 и дублирующие 250 м. Линии ориентированы вдоль и поперек оз. Байкал. Для измерения вертикальной составляющей электротеллурического поля использована линия длиной 250 м.

В пункте Тырган одновременно осуществлялась регистрация горизонтальных и вертикальной составляющих электротеллурического поля. Горизонтальные составляющие ориентированы по направлению осей геоэлектрической неоднородности среды. Для регистрации вертикальной составляющей поля использована скважина глубиной 44 м, затопнированная глиной.

Обратимся к данным совместной регистрации вертикальной и горизонтальных составляющих электрического поля на оз. Байкал, приведенных в качестве примера на рисунке 2.

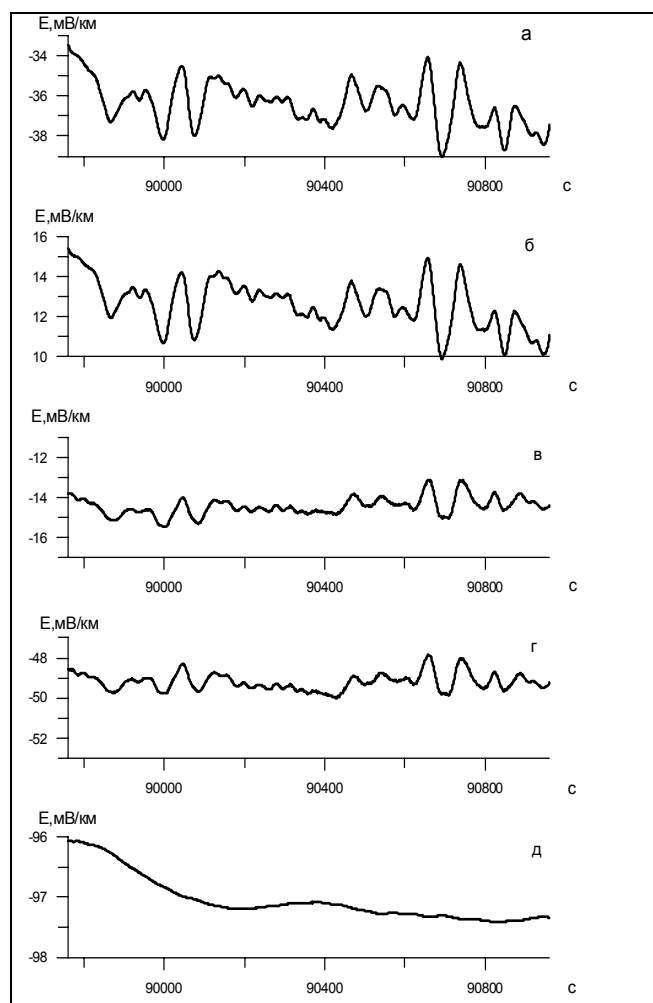


Рис. 2. Графики напряженности электротеллурического поля. а и б – продольные горизонтальные составляющие поля для линии - 500 и 250 м; в и г – поперечные горизонтальные составляющие поля длиной - 500 и 250 м; д – вертикальная составляющая поля для линии – 250 м. Время наблюдений: 13.03.06 г. (01 ч 01 м 00 с – 01 ч 06 м 00 с).

В поведении горизонтальных составляющих электротеллурического поля проявились короткопериодные колебания ($T = 30-40$ сек). Интенсивность продольного электротеллурического поля больше поперечного в несколько раз. Это, по-видимому, связано с поляризацией поля из-за влияния геоэлектрической неоднородности, создаваемой вытянутой впадиной озера. Следует отметить, что данные вариации не выражены в вертикальной составляющей поля.

Рассмотрим сопоставление составляющих электротеллурического поля, зарегистрированных одновременно на оз. Байкал и в п. Тырган. Графики на рис. 3 приведены с дискретностью 10 с. С такой дискретностью осуществляется регистрация поля в п. Тырган. На рис. 3 видно, что вариации с периодами в первые минуты хорошо выражены в горизонтальных составляющих на оз. Байкал и во всех составляющих в п. Тырган. В вертикальной составляющей поля на оз. Байкал данные вариации отсутствуют. В то же время в обоих пунктах, как в горизонтальных, так и в вертикальных составляющих поля проявилась длиннопериодная вариация.

Полупериод этой вариации в вертикальной компоненте на оз. Байкал равен примерно 10 мин. Это свидетельствует о зависимости интенсивности вариаций вертикального поля от их периода.

Оценки показывают, что на оз. Байкал отношение вертикальной составляющей поля к горизонтальным в зависимости от периода выглядит следующим образом. На периодах от первых секунд до первых десятков секунд это соотношение составляет тысячные и сотые доли единицы. При увеличении периодов до первых минут данное соотношение не превышает 0.1 и только на периодах от первых десятков минут до 1 часа оно возрастает до 0.5-1.

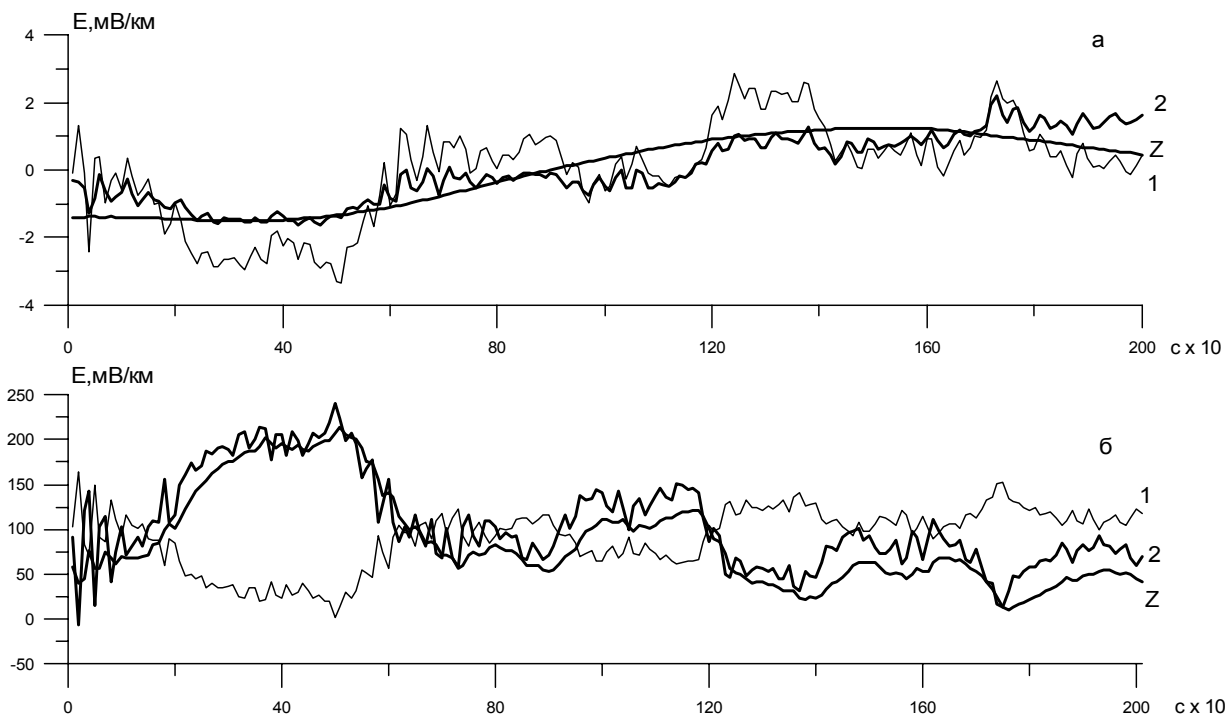


Рис. 3. Сопоставление графиков напряженности электротеллурического поля на оз. Байкал (а) и в п. Тырган (б). 1 и 2 – продольные и поперечные составляющие поля для линий – 250 м. Z – вертикальные составляющие поля для линии – 250 м на озере (а) и 40 м в п. Тырган (б). Время наблюдений: 11.03.06 г. (1ч 26м 25с – 1ч 59м 45с).

Выполненный анализ свидетельствует, что в средней части озера вариации с периодами от первых секунд до первых минут практически отсутствуют в вертикальном электротеллурическом поле. Это можно объяснить тем, что водная толща и подстилающие ее низкоомные осадки в первом приближении представляют собой однородную среду, в которой длина электромагнитной волны на коротких периодах соизмерима с шириной оз. Байкал. В такой однородной среде вертикальные электрические токи близки к нулю. Полученный результат свидетельствует в пользу модели плоской волны. Он согласуется с приближенными оценками, приводимыми в работах [1, 3].

Появление в вертикальной компоненте электротеллурического поля вариаций с периодами от первых десятков минут до часа и возможно более связано, по-видимому, с влиянием геоэлектрической неоднородности за счет бортов Байкальской впадины. Оценки показывают, что длина электромагнитной волны на указанных периодах существенно превышает ширину оз. Байкал.

Таким образом, эксперимент показывает, что вариации электротеллурического поля в диапазоне периодов от первых секунд до первых минут связаны с геоэлектрической неоднородностью среды. Следовательно, вертикальное электрическое поле совместно с горизонтальным можно использовать для контроля за геодинамическими процессами.

Электрический типпер

По аналогии с геомагнитным полем [2, 5, 7] связь между вертикальной и горизонтальными составляющими электротеллурического поля в частотной области можно представить в следующем виде:

$$E_z = \hat{P} E_{\text{гор}},$$

$$\text{где } \hat{P} = \begin{bmatrix} P_{zx} & P_{zy} \end{bmatrix}$$

$E_z = P_{zx} E_x + P_{zy} E_y$, где E_z, E_x, E_y – составляющие электрического поля, P_{zx}, P_{zy} – компоненты матрицы, зависящие от частоты, распределения электропроводности в Земле и ориентации координатных осей.

Матрицу \hat{P} мы назовем электрическим типпером, по аналогии с магнитным типпером (tipper), введенным К. Возоффом [6]. Как и магнитный типпер, электрический типпер представляет собой матрицу опрокидывания, преобразуя горизонтальную составляющую в вертикальную. Электрический типпер может быть представлен в виде вещественной и мнимой стрелок:

$$\mathbf{ReP} = \text{Re } P_{zx} \mathbf{I}_x + \text{Re } P_{zy} \mathbf{I}_y$$

$$\mathbf{ImP} = \text{Im } P_{zx} \mathbf{I}_x + \text{Im } P_{zy} \mathbf{I}_y$$

Вектор \mathbf{ReP} характеризует влияние активных избыточных токов, находящихся в фазе с горизонтальным электрическим полем. Вектор \mathbf{ImP} отражает влияние реактивных избыточных токов, фаза которых отличается от фазы горизонтального электрического поля на $\pi/2$. В двумерной модели вещественные и мнимые стрелки коллинеарны.

Результаты мониторинга

Рассмотрим данные мониторинга электрического типпера в п. Тырган (рис. 1). Дискретность регистрации один раз в 10 секунд. Горизонтальные линии MN имеют длину 500 м, дублирующие 250 м. Точность определения компонент типпера зависит от длины временного интервала и когерентности между вертикальной и горизонтальными составляющими электрического поля. Поэтому предварительно выбраны оптимальные условия, при которых компоненты типпера определяются устойчиво в диапазоне периодов от первых минут до первых часов. Анализ показал, что при регистрации с дискретностью 10 с временной интервал должен быть не менее 3 суток, а когерентность не менее 0.8. Для обработки создана специальная программа, позволяющая из поступающего массива цифровых данных формировать временные интервалы необходимой длины и определять компоненты типпера в широком диапазоне периодов. В результате обработки данных получены временные ряды параметров типпера на периодах от 70 с до 12 000 с. Сравнительный анализ временных рядов в указанном диапазоне периодов показывает, что аномальные изменения типпера в связи с землетрясениями выражены более контрастно на периодах 100-1 000 с. На более длинных периодах аномальные возмущения затухают. На периоде 12 000 с они практически уже не выражены.

На рис. 4 в качестве примера приведены модули вещественных и мнимых стрелок на периоде 330 с. Временные ряды указанных параметров сопоставлены с моментами землетрясений, происшедших за рассматриваемый период на эпицентральных расстояниях до 300 км. В графиках видны аномальные изменения, которые связаны с землетрясениями. Аномалии проявляются до землетрясений.

Какова природа выявленных аномальных изменений? По-видимому, на поведение типпера могут влиять локальные геоэлектрические неоднородности земной коры, вызывающие гальванические аномалии электрического поля. Такой неоднородностью является разлом в районе пункта наблюдения. При геодинамических процессах, связанных с подготовкой землетрясения, возможно изменение степени обводненности и минерализации вод в зоне разлома, что может соответственно изменить вклад активных токов в вертикальную компоненту электрического поля.

Выводы

1. Экспериментальные наблюдения электротеллурического поля на оз. Байкал свидетельствуют, что отношение вертикальной составляющей поля к горизонтальным в диапазоне периодов от первых секунд до первых минут составляет сотые-тысячные доли, т.е. на уровне шума. Это связано с тем, что водная толща и подстилающие ее осадки в озере представляют собой практически однородную среду. Полученный результат свидетельствует в пользу модели плоской волны, в рамках которой в однородной среде отсутствуют вертикальные электрические токи. Появление в вертикальной компоненте электрического поля вариаций с периодом в первые десятки

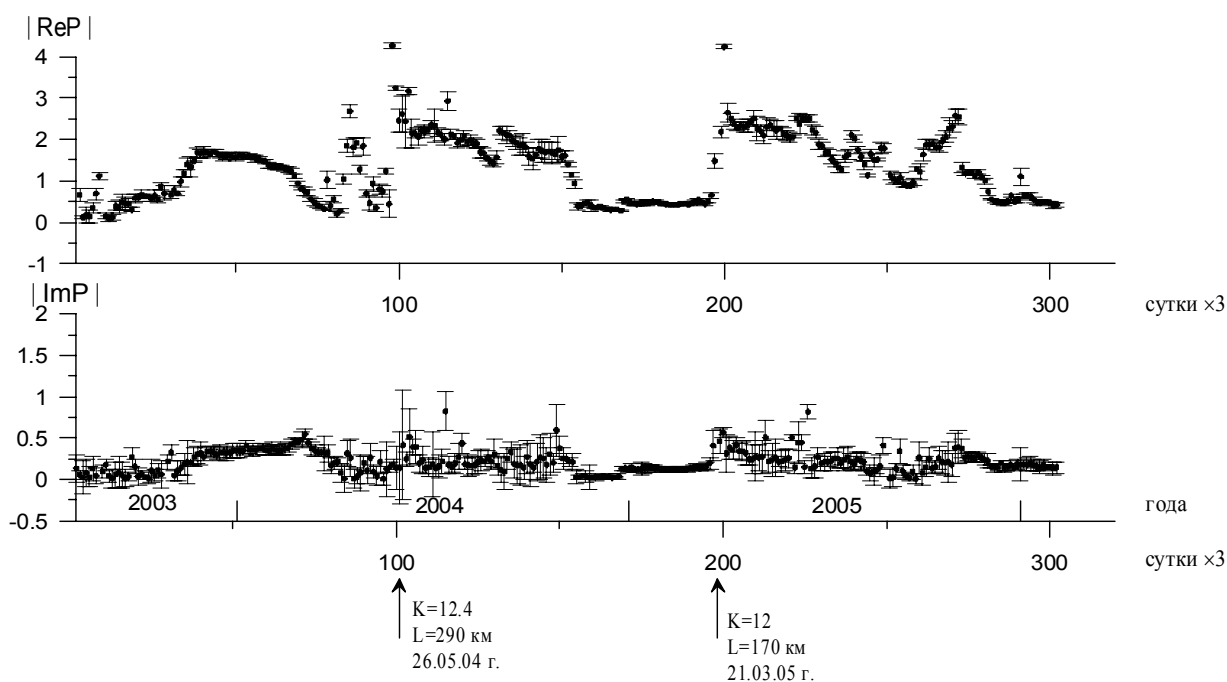


Рис. 4. Графики модулей вещественных и мнимых электрических стрелок на периоде 330 с в п. Тырган. Период наблюдений: 01.08.2003-06.02.06 гг. На временной оси показаны моменты землетрясений с $K \geq 12$ на эпицентральных расстояниях (L) до 300 км.

минут и более связано, по-видимому, с влиянием геоэлектрической неоднородности за счет бортов Байкальской впадины.

2. Мониторинг вертикальной и горизонтальной составляющих электрического поля земли в частотной области даёт возможность получить информацию о состоянии геологической среды в связи с подготовкой землетрясений. Для извлечения этой информации предлагается ввести электрический типпер, связывающий вертикальную и горизонтальные составляющие электротеллурического поля. Типпер отражает распределение электрических токов в районе геоэлектрической неоднородности. Представление типпера в виде вещественных и мнимых электрических стрелок позволяет оценить характер геоэлектрической неоднородности и вклад активных и реактивных токов в вертикальную составляющую электротеллурического поля. Особенно информативным является электрический типпер при изучении трёхмерных геоэлектрических неоднородностей.

3. По данным мониторинга выявлены аномальные изменения электрического типпера, которые могут быть связаны с землетрясениями. Аномалии начинают проявляться до землетрясения и завершаются после него. По-видимому, они вызваны перераспределением активных электрических токов в зоне разлома, где возможны изменения уровня и минерализации вод.

Список литературы

1. Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Дмитриев В.И. О возможности пренебрежения вертикальными токами при магнитотеллурическом зондировании // Физика Земли. 1971. №5. С. 69-78.
2. Бердичевский М.М., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электрического поля Земли. М.: Недра, 1981. 327 с.
3. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997. 218 с.
4. Виноградов П.А. Измерение вертикальной составляющей электротеллурического поля в оз. Байкал // Известия Академии наук СССР. Серия геофизическая. 1959. №1. С. 83-86.
5. Parkinson W.D. Direction of rapid geomagnetic fluctuation // Geophys.J. 1959. V.2. P. 1-14.
6. Vozoff K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins // Geophysics. 1972. V. 37. P. 98-141.
7. Wiese H. Geomagnetische Tiefentelluric. Berlin: Deutsche Akad. Wiss. 1965. 146 p.