

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ПЛОСКОЙ ПЕРВИЧНОЙ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE MODEL OF FLAT ORIGINAL  
ELECTROMAGNETIC WAVE FOR MT RESEARCH**

*Ю. Ф. Мороз*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

MT research is grounded on the hypothesis of flat original EM wave. It's also assumed that the original wave includes a vertical component. There are estimates and experiments which make an evidence of the mentioned wave models. However these estimates are hardly precise and the experiments are not accurate enough.

So, in winter 2006 the observations of electrotelluric field from the ice surface of the lake Baikal were made with the help of contemporary digital devices. As a result it was found out that in the middle part of the lake there are hardly any variations with the periods from the first seconds to the first minutes in the vertical electrotelluric field. This can be explained by the fact that the water mass and low-resistance sediments lying under it are to a first approximation a homogeneous medium where the length of EM wave at the short periods is commensurable with the width of the Lake Baikal. In such a homogeneous medium vertical electric currents are nearly zero. The acquired result testifies to such a model of flat wave. It is coherent with the estimates given by Berdichevsky and Vanyan. It should be mentioned that the variations with the periods of the first tens of a minute to an hour and more were revealed in the vertical component of electrotelluric field which is connected with the influence of geoelectrical heterogeneity due to the Baikal cavity. The estimates show that the length of EM wave at these periods significantly exceeds the width of the lake.

При изучении неоднородных геологических сред с помощью естественного электромагнитного поля Земли большой интерес представляют вертикальные составляющие электротеллурического и геомагнитного полей. Эти составляющие поля содержат существенную информацию о геоэлектрической неоднородности среды. В лучшей мере изучена вертикальная составляющая геомагнитного поля, которая совместно с горизонтальными успешно используется в методах магнитовариационного профилирования и зондирования. Крайне мало информации о вертикальной электротеллурической компоненте, измеряемой в Земле. Следует упомянуть ряд работ, в которых проведены эксперименты с измерением вертикального электротеллурического поля [6, 7, 9, 11, 12, 13, 14,]. К сожалению, по этим работам трудно судить о наличии вертикальных электрических токов в первичной электромагнитной волне. Существуют оценки, свидетельствующие о ничтожно малой части таких вертикальных токов. Так в бухтообразных возмущениях вклад электрического тока, перетекающего из ионосферы сквозь атмосферу, оценивается в десятые доли процента от общего тока в Земле [4]. Пульсации вертикального электрического поля ионосферного происхождения не превышает 0.1 В/м под источником и уменьшаются с удалением от него [3]. В работе [1] для активных гармоник электротеллурического поля отношение вертикальной компоненты к горизонтальным на земной поверхности (со стороны Земли) по косвенным измерениям ожидается (для однородной Земли) менее 0.001.

Эти оценки основаны на том, что удельное электрическое сопротивление нижних слоев атмосферы является весьма большим и составляет  $10^{12} - 10^{14}$  Ом·м. Это не дает возможности проникновения электрических токов сквозь атмосферу. Поэтому индукционный механизм возбуждения преобладает над гальваническим. Если непроводящая атмосфера исключает связь между ионосферой и Землей, то в горизонтально-слоистой среде вертикальная компонента будет равна 0. В горизонтально-неоднородной среде в результате перераспределения индуцированных электрических токов вертикальная компонента  $E_z$  будет отлична от нуля.

В то же время существует ряд работ, в которых по экспериментальным наблюдениям в воздухе пульсации  $E_z$  имеют амплитуду от 10 до 100 В/м [10,8]. Следует отметить, что при измерении  $E_z$  в воздухе возникают трудности при выделении вариаций, связанных с ионосферно-магнитосферными процессами, так как присутствует перенос электрических зарядов ветром в приземном слое даже в ясную погоду. Поэтому, полученные результаты могут быть неточными.

Для оценки вертикальной компоненты электрического поля в первичной магнитной 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. [5]. 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 в связи с развитием систем наблюдений горизонтальных и вертикальных компонент электротеллурического поля вокруг южной части озера Байкал с целью контроля за геодинамическими процессами, протекающими в Байкальской рифтовой зоне. Важная роль при этих исследованиях отводится вертикальной составляющей электротеллурического поля для контроля за поведением геоэлектрической неоднородности среды.

#### Методика наблюдений

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).

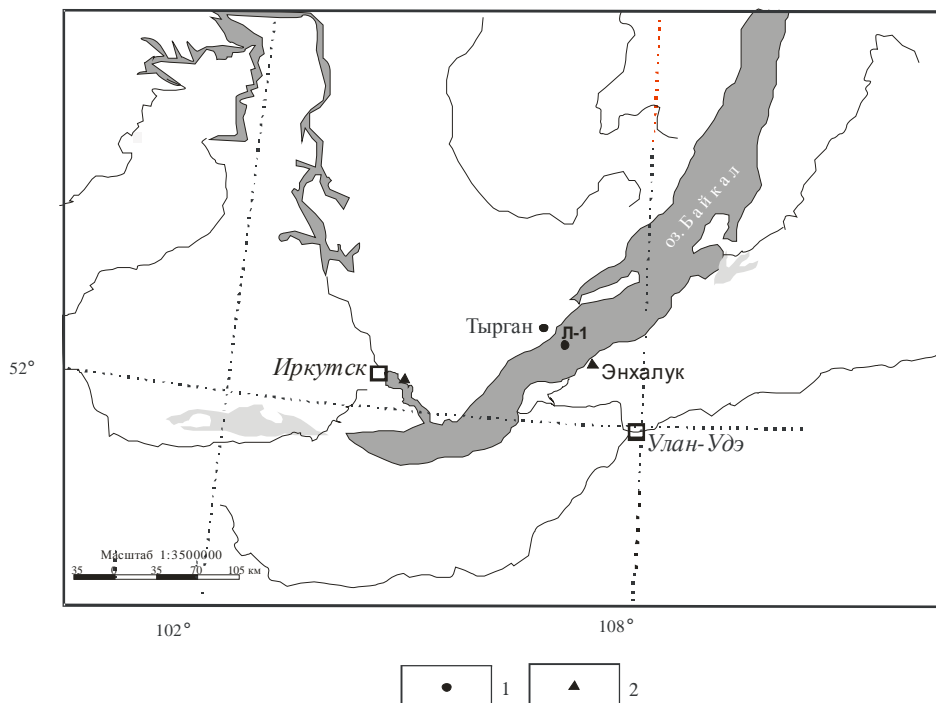


Рис.1. Схема расположения пунктов наблюдений на оз. Байкал. 1 – пункты наблюдений электротеллурического поля - Л-1 (2006 г.) и п. Тырган (2003-2006 гг.); 2 – геомагнитные обсерватории.

Глубина озера здесь равна 1 км. Наблюдения выполнены со льда озера в период с 02.02.06 – 10.04.06 г.г., 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. Они были вморожены в лед. Для измерения вертикальной составляющей электротеллурического поля использована линия длиной 250 м, в качестве заземлений использованы свинцовые электроды, погруженные в воду на глубину 2 и 252 м. Регистрация вариаций электротеллурического поля производилась с помощью автоматизированного прибора IAE с цифровой регистрацией с дискретностью 1 секунда. Прибор размещен в углублении льда. Оно было перекрыто изоляционным материалом и сверху ледовым покрывалом. Температура в приборе поддерживалась + 4° С. На дневную поверхность были выведены провода для снятия информации, которая производилась один раз в десять дней.

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 использована скважина глубиной 44 м, затопонированная глиной. В качестве электродов также использованы свинцовые электроды, погруженные в Землю на глубины 4 и 44 м. Регистрация электротеллурического поля производилась с дискретностью 10 с. Наряду с этим регистрировались вариации геомагнитного поля компонент H, D и Z в обсерваториях Энхалук с дискретностью 1 мин и Патроны с дискретностью 1 сек (рис.1).

### **Анализ наблюдений**

При регистрации электрического поля Земли с помощью электродов, находящихся в воде, возможны различные приэлектродные эффекты, которые могут исказить вариации электротеллурического поля. Для проверки возможных искажений мы воспользовались данными регистрации электрического поля по основному и дублирующему каналам, ориентированным вдоль оз. Байкал. График разницы между временными рядами напряженности поля свидетельствует об отсутствии высокочастотных вариаций, индуцированных внешним источником. В поведении остаточного графика отмечаются лишь изменения напряженности электрического поля, которые могут быть связаны с внутренними источниками. Таким образом, можно полагать, что вариации индуцируемые внешним источником регистрируются с помощью электродов, помещенных в водную среду оз. Байкал без каких-либо искажений на основном и дублирующем каналах. Следовательно, с помощью данных электродов можно регистрировать индуцированные вариации электротеллурического поля интенсивностью в первые единицы мВ/км, что достаточно для дальнейшего анализа.

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

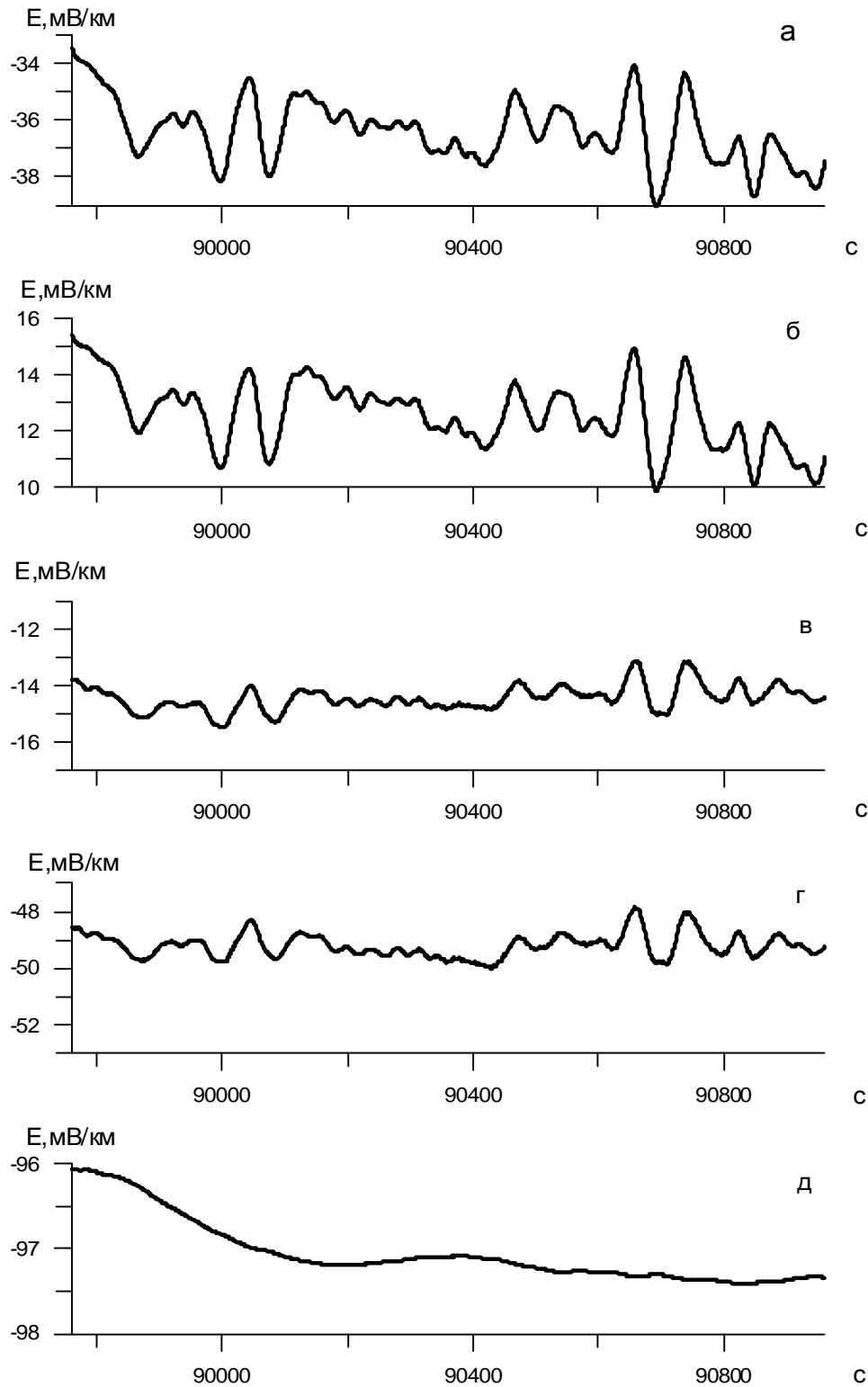


Рис.2. Графики напряженности электротеллурического поля. а и б – продольные горизонтальные составляющие поля для линии – 500 и 250 м; в и г – поперечные горизонтальные составляющие поля длиной – 500 и 250 м; д – вертикальная составляющая поля для линии – 250 м. Время наблюдений: 13.03.06 г. (01 ч : 01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

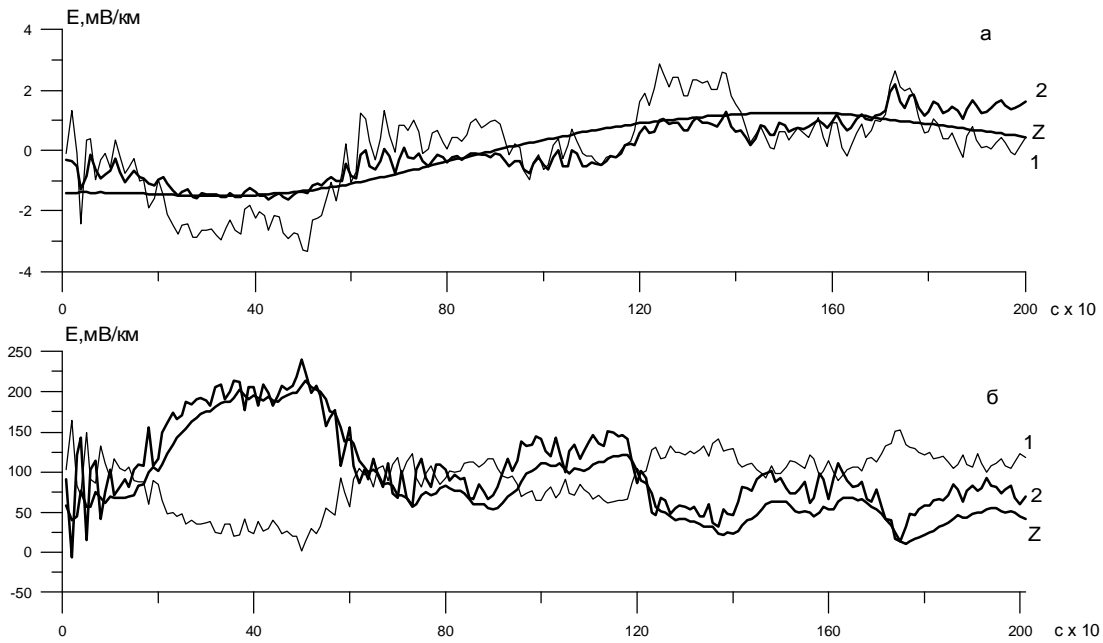


Рис.3. Сопоставление графиков напряженности электротеллурического поля на оз. Байкал (а) и в п.Тырган (б). 1 и 2 – продольные и поперечные составляющие поля для линий – 250 м. Z – вертикальные составляющие поля для линии – 250 м на озере (а) и 40 м в п. Тырган (б). Время наблюдений: 11.03.06 г. (1ч :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

в п. Тырган. В вертикальной составляющей поля на оз. Байкал данные вариации отсутствуют. В то же время на 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.

Таким образом, 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, 4].

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.

Представление о поведении низкочастотного электрического поля дают графики среднечасовых значений напряженности. Анализ показывает, что графики различаются между собой на основных и дублирующих линиях. Это обусловлено тем, что длиннопериодные вариации поля с периодом более 1 суток могут быть связаны с влиянием внутренних электрических источников за счет электрохимических, электрокинетических, биоэлектрических и других эффектов.

**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., Бутковская А.И. Магнитотеллурические зондирования слоистых сред. – М. : Недра, 1980. С. 227.
4. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. – М. : Научный мир, 1997. – 218 с.
5. Виноградов П.А. Измерение вертикальной составляющей электротеллурического поля в оз. Байкал // Известия Академии наук СССР. Серия геофизическая, 1959. № 1. С. 83-86.
6. Владимиров Н.П., Ан В.А., Вишнев В.С., Краснобаева А.Г. и др. Характеристика вертикальных компонент земных токов на Тукейском прогностическом массиве // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1975а. № 3. С. 91-94.
7. Владимиров Н.П., Ан В.А., Краснобаева А.Г. и др. Характеристика вертикальных земных токов на Жукейском кристаллическом массиве // Изв. АН СССР Физика Земли. 1975б. № 3. С. 91-94.
8. Красногорская Н.В., Ремизов В.П. О некоторых результатах измерения вариаций электрического поля // ДАН СССР. 1973. Т. 212. № 2. С. 345-348.
9. Подловилин Е.С., Габлин Н.С., Карюгин П.Ф., Кораблев Л.В. Вертикальное теллурическое профилирование в глубоких скважинах. VI Всесоюзная школа-семинар по электромагнитным зондированиям. Тезисы докладов. – М. : 1981. С. 34.
10. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. – Л. : Гидрометиздат, 1949. С. 60, 61, 68.
11. Чантладзе И.К. Исследования структуры поля геомагнитных пульсаций на кристаллических массивах. Автореф. Канд. дис. – М. : 1975.
12. Четаев Д.Н., Моргунов В.А., Чантладзе И.К., Шаманин С.В., Алексеев Б.М., Папушина Л.Б. Некоторые экспериментальные результаты исследования естественного электромагнитного поля Земли в диапазоне 0.1–0.01 Гц. «Тезисы докладов на XI Всесоюзной конференции по распространению радиоволн», ч. III. – Казань : 1975.
13. Benderitter J., Burear J., Dupis A., Geinlean B. Enregistrement de la composante du champ tellurique, normale a la surface du sol. – C.r. Acad. Sci. 1970. 271. V. 9. P. 498-500.
14. Jones F.W., Geldart L.P. Vertical telluric currents at separated locations // Earth and Planet, Sci, Lett. 1967. 2. V.3. P. 174-176.