

## ЭФФЕКТЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ РАЗЛОМОВ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

### THE EFFECTS WHICH APPEAR IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD DURING THE FORMATION OF FRACTURES IN THE ICE COVER OF THE LAKE BAIKAL

*Ю.Ф. Мороз*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

In winter 2006 experimental observations of the horizontal and vertical components of electrotelluric field were made from the Lake Baikal's ice cover. The horizontal lines are oriented across and along the lake. The length of the main lines is 500m and 250m for duplicating ones. The discontinuity of measures is 0.02sec and 1 sec. The time of permanent observations is 2 months. At the observation period an earthquake took place under the lake's bottom which caused tsunami and led to the formation of fractures in the ice cover up to 1.5 deep. The width of the fractures is 1-2 m, the length is tens of kilometers. The appearance of the fractures is represented in the electric field as high-frequency fluctuations with the period of 2-5sec. The beginning of the fluctuations was 10sec before the formation of the fractures. The fluctuation period is 50sec. Their intensity varies from the first initial periods up to tens parts mV/km. It's important that these fluctuations didn't appear at the station which is the nearest to the coast and at the observation point Patrony. Two suppositions can be made about the nature of high-frequency variations:

1) Electromagnetic radiation appears in the lake's ice when the fractures are being formed. It has a local nature and is registered near the fractures.

2) During the fractures' formation the ice cover and correspondingly the registering lines "are shaking". The movement of lines in the magnetic field of the Earth leads to the induction and appearance of high-frequency variations of the electric field in it.

During the following experiments it'll be possible to confirm one of these suppositions.

Существует гипотеза, что при возникновении трещин и разломов в земной коре излучаются электромагнитные волны, которые могут быть предвестниками землетрясений. Проверить эту гипотезу в реальных условия трудно из-за ограниченной информации о времени образования трещин и их местоположения в земной коре. Дополнительную информацию о гипотезе можно получить при наблюдениях естественного электрического поля на озере в зимний период, когда в ледяном покрове толщиной 1.5-2 м образуются крупные трещины протяженностью до первых десятков километров и шириной до первых метров. Трещины образуются по различным причинам, связанным с волнением озера. Волнение может быть также и при землетрясениях. При наблюдениях со льда озера мы имеем возможность контролировать время и место возникающих трещин. В этом случае данные мониторинга естественного электрического поля позволяют нам судить об аномальных эффектах, связанных с трещинами в ледяном покрове озера. Возникает вопрос, в какой мере можно отождествлять трещины в ледяном покрове с разломами в земной коре? Данная тема требует специального обсуждения и в настоящей статье она не рассматривается.

#### **Краткая геоэлектрическая характеристика озера Байкал**

Впадина озера в первом приближении является квазидвумерной. Она вытянута почти на 640 км, при средней ширине около 50 км. Максимальная глубина озера 1.7 км. Удельное электрическое сопротивление воды 100-300 Ом·м. Водная толща подстилается осадочными отложениями мощностью до первых километров со средним продольным сопротивлением в первые единицы Ом·м. Ниже залегают породы кристаллического фундамента с удельным электрическим сопротивлением в первые тысячи Ом·м. Фундамент разбит разломами на крупные блоки. Наиболее погруженный блок располагается в средней части Байкальской впадины. Бортовые части впадины сложены дислоцированными и метаморфическими породами сопротивлением от первых сотен до первых тысяч Ом·м. Северо-западный борт впадины более крутой, чем юго-восточный.

Впадина озера ограничена крупными разломами протяженностью в первые сотни километров. Ширина зон разломов оценивается в первые десятки-сотни метров и более. Предполагается, что литосфера под Байкалом содержит проводящие слои, связанные с повышенным содержанием жидких флюидов.

### Методика эксперимента

Регистрация естественного электрического поля выполнена со льда озера Байкал и на суше в п.Тырган (рис.1) в период с февраля по апрель 2006 года. Пункт наблюдений на льду озера расположен в средней части озера, где глубина дна около 1000 м. Для регистрации электрического поля использованы горизонтальные и вертикальная приемные линии (рис.2). Горизонтальные линии ориентированы вдоль и поперек озера. Длина основных линий 500 м, дублирующих 250 м. Длина вертикального канала 250 м. Для контакта с водой использованы свинцовые электроды. В горизонтальных линиях они располагались на глубине 2 м, т.е. под нижней кромкой ледяного покрова. Вертикальный канал закреплен с помощью груза и якоря. Регистрация поля осуществлялась автоматизированным прибором IAE с дискретностью 0.01 и 1 с. Прибор размещен в углублении льда. Оно было перекрыто изоляционным материалом и сверху "ледовым покрывалом". Температура в приборе была на уровне 4°C. На дневную поверхность были выведены провода для снятия информации, которая производилась один раз в десять дней.

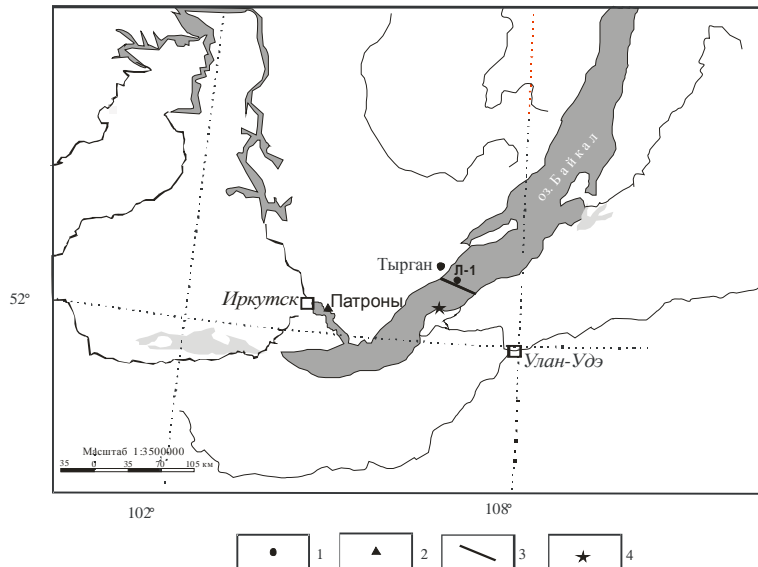


Рис.1. Схема расположения пунктов наблюдений. 1- пункты наблюдений электрического поля; 2 – обсерватория геомагнитного поля; 3 – местоположение трещины в ледовом покрове озера; 4 – эпицентр землетрясения.

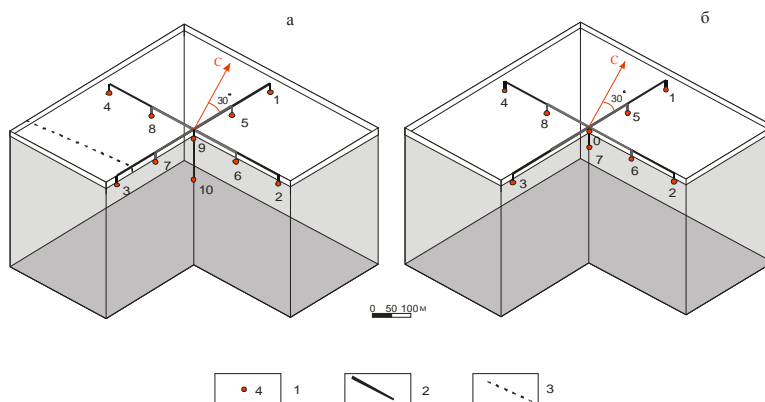


Рис.2. Схемы измерительных линий электрического поля на льду озера в п. Л-1 (а) и в п.Тырган (б): 1 – электрод и его номер; 2 – линии MN; 3 – фрагмен трещины в ледяном покрове.

В п. Тырган горизонтальные каналы ориентированы по направлению вдоль и вкрест простирания геоэлектрической неоднородности среды (рис.2). Для регистрации вертикальной компоненты электрического поля использована скважина глубиной 44 м. В качестве заземления применялись также свинцовые электроды, погруженные на глубины

4 м и 44 м. Скважина затомпонирована глиной. Регистрация электротеллурического поля производилась с дискретностью 10 с. В обсерватории Патроны (рис.1) синхронно регистрировались H, D и Z компоненты вариаций геомагнитного поля с дискретностью 1 с.

### Анализ результатов эксперимента

Интенсивность вариаций электротеллурического поля по направлению вдоль озера (азимут  $30^\circ$ ) в несколько раз выше, чем поперек озера (Аз  $120^\circ$ ). Эта особенность свойственна для всех вариаций электротеллурического поля в регистрируемом диапазоне периодов от десятых долей до 1000 и более секунд. Она связана с вытянутой формой впадины озера, заполненной мощной толщей хорошо проводящих осадочных пород. В поведении вертикальной компоненты электротеллурического поля, практически не выражены короткопериодные вариации, что свидетельствует в пользу плоской модели первичной электромагнитной волны, используемой в магнитотеллурике.

Рассмотрим аномальные возмущения в связи с землетрясением и образованием крупной трещины в ледяном покрове озера. 13.03.06 (01 час 06 мин 11 сек) произошло землетрясение с  $K=8.9$ . Эпицентр его расположен в устье р. Селенги (рис.1). В горизонтальных компонентах электротеллурического поля, примерно за час до землетрясения, появились высокочастотные вариации (рис.3). В большей мере они выражены на каналах, ориентированных вдоль озера. Интенсивность высокочастотных вариаций заметно уменьшилась через 20 минут после землетрясения, но оставалась повышенной в течение нескольких часов. Примерно за 15 минут до землетрясения проявилась бухтообразная вариация с периодом 9-10 минут. Высокочастотные вариации не выражены в поведении вертикальной компоненты электротеллурического поля.

Какова природа высокочастотных возмущений в электротеллурическом поле? Для ответа на данный вопрос, мы сопоставили наблюдения со льда озера с наблюдениями в п. Тырган и в обсерватории Патроны. Высокочастотные вариации проявились одновременно во всех пунктах. Это свидетельствует о том, что они имеют региональное распространение и связаны скорее всего с ионосферными, магнитосферными источниками магнитотеллурического поля. Высокочастотные электрические токи, индуцированные в земной коре, возможно, явились триггерным эффектом для землетрясения. Также нельзя исключить случайное совпадение высокочастотных возмущений электромагнитного поля с землетрясением.

Наряду с рассмотренными вариациями электрического поля зарегистрированы аномальные возмущения, которые связываются с образованием крупной трещины в ледяном покрове озера. Трещина возникла в результате волнения озера, вызванного землетрясением. Обратимся к данным наблюдений. На рис.4 изображены графики напряженности компонент электрического поля, полученные 13.03.2006 г. в период с 02 час 47 мин 02 сек по 02 час 57 мин 01 сек, когда возникла трещина. На графиках хорошо видны высокочастотные возмущения в горизонтальных составляющих электрического поля. В вертикальной компоненте высокочастотные возмущения не выражены. В поведении этой компоненты проявляется интенсивная бухтообразная вариация. Резкое изменение интенсивности вертикальной компоненты отвечает интенсивному возмущению горизонтальных составляющих электрического поля. Максимум вариации вертикальной компоненты, по-видимому, фиксирует максимальное влияние волны воды озера на вертикальный диполь. Время между моментом землетрясения и максимумом вертикальной компоненты 1 час 46 мин. За это время волна преодолела расстояние в 32 км. Скорость волны составляет около 5 м/с. В результате влияния волны воды на ледяной покров возникла крупная трещина которая изображена на рис.1и 2.

Судя по графику (рис.4д), интенсивность вариации вертикальной компоненты, вызванной волной воды, равна 1.7 мВ/км. Вариацию можно объяснить индукцией в вертикальном канале при его движении в магнитном поле Земли. Согласно [1],

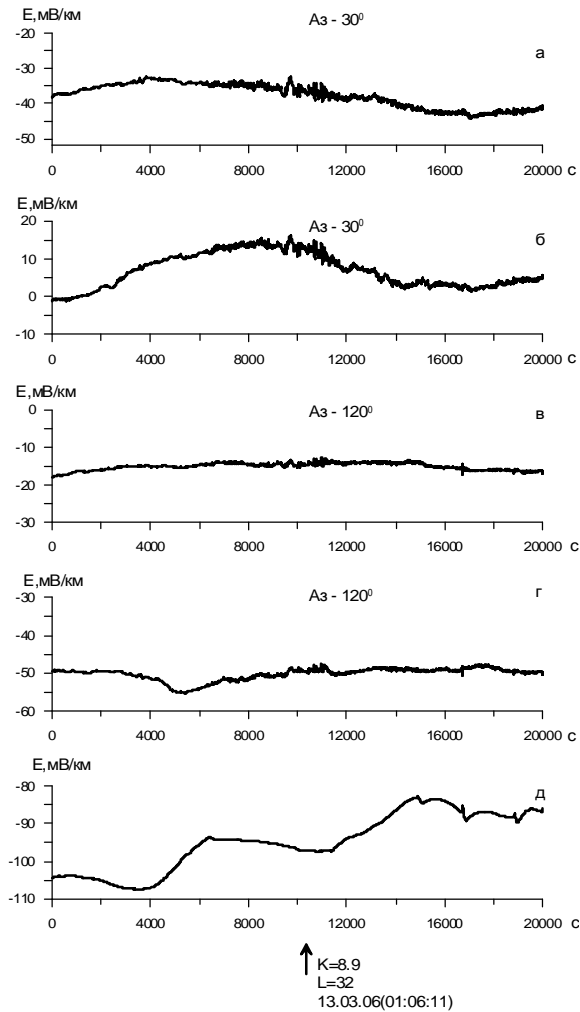


Рис.3. Графики напряженности электрического поля в п. Л-1 в период, когда произошло землетрясение. К – энергетический класс; L – эпицентрального расстояния в км; а, б - продольные (Az - 30°), в, г – поперечные (Az – 120°), д – вертикальная - составляющие поля; обозначения а, б, в, г, д - соответствуют приемным линиям MN на рис.2а: а – 1-3; б – 5-7; г – 6-8; д – 9-10. Время наблюдений: 12.03.06 г. (22 час 13 мин 19 сек) – 13. 03.06 г. (03 час 46 мин 39 сек). Стрелкой показан момент землетрясения 13.03.06 г. (01 час 06 мин 11 сек).

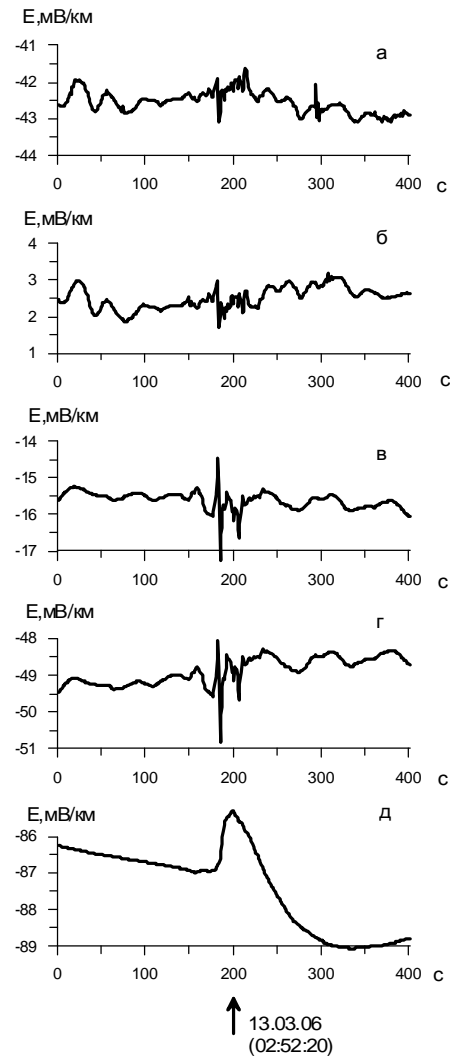


Рис.4. Графики напряженности поля в п. Л-1 в период, когда возникла трещина в ледяном покрове озера. Стрелкой показан максимум напряженности вертикальной компоненты электрического поля. Время наблюдений: 13.03.2006 г.: 2 час 49 мин 00 сек – 2 час 55 мин 40 сек. Пояснения к а,в,г,д – на рис.3.

напряжение электрического поля в движущемся проводнике в магнитном поле можно представить в виде:

$U = -Blv$ , где U – напряжение электрического поля в В, l – длина проводника в м, v – скорость его движения в м/с, B – магнитная индукция в нТл.

По этой формуле (для зарегистрированной напряженности электрического поля 1.7 мВ/км) скорость движения проводника является близкой к скорости волны в озере. Следует отметить, что в горизонтальных компонентах поля подобной интенсивной

бухтообразной вариации не отмечается. Это связано с тем, что горизонтальные линии, расположенные на льду озера, не испытывают такого движения от волны воды.

Рассмотрим высокочастотные колебания, приуроченные ко времени образования трещины в ледяном покрове озера (рис.4 а,б,в,г). Продолжительность этих колебаний около 50 с. Начинаются они резким изменением напряженности горизонтальных составляющих поля примерно за 10 с до образования трещины. Период колебаний 2-5 с. Интенсивность колебаний от первых десятых долей мВ/км до первых единиц мВ/км. Характерно, что интенсивность высокочастотных вариаций в поперечных линиях MN (рис.4 в, г) почти в 2 раза выше, чем в продольных (рис.4 а,б). Высокочастотные вариации не проявились на береговой станции Тырган и в обсерватории Патроны. Эти особенности являются принципиальным отличием от вариаций, связанных с внешним источником, которые более интенсивны в продольных линиях MN и проявились в п. Тырган и в обсерватории Патроны. Есть основания полагать, что высокочастотные колебания могут быть вызваны электромагнитными эффектами, возникшими при образовании трещины в ледяном покрове озера. Эти эффекты наводят в приемных линиях высокочастотные возмущения электрического поля. Интенсивность возмущений зависит от длины проекции линий MN на направление трещины. Проекция поперечных линий MN на направление трещины в 2 раза больше, чем продольных. Проекция вертикального канала равна нулю. Поэтому, интенсивность высокочастотных вариаций в поперечных линиях в два раза выше, чем в продольных, а в вертикальной компоненте близка к нулю.

Следует отметить, что примерно через 54 минуты ситуация повторилась. Аналогичные аномальные возмущения проявились в горизонтальных и вертикальной компонентах электрического поля. Время аномальных возмущений составляет около 1 минуты. Начало их во времени приурочено к увеличению напряженности вертикальной компоненты электрического поля. Максимум вариации вертикальной компоненты электрического поля отвечает максимальному смещению вертикального канала в геомагнитном поле. Это смещение вызвано волной в озере. Высокочастотные вариации не выражены в вертикальной составляющей электрического поля. Они также не проявились в обсерватории Патроны. Предполагается, что на льду озера высокочастотные возмущения в горизонтальных составляющих поля вызваны электромагнитными эффектами, связанными с дальнейшим развитием трещины в ледяном покрове озера. В конечном результате протяженность трещины достигла десятков километров, а ширина – первые метры. Смещение по трещине составило около 4 м.

Наряду с этим существует вероятность возникновения высокочастотных вариаций в связи с «тряской» ледяного покрова озера во время растрескивания льда и образования трещины. Так как линии MN вморожены в лед, то при «тряске» они совершают колебания в магнитном поле, что приводит к возникновению в них индуцированного электрического тока. Обратимся вновь к формуле  $U = -Blv$  и оценим возможность индуцирования напряжения в линиях MN. По данным обсерватории Патроны напряженность (индукция) компонент магнитного поля составляет:  $H = 19000$ ,  $D = 1600$ ,  $Z = 57000$  нТл [2]. По направлению приемных линий MN, т.е. в продольном и поперечном направлениях, напряженность магнитного поля равна, соответственно, 17300 и 10900 нТл. При движении приемных линий в горизонтальной плоскости интенсивность индуцируемых высокочастотных вариаций будет одинаковой в продольных и поперечных электрических каналах. При движении линий MN в вертикальной плоскости интенсивность индуцированных высокочастотных вариаций в поперечных каналах будет примерно в 1.6 раз выше, чем в продольных. В эксперименте мы имеем разницу почти в 2 раза.

Оценки показывают, что для индуцирования напряжения в первые единицы мВ (как в эксперименте) скорость движения поперечной линии длиной 250 м в вертикальной плоскости должна быть примерно первые десятые доли м/с. К сожалению, нам трудно судить о реальной скорости перемещения каналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях при образовании трещины в ледяном покрове озера. Поэтому, приводимые

оценки показывают лишь вероятность индуцирования высокочастотных колебаний при колебаниях ("тряске") ледяного покрова озера.

Таким образом, выполненный анализ свидетельствует о возможности возникновения высокочастотных возмущений электрического поля при образовании трещин во льду озера. Они могут быть связаны с электромагнитными эффектами при разрушении льда или с индукцией, вызванной движениями приемной линии в геомагнитном поле. Возможно оба эти явления проявляются совместно. Для уточнения природы аномальных возмущений электрического поля необходимы дополнительные наблюдения со льда озера одновременно в нескольких пунктах. Такой эксперимент планируется в ближайшее время на оз. Байкал.

### **Выводы**

На льду озера зарегистрированы высокочастотные возмущения электрического поля различной природы. Особенности этих возмущений следующие.

1. В горизонтальных компонентах поля проявились высокочастотные вариации в период, когда произошло землетрясение с  $K=8.9$  на эпицентральной расстоянии 32 км. Аномальные возмущения проявились примерно за 1 час до землетрясения. Их интенсивность заметно уменьшилась через 20 мин после землетрясения. В вертикальной компоненте вариации отсутствуют. Они хорошо выражены на береговой станции и в обсерватории Патроны во всех компонентах электромагнитного поля. Это свидетельствует, что высокочастотные вариации имеют региональное распространение и связаны скорее всего с ионосферными, магнитосферными источниками электромагнитного поля. Возможно, высокочастотные возмущения поля послужили триггерным эффектом для землетрясения. Однако, не исключается случайное совпадение времени возмущений и землетрясения.
2. В электрическом поле зарегистрированы аномальные возмущения, которые приурочены во времени к приходу волны воды от землетрясения и образованию трещины в ледяном покрове. В вертикальной компоненте аномальное возмущение выражено в виде бухтообразной вариации с периодом около 2 мин. Вариация связывается с индукцией электрического тока при движении вертикальной линии в геомагнитном поле. В горизонтальных компонентах возмущение выражено в виде высокочастотных вариаций с периодом в первые секунды. Высокочастотные вариации могут быть обусловлены электромагнитными эффектами, возникающими при образовании трещины в ледяном покрове. Также не исключается индукция в линиях MN при их движении в геомагнитном поле в результате "тряски" ледяного покрова при образовании трещины.

### **Список литературы**

1. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М. : Мир. 1982. – 491 с.
2. Мороз Ю.Ф., Назарец В.П., Мороз Т.А. Сравнительная характеристика вариаций геомагнитного поля на Камчатке и оз. Байкал // Физика Земли. 2005. № 9. С. 36-45.