

*Мороз Ю.Ф.*

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

Существует гипотеза, что при возникновении трещин и разломов в земной коре излучаются электромагнитные волны, которые могут быть предвестниками землетрясений. Проверить эту гипотезу в реальных условиях 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.

#### Методика наблюдений

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.

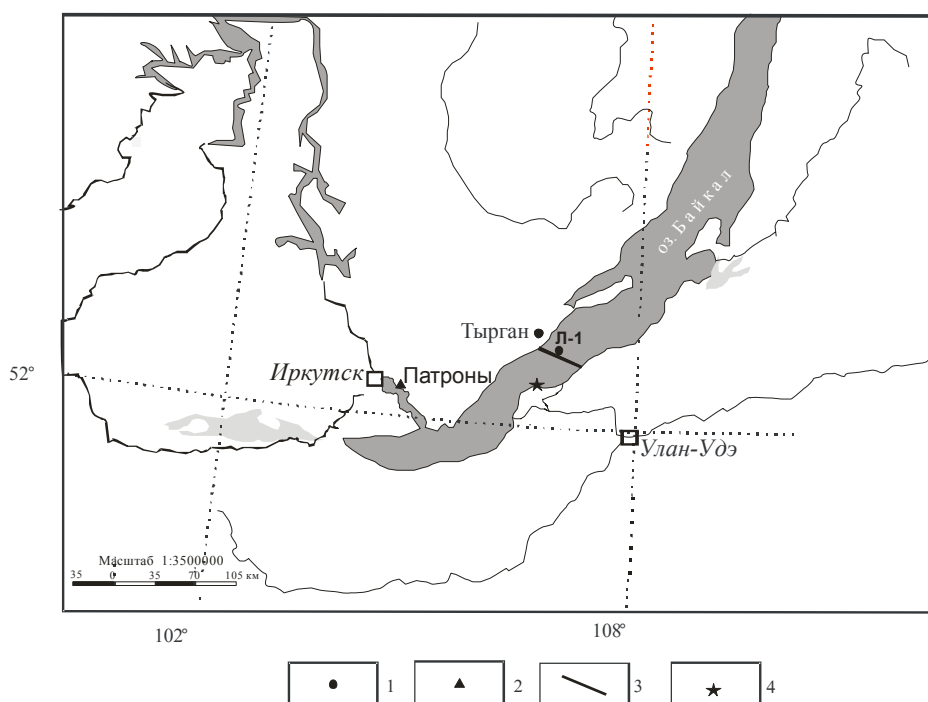


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений. Условные обозначения: 1 - пункты наблюдений электрического поля; 2 – обсерватория геомагнитного поля. 3 - трещина в ледяном покрове; 4 - землетрясения.

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.

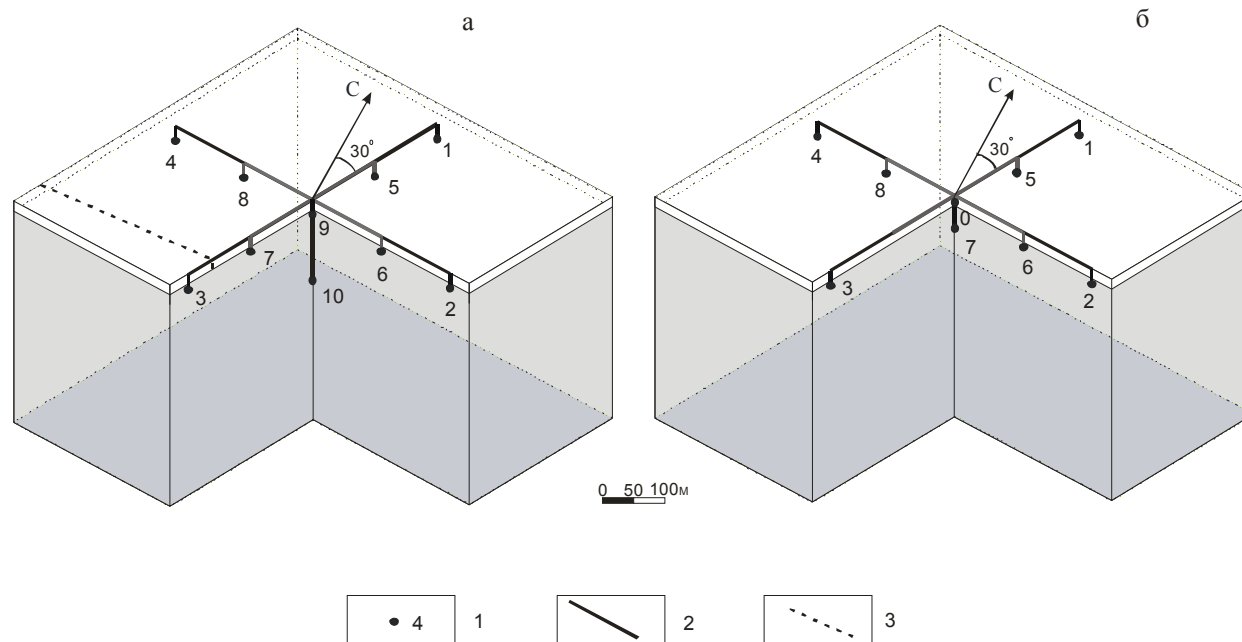


Рис. 2. Схемы измерительных линий электрического поля на льду озера в п. Л-1 (а) и в п. Тырган (б):  
Условные обозначения: 1-электрод и его номер; 2- линии MN; 3-фрагмент трещины в ледяном покрове.

В п. Тырган горизонтальные каналы ориентированы по направлению вдоль и вкrest 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 затомпирована глиной. Регистрация электротеллурического поля производилась с дискретностью 10 с. В обсерватории Патроны (рис. 1) синхронно регистрировались  $H$ ,  $D$  и  $Z$  компоненты вариаций геомагнитного с дискретностью 1 с.

#### Анализ полученных результатов

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 1 000 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.

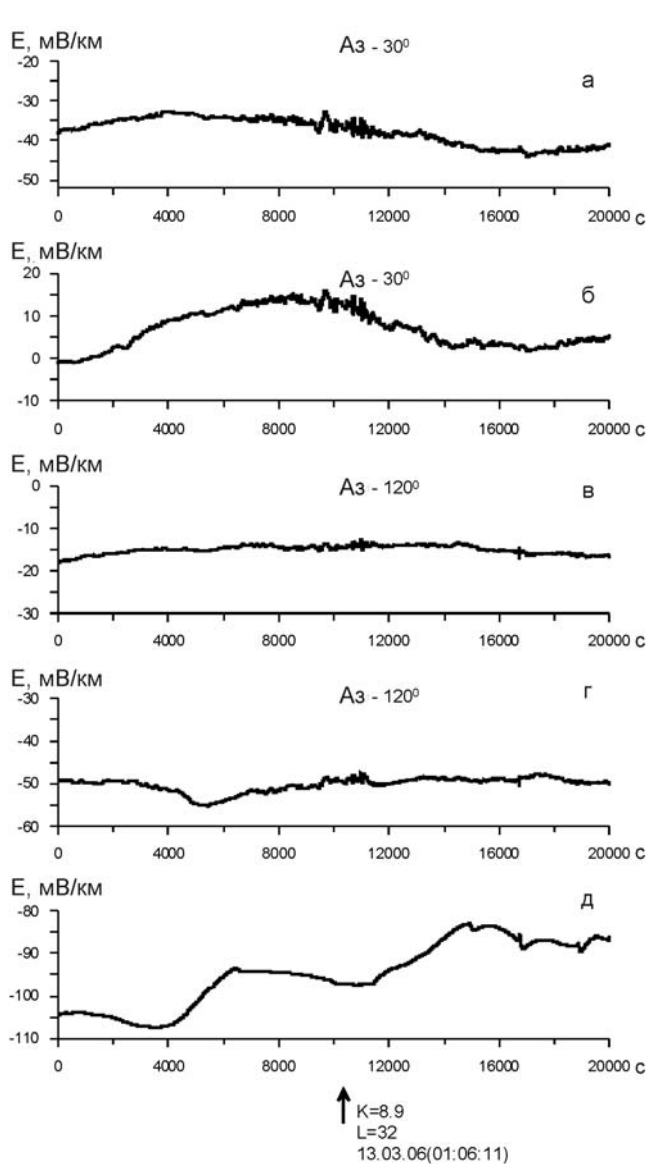


Рис. 3. Графики напряженности электрического поля в п. Л-1 в период, когда произошло землетрясение.  $K$  – энергетический класс;  $L$  – эпицентрального расстояние в км; а, б – продольные ( $Az = 30^\circ$ ), в, г – поперечные ( $Az = 120^\circ$ ), д – вертикальная - составляющие поля; обозначения а, 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).

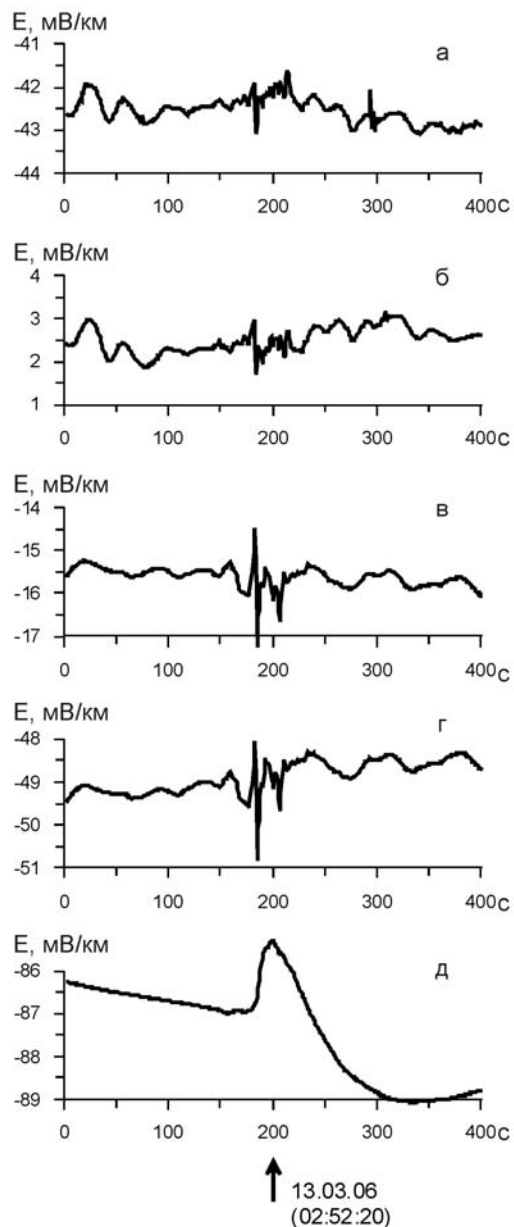


Рис. 4. Графики напряженности поля в п. Л-1 в период, когда возникла трещина в ледяном покрове озера. Стрелкой показан максимум напряженности вертикальной компоненты электрического поля. Время наблюдений: 13.03.2006 г.: 2 час 49 мин 00 сек – 2 час 55 мин 40 сек. Пояснения к а, б, в, г, д – на рис. 3

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. 1 и 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], 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. 4а, 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. 4в, г) почти в 2 раза выше, чем в продольных (рис. 4а, 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:  $H = 19\ 000$ ,  $D = 1\ 600$ ,  $Z = 57\ 000$  нТл [2]. По направлению приемных линий MN, т.е. в продольном и поперечном направлениях, напряженность магнитного поля равна, соответственно, 17 300 и 10 900 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 дистанции 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.