

УДК 539.37:537.221

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЛЬДА ПРИ РАСКАЛЫВАНИИ

© Ю.И. Головин, А.А. Шибков, В.А. Комбаров, А.П. Малинин

Golovin Y.I., Shibkov A.A., Kombarov V.A., Malinin A.P. The Polarisation of the Ice Being Cracked. The electromagnetic waves emission in frequency range 10^2 - 10^4 Hz during the propagation of a single crack in ice is investigated. It is determined that electromagnetic pulses caused by the polarisation of the ice being cracked.

В [1-4] сообщалось об обнаружении электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) в радиочастотном диапазоне, сопровождавшей механическое нагружение льда. Несмотря на то, что источниками ЭМЭ могут быть самые разнообразные процессы: пластическая деформация, кристаллизация, таяние, трение, образование и рост трещин, авторы связывали ее, главным образом, с процессами разрушения. Прямого доказательства связи определенных компонент ЭМЭ с конкретными фазами разрушения нам неизвестно. Целью настоящей работы являлось установление взаимосвязи параметров ЭМЭ с процессами зарождения и распространения одиночной трещины при минимальной предварительной пластической деформации. Такая информация может быть полезна как для исследования динамических механоэлектрических процессов во льду, так и прогнозирования некоторых природных явлений, обусловленных динамикой ледяных масс: разрушение ледяных полей в северных акваториях, таяние и сход ледников, снежных лавин, разрушение и отвалы мерзлых пород и пр.

Цилиндрические образцы поликристаллического льда диаметром 20 мм и высотой 30 мм выращивались из дистиллированной воды и подвергались раскалыванию клиновидным ножом по методике, описанной в [5]. Эксперименты проводились в морозильной камере при постоянной температуре -24°C . Электрическое поле вблизи образца в полосе частот 1 - 10^6 Гц измерялось зондовым электрическим методом [6]. Регистрировали потенциал каждого из двух диаметрально расположенных зондов, установленных на расстоянии 1 см по обе стороны от образца (см. врезку на рис. 1). При сбрасывании бойка с высоты $h < h_k$ на наковальню с ножом, при котором не происходило разрушения образца, на обоих зондах возникал одинаковый положительный сигнал колоколообразной формы с временем нарастания ~ 300 мкс и спада ~ 500 мкс с амплитудой, пропорциональной h (рис. 1, кривые 1 и 1'). Сбрасывание бойка с высоты $h > h_k$ приводило к раскалыванию

образца пополам и сопровождалось возникновением сигнала другого типа (рис. 1, кривые 2 и 2'). Анализ более чем 100 осциллограмм показывает, что в этом случае сигнал ЭМЭ имел, по меньшей мере, четыре характерные стадии. Продолжительность стадии I определялась, в основном, предварительным натяжением ножа и находилась в пределах от 150 мкс до 500 мкс. Сигнал на стадии II был всегда положительным, его длительность и амплитуда зависели от угла заточки ножа, состояния контакта нож-образец и высоты сбрасывания бойка h . В дальнейшем эмпирическим путем подбирались оптимальная геометрия ножа и способ введения концентратора напряжения, обеспечивающих минимальную амплитуду сигнала на этой стадии. Сигнал на стадии III сопровождал развитие трещины в образце, его амплитуда практически не зависела от h , а длительность фронта $t_f \sim (h - h_k)^{-1}$. Важно отметить, что сигнал на этой стадии всегда был разнополярным и близким по форме для обоих зондов. Временная зависимость потенциала на стадии IV была близка к экспоненциальной с постоянной времени ~ 500 мкс для всех опытов.

Анализ полученных данных позволяет сопоставить четырем стадиям сигнала следующие процессы: стадия I обусловлена необходимостью запасания упругой энергии в механической системе, на стадии II, по-видимому, происходит проникновение ножа в кристалл в результате формирования в области контакта пластической зоны, необходимой для зарождения трещины. Электризация кристалла на этой стадии может быть вызвана зарождением и движением заряженных дефектов (дислокаций и др.), изменением геометрии электростатического поля вблизи границ зерен в результате их частичного поворота, псевдопьезоэлектрическим эффектом в зоне сильно неоднородной деформации и трением ножа о поверхность льда [3, 4, 7]. На стадии III происходит поляризация кристалла трещиной, стартующей в момент времени t_0 . Наконец, стадия IV отвечает релаксации электрического поля за счет

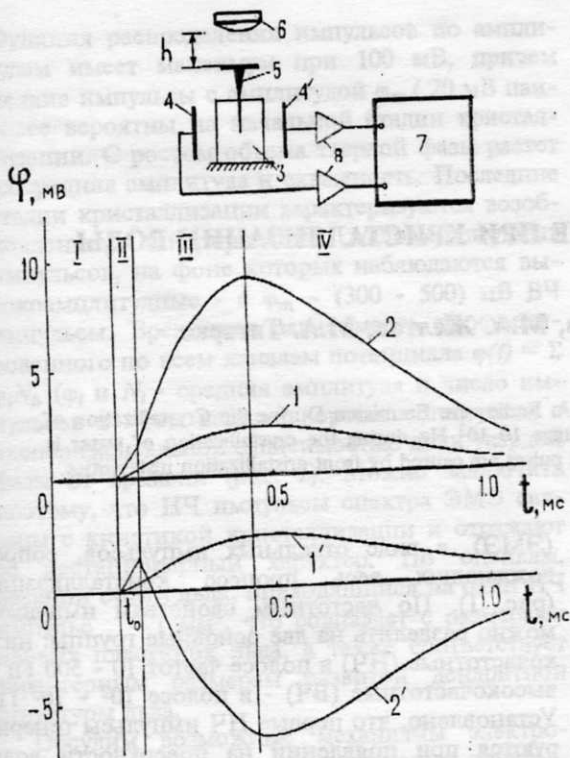


Рис. 1. Осциллограммы импульсов ЭМЭ с двух диаметрально противоположных зондов: 1 и 1' - при сбрасывании бойка с высоты, при которой не происходит разрушение образца; 2 и 2' - при сбрасывании бойка с высоты, при которой образец раскалывается. На врезке схема опыта: 3 - образец, 4 и 4' - пара зондов, 5 - нож, 6 - боек, 7 - двухлучевой осциллограф С3-14. I-IV - стадии процесса, t_0 - момент старта трещины.

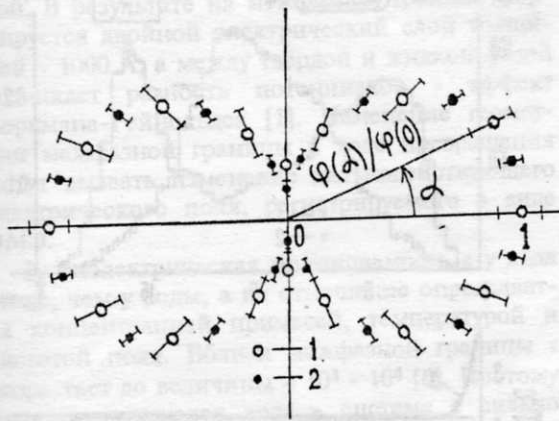


Рис. 2. Угловые зависимости электрического поля в плоскости, перпендикулярной плоскости трещины: 1 - образца с растущей трещиной, 2 - эталонного плоского конденсатора.

проводимости образца. Следовательно, зарождение и распространение трещины вызывает генерирование разнополярной составляющей электрического сигнала на диаметрально противоположных зондах, обусловленной возникновением дипольного момента образца в направлении нормали к поверхности разрушения.

Совпадение в пределах точности эксперимента угловых зависимостей потенциала образца с растущей трещиной и эталонного диполя в виде плоского заряженного конденсатора (рис. 2) подтверждает факт поляризации кристалла льда трещиной, причем пространственное распределение противоположных зарядов отвечает геометрии поверхности разрушения. Абсолютная калибровка сигнала ЭМЭ дает возможность оценить поверхностную плотность заряда трещины величиной $\sim 10^6$ Кл/м², которая может быть вызвана перераспределением протонных носителей заряда во льду трещиной в приповерхностном слое ~ 1 мкм.

Таким образом, в работе выявлена роль быстрой трещины в формировании сигнала ЭМЭ на фоне сопутствующих процессов пластической деформации, трения и пр. Показано, что метод анализа ЭМЭ позволяет исследовать кинетику распространения трещины во льду, фиксировать момент старта трещины с точностью не хуже ~ 10 мкс, определять размеры, мгновенную и среднюю скорости трещины $v = L/t_f$, где L - длина трещины. В данной серии опытов $v = (100-300)$ м/с. Кроме того, разработанная методика позволяет бесконтактно *in situ* выделять из общего сигнала ЭМЭ и идентифицировать события, обусловленные образованием и ростом трещин в ходе таких процессов как таяние и сход ледников, кристаллизация льда и ряд других.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.А., Гордеев В.Ф., Неверова Н.К. Электромагнитное излучение в диапазоне радиочастот при механическом разрушении льда. М., 1978. 17 с. Рукопись деп. в ВИНТИ, № 435-78 Ден.
2. Берри Б.Л., Громов В.А. // Материалы гляциологических исследований. 1982. № 44. С. 150.
3. Petrenko V.F. // Phil. Mag. 1993. В. 67. № 3. Р. 301.
4. Petrenko V.F. // In proceedings of the II-th International Symposium on Ice. Banff: University of Alberta, 1992. P. 1140-1154.
5. Финкель В.М., Тялин Ю.И., Головин Ю.И., Горшенев М.А. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 7. С. 1943.
6. Головин Ю.И., Шибков А.А. // ФТТ. 1986. Т. 32. № 11. С. 3256.
7. Евтушенко А.А., Петренко В.Ф. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 5. С. 1509.

Поступила в редакцию 1 октября 1996 г.