

Генерация акустической эмиссии приповерхностных пород молниевым разрядом

Смирнов С. Э., Марапулец Ю. В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, п.Паратунка (Камчатский край)

e-mail: sergey@ikir.ru, marpl@ikir.ru

Исследован эффект воздействия одиночного молниевых разряда на напряженность электрического поля в приземной атмосфере. Эффект проявился в резком падении величины градиента потенциала электрического поля с 80 В/м до минус 21 В/м. Процесс восстановления напряженности описывается моделью плоского конденсатора с характерным временем восстановления 17с. Одновременно с электрическим полем на разряд молнии обнаружен отклик акустической эмиссии приповерхностных пород в диапазоне частот 6.5 - 11 кГц.

Наблюдения проводились на Камчатке в обл. «Паратунка» ИКИР ДВО РАН ($\lambda=158,25^\circ\text{E}$; $\varphi=52,9^\circ\text{N}$). Измерения напряженности электрического поля осуществлялось электростатическим флюксметром «Поле-2». Прибор установлен на полигоне в 200 м от административного здания на высоте 3 м. Площадка вокруг него расчищена от деревьев в радиусе 12 м. Конструкция установки датчика такова, что уровенные поверхности напряженности электрического поля в точке измерения параллельны поверхности земли. Сигнал на выходе флюксметра после оцифровки 14-битным АЦП с частотой дискретизации 1 с записывается на жесткий диск персонального компьютера.

Регистрация акустической эмиссии (АЭ) производилась гидроакустическим приемником (гидрофоном) с чувствительностью вместе со встроенным предусилителем порядка сотен мВ/Па, установленным в искусственном водоеме на расстоянии 54 метра от датчика электрического поля. Применение гидрофона с установкой в водоеме, позволило регистрировать геоакустический сигнал в диапазоне 0.1 Гц - 11 кГц, что существенно больше, чем обычные сейсмометры. Сигнал с гидрофона после оцифровки 16-разрядным АЦП с частотой дискретизации 44100 Гц записывается на жесткий диск персонального компьютера. Далее производится фильтрация по диапазонам частот: 0.1-10, 30-60, 70-200, 200-600, 600-2000, 2000-6500, 6500-11000 Гц, детектирование и накопление с временным окном 4 с [1]. Анализируемой величиной является суммарное за 4 с акустическое давление P_s по каждому частотному каналу. Проведенными исследованиями установлено, что под действием деформаций порядка $\sim 10^{-7}$ [2] наблюдается повышение активности эмиссии в диапазоне частот первых килогерц, что соответствует масштабам источников $10^{-1} - 1$ м [1]. Наиболее ярко этот эффект наблюдается при подготовке сильных землетрясений за 1-3 суток перед землетрясением [1].

2 октября 2008 года в районе обсерватории была переменная облачность с большими кучевыми облаками. Осадков с 14^h до 19^h LT (UT+13^h) не наблюдалось. Из одного облака, которое, по-видимому, проходило над каким-то выступом или вершиной сопки произошел единичный молниевый разряд. Повторных разрядов затем не последовало. Молниевый разряд вызвал резкое падение значения градиента потенциала электрического поля с 80 В/м до величины -21 В/м, затем плавное восстановление значения до 70 В/м. Электропроводность воздуха изменялась слабо и составляла величину около $4 \cdot 10^{-15} \text{ 1}/(\text{Ohm} \cdot \text{m})$. Плотность тока проводимости изменялась от величины $-2 \cdot 10^{-13}$ до $+6 \cdot 10^{-13} \text{ A/m}^2$. Изменение магнитного поля во всех трех компонентах феррозондовым магнитометром, которое измерялось с интервалом 1 с, во время разряда молнии зафиксировано не было.

При изучении разрядов земля — облако форма восстановления заряда принято считать по формуле, предложенной Каземиром [3]:

$$E_z(t) = E_{z1} \cdot \exp(-t/\tau) + E_{z2} \cdot (1 - \exp(-t/\tau)), \quad (1)$$

где $E_z(t)$ – градиент потенциала электрического поля, E_{z1} – его значение сразу после разряда молнии, E_{z2} – значение после восстановления. τ определяет время релаксации атмосферы вблизи поверхности земли. По

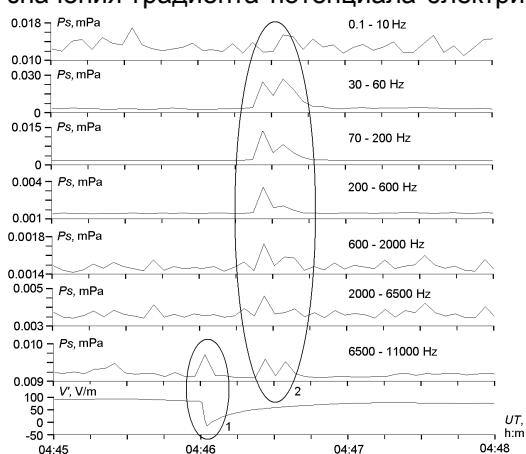


Рис.1. Графики акустической эмиссии в семи частотных диапазонах и градиента потенциала напряжённости электрического поля приземного слоя воздуха (внизу)

методу наименьших квадратов со средней квадратичной ошибкой 0.2 были определены численные значения в этой формуле: $Ez1 = -19.5 \text{ V/m}$; $Ez2 = 69.1 \text{ V/m}$.

Таким образом, заряд в облаке восстановился с характерным временем релаксации $\tau = 17 \text{ с}$. $Ez1$ соответствует поверхностной плотности заряда на земле. Если представить систему облако — земля как конденсатор, то в таком представлении τ имеет физический смысл как $\tau = RC$, где R — сопротивление, а C — ёмкость конденсатора. Время релаксации τ обуславливается также подвижностью ионов. Обычно ее среднее значение в регионах с высокой грозовой активностью примерно 7 с [3].

Одновременно с электрическим полем на разряд молнии наблюдался оклик акустической эмиссии (рис.1). При этом сигнал непосредственно от разряда зарегистрирован в самом высокочастотном диапазоне 6.5 - 11 кГц (рис.1, эллипс 1), а последующая звуковая волна — по всем каналам (рис.1, эллипс 2). По разнице прихода этих сигналов 24 с, с учетом скорости звука в воздухе 330 м/с, расстояние до источника составило ~ 8 км.

Влияние электроимпульсов на активность акустической эмиссии ранее исследовалось как в лабораторных экспериментах на образцах геоматериалов [4,5], так и в натурных условиях [6, 7]. В работе [4] представлены результаты экспериментов, проведенных на искусственных образцах породы. Показано, что при механическом сжатии образцов в диапазоне значений нагрузок близких к разрушающим с одновременным воздействием электроимпульсами возникает приращение энергии акустической эмиссии на величину $\sim 10^{-3}$ Дж. Подобные результаты были получены и на образцах горных пород с различными пьезоэлектрическими свойствами [4, 5]. Таким образом на сериях лабораторных экспериментов был выявлен эффект прироста активности акустической эмиссии, стимулированной внешними электромагнитными полями. Характерные масштабы источников АЭ в этом случае составляли порядки $10^{-3} - 10^{-2}$ м. Подобные результаты при энерговоздействии на горные породы были получены и в натурных условиях при использовании МГД-генераторов на Гармском и Бишкекском полигонах [6, 7]. Было установлено, что после пусков электрических импульсов от МГД-генератора заметно увеличивается слабая (с энергетическим классом $K \leq 6$) сейсмичность на территории полигонов. Следует отметить, что характерные масштабы источников в этих экспериментах сильно отличались от приведенных выше лабораторных и составляли порядка 10^3 м.

Отклик акустической эмиссии, зарегистрированный в этом эксперименте, соответствует результатам лабораторных и натурных испытаний, приведенных выше. При этом, так как отклик наблюдается только в диапазоне 6.5-11 кГц, можно говорить о характерных размерах источников 10^{-1} м. Это на 1 порядок больше лабораторных испытаний и на 4 порядка меньше натурных, на таких масштабах ранее подобные эффекты не наблюдались. В данном случае впервые повышение активности акустической эмиссии при воздействии электрическим импульсом выявлено в натурных условиях при молниевом разряде.

Таким образом, в результате наблюдения одиночного молниевых разряда в условиях отсутствия осадков были обнаружены следующие эффекты:

1. Резкое падение величины градиента потенциала электрического поля в воздухе на высоте 3м с 80 В/м до минус 21 В/м. Затем поле восстановило свой уровень до значения 70 В/м с характерным временем релаксации 17 с.
2. Впервые на естественное импульсное электрическое воздействие зарегистрирован отклик акустической эмиссии в диапазоне частот 6.5 - 11 кГц.

Литература

1. Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология 2005. №5. С.45-59.
2. Dolgikh G.I., Kuptsov A.V., Larionov I.A., Marapulets Yu.V., et.al. Deformation and acoustic precursors of earthquakes. // Doklady Earth Sciences. 2007. V. 413. N. 1. P.281-285.
3. Chalmers, J. A., Atmospheric Electricity, 2nd cd., 515 pp., Pergamon Tarrytown, N.Y., 1967
4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика предвестников землетрясений. - М.: Наука, 2003. - 270 с.
5. Bogomolov L. M., Il'ichev P.V., Zacupin A.S., Novikov V.A., et.al. Acoustic emission response of rocks to electric power action as seismoelectric effect manifestation. // Annals of Geophysics. 2004, Vol. 47. N. 1. Pp. 65-72.
6. Тарасов Н.Т. Изменение сейсмичности коры при электрическом воздействии. //Доклады АН. 1997. Т.353. №4. -С. 542-545.
7. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Воздействие мощных электромагнитных импульсов на сейсмичность Средней Азии и Казахстана. //Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С.152-160.