

УДК 534.321.8

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

К.В. Вознесенская, А.В. Соловьев, И.С. Гибанов,
Д.С. Провоторов, М.В. Чепчугов, А.А. Бочаров

Томский государственный университет
E-mail: v-ksu@sibmail.com

Приведено описание комбинированной системы грозоопределения, состоящей из инфразвукового комплекса и электрической антенны. Описана методика пеленгации акустических сигналов. Проведена пеленгация акустических сигналов от грозовых разрядов.

Ключевые слова:

Инфразвуковой комплекс, инфразвук, грозовой разряд, электрическая антенна.

Прохождение циклонов, сопровождаемых грозовой активностью, над городской территорией является важным экологическим фактором. Остро встает необходимость заблаговременного предупреждения населения и различных городских служб о прохождении грозовых фронтов, поскольку грозы являются значительным поражающим фактором в местах скопления людей и системе городского жизнеобеспечения. Грозы так же являются причиной техногенных аварий линий электропередач (ЛЭП), кабельных линий связи, трубопроводов для транспортирования углеводородного сырья и др. Большинство систем грозоопределения основаны на регистрации электрических и электромагнитных сигналов от грозовых разрядов [1]. Использование подобных методов в городских условиях может сопровождаться различными сбоями, поскольку в городах наблюдается повышенный уровень электромагнитных шумов практически во всем диапазоне частот. Встает вопрос о развитии систем грозоопределения с целью повышения их надежности.

Молниевые разряда являются источником акустической, электрической и сейсмической активности [2, 3]. Предлагается использование в качестве информационных параметров электромагнитных и инфразвуковых сигналов от молниевых разрядов.

В Томском государственном университете на кафедре космической физики и экологии ведется непрерывный мониторинг и регистрация низкочастотных акустических шумов. Инфразвуковой комплекс состоит из: трех микробарометров, два из которых находятся на здании лабораторного корпуса СФТИ, а третий расположен вблизи ионосферной станции, и инфразвукового микрофона. Сигналы с датчиков передаются на аналого-цифровой преобразователь и затем сохраняются в базу данных на

Вознесенская Ксения Владимировна, аспирант, инженер НОЦ «Физика ионосферы и электромагнитная экология» ТГУ.

E-mail: v-ksu@sibmail.com
Область научных интересов: физика атмосферы и гидросферы, акустические поля, электрическое поле Земли, сейсмические поля.

Соловьев Андрей Вениаминович, канд. техн. наук, доцент кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета ТГУ.

E-mail: andrio@mail.tsu.ru
Область научных интересов: физика атмосферы и гидросферы, акустические поля, турбулентность.

Гибанов Иван Сергеевич, студент радиофизического факультета ТГУ.

E-mail: v-ksu@sibmail.com
Область научных интересов: акустические волны, электрическое поле Земли.

Провоторов Денис Сергеевич, аспирант, инженер НОЦ «Физика ионосферы и электромагнитная экология» ТГУ.

E-mail: provotorov@sibmail.com
Область научных интересов: акустические волны, вариации акустического поля.

Чепчугов Максим Вячеславович, студент радиофизического факультета ТГУ.

E-mail: v-ksu@sibmail.com
Область научных интересов: акустические волны, электрическое поле Земли.

Бочаров Александр Александрович, аспирант, инженер НОЦ «Физика ионосферы и электромагнитная экология» ТГУ.

E-mail: euphoria@docsis.ru
Область научных интересов: акустические волны, акустическое картирование.

сервер. Инфразвуковой микрофон предназначен для регистрации акустических сигналов в диапазоне частот 0,01...50 Гц. Микробарометры позволяют регистрировать акустические сигналы в диапазоне частот 0,02...4 Гц. Размещение микробарометров представляет собой форму треугольника (рис. 1) [4]. Расстояние между первым и вторым датчиками – 90,851 м, между вторым и третьим – 276,452 м.



Рис. 1. Схема расположения на местности низкочастотных акустических датчиков (красными точками под номерами 1, 2, 3 обозначены микробарометры, синей точкой под номером 4 обозначен микрофон)

При анализе инфразвуковых сигналов от молниевых разрядов, регистрируемых инфразвукометрическим комплексом, было выявлено 2 типа инфразвуковых сигналов. Первый тип сигнала представляет собой одиночный импульс (рис. 2, а). Второй тип сигнала представляет собой серию импульсов или квазигармоническую последовательность (рис. 2, б). Наличие разных видов сигналов можно объяснить тем что, длительность и форма инфразвукового сигнала зависит от грозового канала и обратного хода в нем [4].

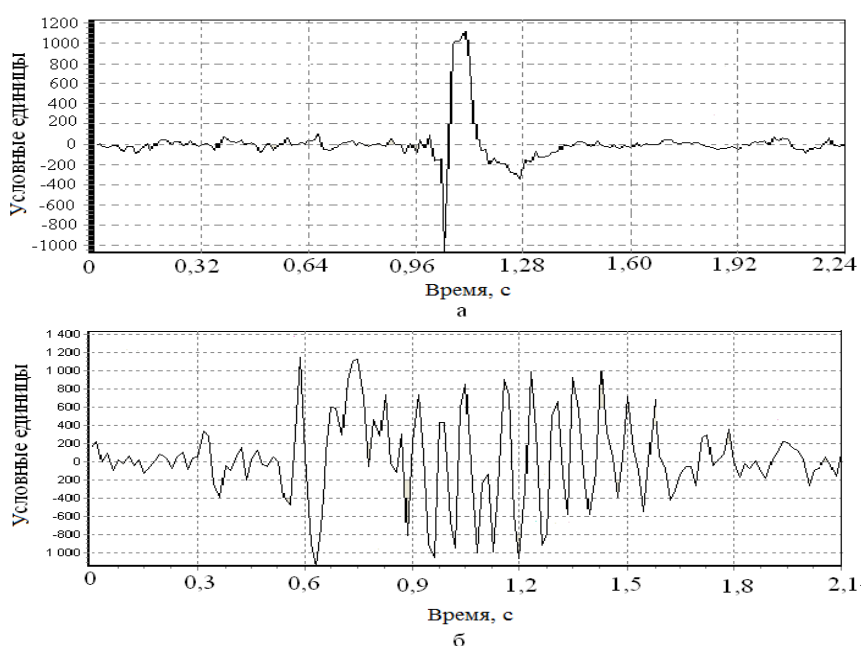


Рис. 2. Два типа инфразвуковых сигналов от молниевых разрядов

На рис. 3 представлен спектр относительной интенсивности акустических сигналов от молниевых разрядов, который определяется формулой:

$$P(f) = 20 \lg \frac{S_{mp}(f)}{S_{\phi}(f)},$$

где $S_{mp}(f)$ – усредненный амплитудный спектр сигнала от молниевых разрядов, $S_{\phi}(f)$ – усредненный амплитудный фоновый спектр за день. При грозе наблюдается увеличение акустического уровня шумов относительно фонового уровня порядка 18 дБ. Спектральный пик инфразвукового сигнала от гроз находится на частоте порядка 1 Гц, на фоне общего повышения уровня шумов во время прохождения грозового фронта.

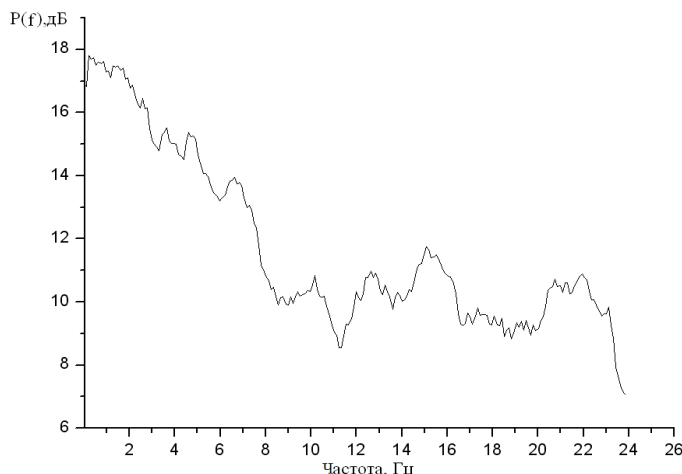


Рис. 3. Спектр относительной интенсивности акустического сигнала от молниевых разрядов, $P(S)$ – уровень акустических сигналов от молниевых разрядов

Грозовые электрические разряды в атмосфере сопровождаются мощными акустическими импульсами. Анализ этого явления посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ. Проводились исследования генерации сейсмических [3] и электромагнитных волн от грозовых разрядов [2]. По литературным данным молнии генерируют в атмосфере акустические волны в широком диапазоне звуковых и инфразвуковых частот. При ударе молнии в спектре акустического поля наблюдаются два частотных максимума: один в диапазоне частот менее 20 Гц, наиболее часто наблюдается максимум на частотах 0,2...2 Гц, связанный с разрядом внутри облака, второй – в диапазоне между 40...60 Гц, связанный с разрядом в землю.

Один из механизмов генерации инфразвуковой волны молниевым разрядом был предложен Десслером (1973 г.) и получил развитие в работах Фью (1985 г.). В основу данного механизма заложено то, что электростатическое поле вызывает уменьшение атмосферного давления внутри заряженной области облака, которое повышается до нормального уровня в момент удара молнии. Согласно этой модели, колебание атмосферного давления сильно ориентировано в вертикальном направлении, и его амплитуда 0,05...5 Па связана с зарядом грозового облака, который нейтрализуется разрядом молнии с максимумом на частотах 0,2...2 Гц. Положение частотного максимума зависит от заряда подстилающей поверхности [4]. Начальная фаза инфразвуковой волны должна характеризоваться фазой сжатия. Так же характерной особенностью данной волны является уменьшение давления в начале сигнала. Исходя из этих данных, можно отличить инфразвуковые сигналы, источником которых являются грозовые разряды, от сигналов других источников [5].

С помощью инфразвукового комплекса, состоящего из трех инфразвуковых датчиков, мы можем определить направление прихода акустической волны в плоскости земли (определение пеленга сигнала). Для расчета азимута прихода акустической волны θ и скорости следа волны V_p пользуемся формулами (1) и (2) соответственно [5]:

$$\theta = \arctg \frac{(x_2 - x_1)\tau_{23} - (x_2 - x_3)\tau_{12}}{(y_2 - y_1)\tau_{23} - (y_2 - y_1)\tau_{12}}, \quad (1)$$

$$V_p = \frac{2\pi f}{\Delta\phi_{12}} [(y_1 - y_2) \cos \theta - (x_1 - x_2) \sin \theta], \quad (2)$$

где x_i, y_i – координаты микробарометров, τ_{23}, τ_{12} – временная задержка между датчиками.

Для примера пеленгации инфразвуковых сигналов от молниевых разрядов проанализировали грозовой фронт 12.07.2011 г. При прохождении грозового фронта наблюдалось 18 молниевых разрядов. Продолжительность прохождения грозового фронта составила приблизительно 68 мин. На рис. 4 показаны направления прихода инфразвуковых сигналов, где цифрами обозначен номер молниевого удара.

На рис. 5 представлено вероятностное распределение направления прихода сигнала. Получено, что доминируют два направления прихода сигналов, а именно восточное и западное. Распределение плотности молниевых разрядов связано с зарядом подстилающей поверхности, по литературным данным максимальная плотность грозовых разрядов приходится на долины рек, что объясняет максимум в восточном направлении [5].

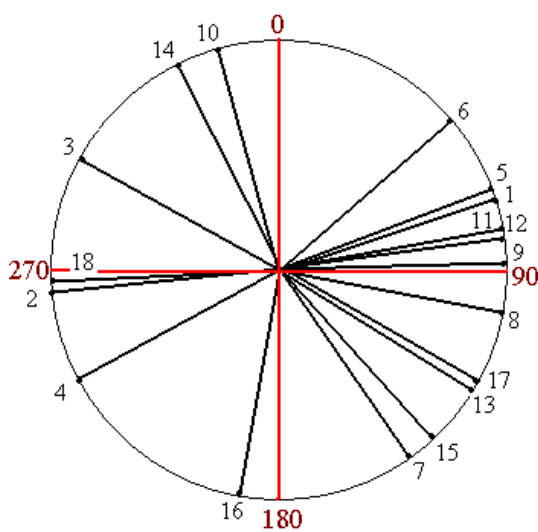


Рис. 4. Пример пеленгации молниевых ударов от грозового фронта 12.07.2011 г.

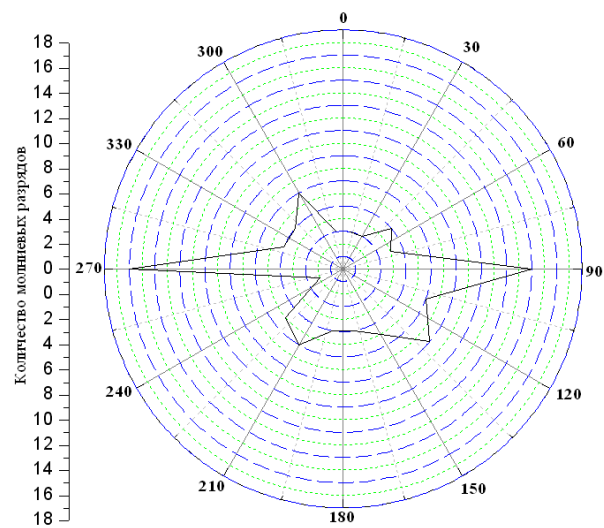


Рис. 5. Распределение направления прихода сигнала от гроз

Используя комбинированную систему, состоящую из инфразвукового комплекса и электрического флюксметра (ЭФ) (рис. 6), мы можем определить расстояние до источника инфразвука (рис. 7). Электрический флюксметр предназначен для измерения электростатического поля вблизи поверхности Земли. Все датчики системы являются синхронизированными по времени.



Рис. 6. Электрический флюксметр с открытой крышкой

Расстояние до места инфразвукового события (молниевое разряда) определим по временной задержке (τ) прихода акустической волны относительно прихода электромагнитной волны в приближении, что электромагнитная волна доходит до пункта приема мгновенно ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $c_{зв} = 3 \cdot 10^2$ м/с). Время задержки определяем по разнице во времени между электромагнитным и инфразвуковым импульсами (рис. 8). Для определения расстояния от молниевое разряда до измерительной системы (d), зная скорость волны и временную задержку, воспользуемся формулой:

$$d = V_p \tau.$$

Таким образом, нам известны такие параметры, как скорость волны, направление прихода акустической волны и расстояние до инфразвукового события. Следовательно, мы можем составить карту пространственного распределения грозовых ударов.

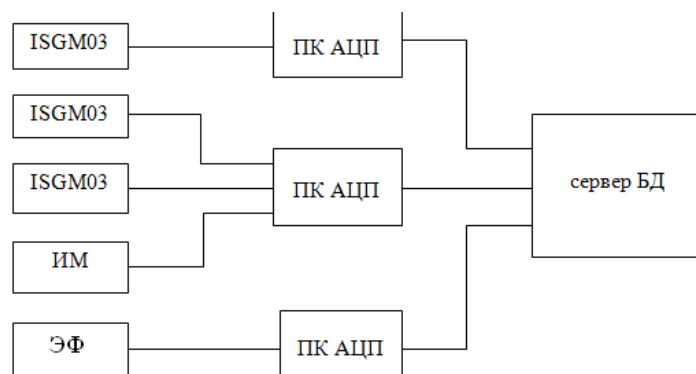


Рис. 7. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса с использованием электрической антенны (ЭА)

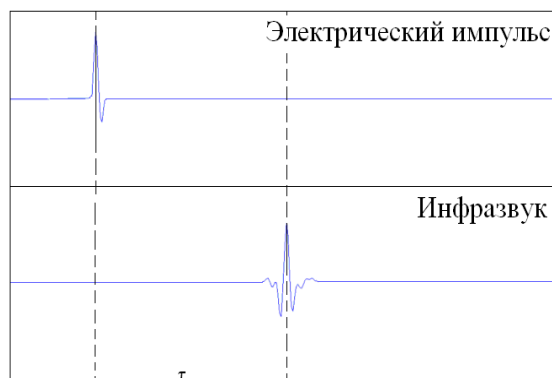


Рис. 8. Временная задержка между акустическим и электрическим сигналами

В ходе работы было выделено 2 типа инфразвукового сигнала от молниевое разряда: сигнал, представляющий одиночный импульс и сигнал, представляющий серию импульсов. Спектральный пик регистрируемых инфразвуковых сигналов от гроз находится на частоте порядка 1 Гц на фоне общего повышения уровня шумов во время прохождения грозовых фронтов. Проведена пеленгация акустических сигналов от грозовых ударов за грозовой период 2011 г. Получено, что доминируют два направления прихода сигналов, а именно восточное и западное. Распределение плотности молниевых разрядов связано с зарядом подстилающей поверхности. Разработана комбинированная система грозообнаружения с использованием инфразвукометрического комплекса и электрического флюксметра. Использование подобной системы грозообнаружения позволит нам составить карту пространственного распределения грозовых ударов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (Соглашение № 14.В37.21.1893).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев В.И., Козлов В.И., Муляров В.А. Дистанционный мониторинг лесных пожаров и гроз в Якутии. – Якутск: Изд-во НЯЦ СО РАН, 2009. – 106 с.
2. Соловьев С.П., Рыбнов Ю.С. Возмущение электрического поля и генерация акусто-гравитационных волн, обусловленная приближением атмосферного фронта // Геофизика межгеосферных взаимодействий. – М.: Геос, 2008. – С. 95–97.
3. Санина И.А., Рыбнов Ю.С., Солдатенко А.М. и др., Сейсмоакустические эффекты при грозовой активности // Геофизика межгеосферных взаимодействий. – М.: Геос, 2008. – С. 67–79.
4. Betz H.D. et al. (eds.). *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. – Germany: Springer Science+Business Media, 2009. – P. 417-432.
5. Liszka L. Long-distance propagation of infrasound from artificial sources // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1974. – V. 56. – № 5. – P. 1367–1388.

Поступила 23.11.2012 г.