

АКУСТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ГРОЗОВОГО ЯВЛЕНИЯ В МОСКВЕ 13.07.2016 г.

***В.В. Адушкин, А.А. Спивак, Ю.С. Рыбнов, С.А. Рябова,
С.П. Соловьев, В.А. Харламов***

Анализируются результаты инструментальных наблюдений за электрическим полем и микропульсациями атмосферного давления в приземной атмосфере в период сильной грозовой активности в г. Москве 13.07.2016 г. Показано, что приход грозового фронта предварялся длиннопериодными (период ~ 10 мин) вариациями напряженности электрического поля, внутренними гравитационными волнами, а также повышенными значениями импедансного акустического соотношения. После прихода холодного атмосферного фронта, а также в период интенсивных молниевых разрядов типа облако-земля наблюдались более высокочастотные вариации электрического поля (период ~ 1 мин) и повышенная турбулизация атмосферы. На заключительной стадии явления практически отсутствовали ветровые движения в атмосфере и микропульсации атмосферного давления, период вариаций электрического поля увеличился до ~ 15 мин.

Введение

Грозы представляют собой одно из наиболее ярких природных явлений, характеризующих с одной стороны локальные особенности электрического поля Земли, с другой – глобальную токовую цепь. Изучение геофизических эффектов, которые сопутствуют грозовой активности, представляет значительный интерес как с точки зрения понимания механизма и разработки модели грозовых явлений, так и совершенствования подходов к их прогнозированию с целью предупреждения нежелательных и катастрофических последствий [Анисимов, Мареев, 2008; Rakov, Uman, 2003; Uman, 1987]. При этом особое значение имеет исследование указанных эффектов в условиях развитой инфраструктуры больших городских конгломераций [Спивак и др., 2016а].

В ряду грозовых явлений в г. Москве, часто наблюдавшихся в июне-июле 2016 г., гроза 13.07.2016 г. выделяется не только своей интенсивностью, но также наличием отличительных признаков, представляющих особый интерес с точки зрения изучения явления и разработки прогностических критериев.

В настоящей работе приводятся результаты регистрации и анализа вариаций напряженности электрического поля и микропульсаций атмосферного давления в приземной атмосфере во время грозы в г. Москве 13.07.2016 г.

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались ряды инструментальных наблюдений за напряженностью электрического поля и микропульсациями атмосферного давления, выполняемых в Центре геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН (55,7052°N; 37,5707°E). Напряженность электрического поля E (вертикальная компонента) регистрируется электростатическим флюксметром ИНЭП, который обеспечивал измерения E амплитудой от 1 В/м до 6 кВ/м в частотном диапазоне 0–20 Гц. Регистрация микропульсаций атмосферного давления выпол-

няется с использованием микробарометра МБ-03 [Спивак и др., 2016б] в диапазоне амплитуд 0,01–200 Па в полосе частот 0,001–10 Гц. Метеопараметры атмосферы (температура и влажность воздуха соответственно T и W , атмосферное давление P , скорость ветра V) регистрируются с помощью цифровой автоматической метеостанции Davis Vantage Pro2. Все величины измеряются в приземном слое атмосферы. Оценка спектральных характеристик исследуемых величин выполнялась с использованием авторегрессионных моделей цифровых рядов.

Результаты регистрации в виде привязанных ко времени цифровых рядов $E(t)$ и $P(t)$ накапливаются на жестких носителях и выкладываются на сайте ИДГ РАН в графическом и цифровом видах (<http://idg.chph.ras.ru/~idg/data/>).

Результаты анализа акустических и электрических эффектов

Результаты регистрации вариаций метеопараметров, электрического поля E и амплитуды микробарических пульсаций A , вызванных грозовым явлением 13.07.2016 г. в г. Москве, приведены на рис. 1. Из рис. 1 следует, что в 20:07 UT наблюдалось прохождение холодного атмосферного фронта, который вызвал резкое падение температуры T на 5,8 град., усиление скорости ветра V на ~7 м/с, кратковременное увеличение амплитуды микробарических пульсаций A и рост влажности воздуха (за 20-ти минутный интервал величина W выросла на ~21%). Особо следует отметить резкое увеличение атмосферного давления (скачок давления составляет около 500 Па). В отличие от многочисленных наблюдений событие 13.07.2016 г. отличается необычайно высоким градиентом нарастания величины P , которое достигает 600–700 Па/мин.

Вариации электрического поля наблюдаются, начиная с 19:10 UT, задолго до прихода атмосферного фронта. При этом из данных рис. 1 следует, что отчетливо выделяются три стадии вариаций E , отличающиеся периодом и вероятнее всего амплитудой¹. Начальная (первая) стадия вариаций E продолжительностью около 1 часа (с 19:00 до прихода атмосферного фронта в 20:07 UT) характеризуется амплитудой около 4000 В/м с преимущественным периодом около 10 мин. Затем с приходом атмосферного фронта резко изменяется преимущественный период вариаций. В период 20:07–21:00 UT он составляет ~1 мин. В этом временном интервале наблюдаются интенсивные молниевые разряды типа облако-земля (рис. 2), количество которых достигает 2–3 разряда в минуту. И, наконец, на заключительной стадии явления амплитуда вариаций E снижается до ~2000–3000 В/м с увеличением периода до ~15 мин.

Рис. 3 демонстрирует отличие в спектрах вариаций E на первой и второй стадиях развития грозовой активности. Если на первой стадии основные вариации E наблюдаются в диапазоне $(1-2,5) \cdot 10^{-3}$ Гц при пиковой частоте $1,45 \cdot 10^3$ Гц (период 11,3 мин), то на второй стадии основные вариации наблюдаются в диапазоне частот $6,8 \cdot 10^{-3}-2,10^{-2}$ Гц при ярко выраженном пиковом значении на частоте $1,56 \cdot 10^{-2}$ Гц (период 1,06 мин).

¹ Динамический диапазон применяемых средств регистрации не обеспечил установление амплитуды вариаций электрического поля на второй "высокочастотной" стадии; однако, из приведенной записи видно, что амплитуда вариаций в период 20:07–21:00 UT превышает амплитуду на первой и третьей стадиях.

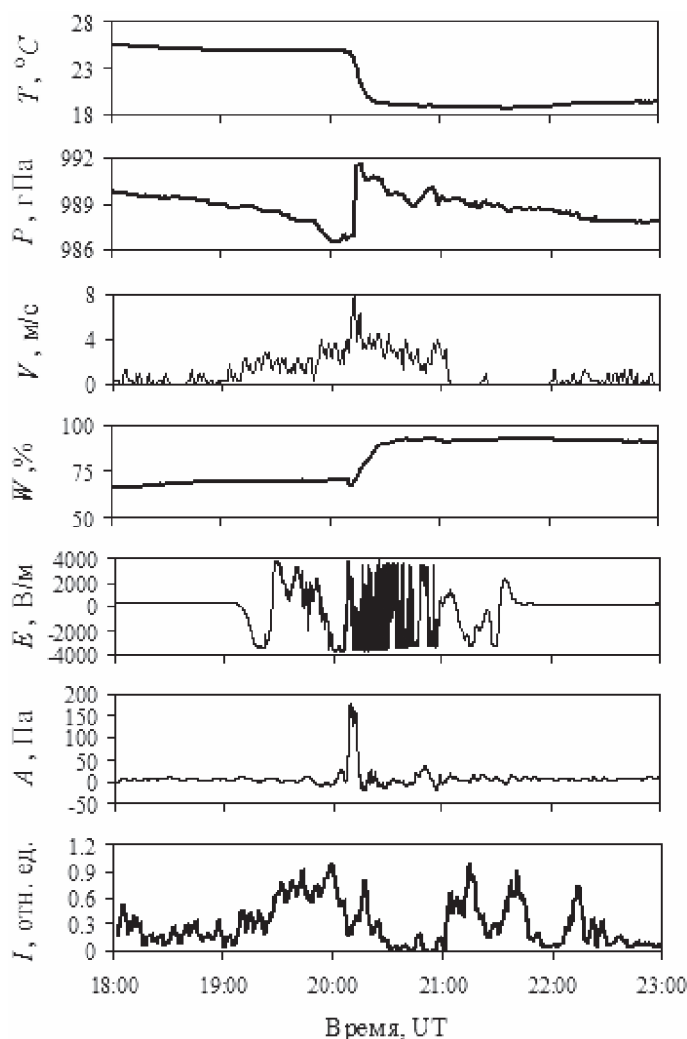


Рис. 1. Результаты регистрации метеопараметров (атмосферное давление P , температура воздуха T , скорость ветра V и влажность воздуха W), вертикальной компоненты электрического поля E и амплитуды микробарических пульсаций атмосферного давления A в период грозовой активности 13.07.2016 г. в г. Москве.

Аналогичные стадии развития грозовой активности 13.07.2016 г. можно проследить также в вариациях амплитуды микробарических пульсаций, что подтверждается спектральным анализом. Действительно, как это следует из рис. 3 амплитуда спектра мощности микробарических пульсаций S_P на второй стадии более чем в 5 раз выше соответствующей амплитуды на первой стадии (характерные периоды вариаций микробарических пульсаций на первой и второй стадии явления близки между собой и составляют соответственно 11,3 и 13,6 мин).

Полученные данные хорошо согласуются с результатами оптических и визуальных наблюдений, которые свидетельствуют о том, что развитие грозовой ак-

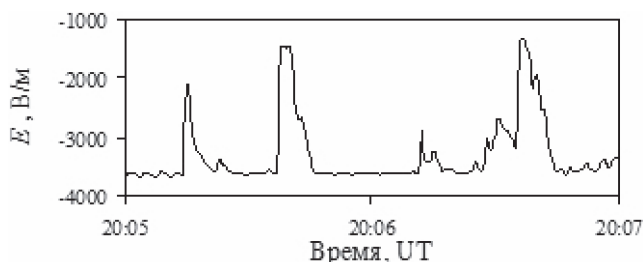


Рис. 2. Пример регистрации вариаций электрического поля в приземном слое атмосферы в период молниевых разрядов типа облако-земля 13.07.2016 г. в г. Москве

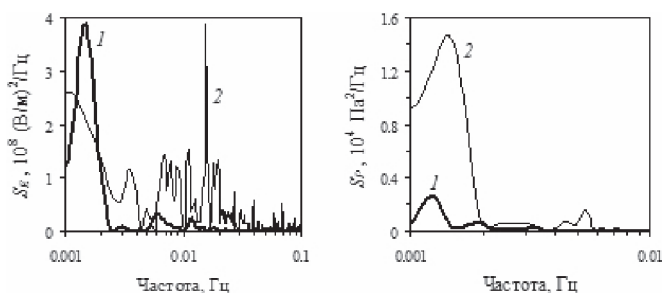


Рис. 3. Спектральная плотность мощности вариаций напряженности электрического поля S_E и микробарических пульсаций атмосферного давления S_P в период грозовой активности 13.07.2016 г. в г. Москве. 1 и 2 – соответственно первая и вторая стадии развития явления

тивности происходило поэтапно. Перед приходом атмосферного фронта в период первой, выделенной выше стадии, отмечались многочисленные всплески в атмосфере, практически не сопровождавшиеся акустическими колебаниями, что можно объяснить сильным затуханием амплитуды объемных акустических волн, которые вызывались молниевыми разрядами типа облако–облако на достаточно больших расстояниях от точки наблюдения. Наступление второй стадии охарактеризовалось, как уже отмечалось, мощными молниевыми разрядами типа облако-земля, но уже сопровождавшимися сильными акустическими эффектами.

Зарегистрированные вариации электрического поля в период, предшествующий приходу атмосферного фронта (фактически приходу грозовой ячейки), объясняются формированием на этой стадии в атмосфере внутренних гравитационных волн (ВГВ). Здесь следует отметить, что ВГВ, вызываемые в атмосфере различными источниками, представляют собой самостоятельный и весьма интересный объект исследований. Это связано с тем, что ВГВ не только являются индикаторами и предвестниками таких опасных явлений как сильные грозы, шторма, смерчи и т. д., но и играют значительную роль в развитии мезомасштабных атмосферных аномалий, внося определенный вклад в энергетику атмосферных процессов, а порой играя роль триггера [Романова, Якунин, 1995].

Для идентификации ВГВ в период грозовой активности 13.07.2016 г. воспользуемся критерием, основанном на вычислении акустического импедансного соотношения [Романова, Якунин, 1995]

$$I(t) = \frac{A(t)}{\rho V(t)},$$

где $A(t)$ – пульсации атмосферного давления, $V(t)$ – горизонтальная составляющая скорости ветра, ρ – плотность воздуха, t – время.

Как показывает анализ [Романова, Якунин, 1995], совпадение (близость) фазовых характеристик колебаний скорости ветра и пульсаций атмосферного давления свидетельствует о наличии ВГВ. В случае слабой фазовой корреляции микропульсации атмосферного давления обусловлены конвекцией, которая, как правило, связана с развитием турбулентности.

Результаты расчетов представлены на рис. 1 в виде нормированной величины $I(t)$. Приведенные данные свидетельствуют о том, что величина нормированного импедансного соотношения (НИС) значительно изменяется со временем. Наблюдается резкое уменьшение НИС на второй стадии развития грозовой активности по сравнению с первой и третьей стадиями. Превышение НИС величины $0,5 \div 0,6$ на первой и третьей стадиях грозовой активности в соответствии с выводами работы [Романова, Якунин, 1995] свидетельствует о существовании в атмосфере ВГВ. Напротив, практически нулевые значения НИС на второй стадии демонстрируют существенные различия в фазах вариаций скорости атмосферных движений и давления. Таким образом, вторая стадия характеризуется развитием турбулентных движений.

Заключение

Приведенные данные демонстрируют сложный характер сильной грозы 13.07.2016 г. При этом следует отметить, что установленное в настоящей работе поэтапное развитие сопутствующих грозе геофизических эффектов в г. Москве не является уникальным и наблюдалось неоднократно в периоды сильных грозовых явлений (07.06.2014, 09.06.2014, 25.08.2014, 29.05.2015, 20.06.2015, 18.06.2016 гг. и в ряде других случаев).

Результаты работы могут быть использованы как при разработке общей модели грозовых явлений, так и при установлении прогностических критериев их интенсивности.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ФАНО "Создание в здании Института Центра геофизического мониторинга для систематических исследований негативных последствий на среду обитания и инфраструктуру Москвы природных и техногенных факторов" (проект 0146-2014-0015) при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8 (проект 0146-2015-0011 "Взаимодействие и преобразование геофизических полей на границе земная кора – атмосфера") в части обработки геофизических данных.

Литература

Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8–18.

Романова Н.Н., Якушкин И.Г. Внутренние гравитационные волны в нижней атмосфере и источники их генерации // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1995. Т. 31. № 2. С. 163–186.

Стивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Геофизические поля мегаполиса // Геофизические процессы и биосфера. 2016а. Т. 15. № 2. С. 39–54.

Стивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Аппаратура и методики для мониторинга геофизических полей мегаполиса и их применение в Центре геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН // Сейсмические приборы. 2016б. Т. 52. № 2. С. 65–78.

Rakov V.A., Uman M.A. Lighting: physics and effects (encyclopedia of lighting). Cambridge University Press, 2003. 687 p.

Uman M.A. The lightning discharge. London: Academic, 1987. 377 p.