

ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПЕРИОД УРАГАНОВ И ШКВАЛОВ В МОСКВЕ

А.А. Спивак, Ю.С. Рыбнов, В.А. Харламов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт динамики геосфер Российской академии наук

Выполнен комплексный анализ микробарических пульсаций, вариаций электрического поля и микросейсмического фона в условиях г. Москвы в период сильных возмущений атмосферы. Показано, что ураганы и шквалы сопровождаются не только высокими скоростями ветра, но также высокоамплитудными микробарическими вариациями, вариациями амплитуд микросейсмического фона и вертикальной компоненты электрического поля. Установлено, что рассматриваемые сильные возмущения атмосферы за 1–4 часа предваряются повышенными амплитудами микробарических вариаций в диапазоне частот Брента-Вяйсаля, а также низкочастотными вариациями электрического поля и вариациями микросейсмического фона в диапазоне частот 0.008–20 Гц, что в совокупности с метеорологическими параметрами можно рассматривать в качестве комплексного прогностического признака приближающегося урагана (шквала). Такой подход может повысить надежность и оперативность прогноза.

Введение

На протяжении последних лет отчетливо проявляется тенденция к увеличению количества опасных природных явлений, а также катастрофических процессов, вызванных техногенной деятельностью человека [Осипов, 2001]. Особую озабоченность вызывают сильные атмосферные явления в виде ураганов (скорость ветра превышает 30 м/с) и шквалов (скорость ветра достигает величины 15–20 м/с и

выше), негативные последствия которых наблюдаются в последние года, в частности, в Московском регионе. Произошедшие в Москве в 2017 г. ураган 29 мая и шквал 30 июня привели к человеческим жертвам и нанесли значительный урон экологии мегаполиса. В связи с этим представляется важным установление статистических обоснованных прогностических признаков указанных явлений, которые могли бы составить основу для разработки мероприятий по предупреждению населения и городских коммунальных служб. Такую задачу решает, в частности, созданный при ИДГ РАН Центр геофизического мониторинга г. Москвы (ЦГМ) [Спивак и др., 2016а, 2016б]. Измерительный комплекс ЦГМ, включающий каналы регистрации метеорологических характеристик, акустических колебаний в нескольких частотных диапазонах, сейсмических колебаний и электрического поля, является в своем роде уникальным и позволяет в непрерывном режиме получать и накапливать информацию о геофизической обстановке в условиях мегаполиса. При этом следует отметить, что возможности ЦГМ значительно расширяются при использовании данных инструментальных наблюдений, выполняемых синхронно с ЦГМ на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (МНВ) и в районе г. Звенигород.

В настоящей работе выполнен обобщающий анализ геофизических проявлений сильных атмосферных явлений ураганного типа в г. Москве, по результатам которого сделана попытка сформулировать возможный прогностический признак сильного атмосферного возмущения.

Используемые данные

В качестве исходных данных привлекались цифровые ряды инструментальных наблюдений за напряженностью электрического поля и микропульсациями атмосферного давления, выполненных в ЦГМ, МНВ и г. Звенигород, а также результаты сейсмической регистрации в ЦГМ. Микропульсации атмосферного давления выполнялись с использованием микробарометра МБ-03 в частотном диапазоне 0.001–10 Гц и в расширенном диапазоне частот 0.05–100 Гц с использованием микрофона 4147 фирмы B&K. Напряженность электрического поля (вертикальная компонента E_z) измерялась с помощью электростатического флюксметра ИНЭП, который обеспечивает измерения E_z в интервале от 1 В/м до 6–10 кВ/м в зависимости от конкретного экземпляра (в процессе организации постоянного мониторинга экземпляры ИНЭПов периодически сменяются с целью очистки рабочих поверхностей от загрязнения) в частотном диапазоне 0–20 Гц. Сейсмическая регистрация выполнялась с использованием сейсмометра STS-2 и регистратора RefTek в диапазоне частот 0.008–20 Гц. Метеорологические параметры атмосферы (температура и влажность воздуха соответственно T и W , атмосферное давление P , скорость ветра V) регистрируются с помощью цифровой автоматической метеостанции Davis Vantage Pro2. Результаты регистрации в виде привязанных ко времени цифровых рядов накапливаются на жестких носителях и выкладываются на сайте ИДГ РАН в графическом и цифровом видах.

Для анализа привлекались данные, полученные в период 2009–2017 гг. в те дни, когда наблюдались сильные возмущения атмосферы (за указанный период в Москве произошло 7 событий ураганного и шквального типа). Оценка спектральных характеристик вариаций E_z и микропульсаций атмосферного давления выполнялась с использованием авторегрессионных моделей цифровых рядов.

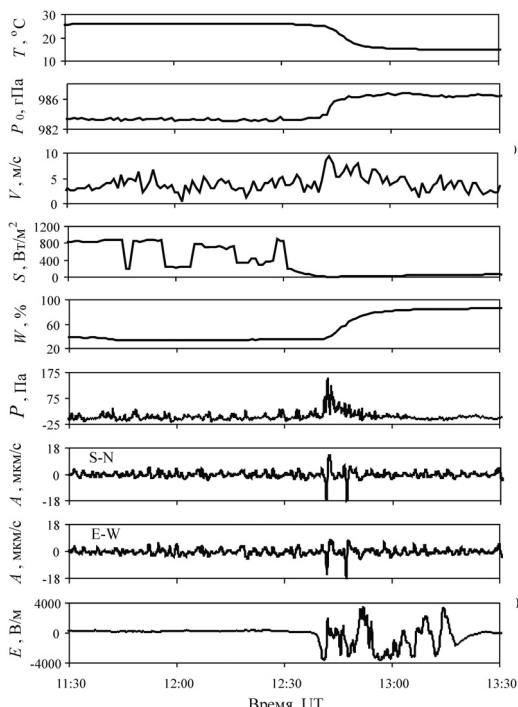


Рис. 1. Изменение метопараметров и вариация геофизических полей в период урагана в Москве 29.05.2017 г. (компоненты сейсмических колебаний в горизонтальной плоскости обозначены в поле рисунка)

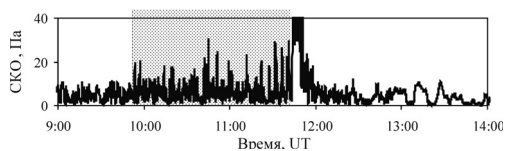


Рис. 2. Среднеквадратичное отклонение амплитуды вариаций акустических колебаний (усреднение по 15 с интервалам); фоном выделена область повышенных значений СКО перед ураганом

Геофизические эффекты сильных возмущений атмосферы

Анализ данных, полученных в результате инструментальных наблюдений, показал, что сильные возмущения атмосферы отличаются не только значимыми изменениями метеорологических характеристик (температура, атмосферное давление, скорость ветра, влажность и т.д.), но также вариациями геофизических полей, в частности, электрического поля (ЭП), микросейсмического фона (МФ) и акустических колебаний (АК) у земной поверхности. В качестве примера на рис. 1 приведены совместно вариации метеорологических параметров, амплитуды акустических колебаний P , амплитуды микросейсмических колебаний A и вертикальной компоненты электрического поля E в период урагана 29.05.2017 г. в Москве по данным ЦГМ. Особенностью указанного события, максимальная интенсивность которого наблюдалась в период 12:40–13:00 UT, является отсутствие грозовой активности при сильно возмущенном состоянии атмосферы. Из рис.1 видно, что приход холодного атмосферного фронта, который сопровождается резким падением температуры воздуха T , увеличением атмосферного давления P_0 , скорости ветра (на рис. 1 приведены поминутно усредненные значения; пиковые значения V достигали 33 м/с) V , значительным повышением влажности воздуха W и резким снижением мощности солнечного излучения S на земной поверхности, вызвал повышение амплитуд микросейсмического и акустических колебаний, а также значительные вариации напряженности электрического поля.

Анализ и обобщение событий ураганного и шквального типов в г. Москве, зарегистрированных за период 2009–2017 годы позволяет отметить следующее.

Акустические колебания. Ураганы и шквалы вызывают значительное увеличение амплитуды акустических колебаний P до 100–150 Па в частотном диапазо-

не 2–15 мин. Вместе с тем следует отметить, что заметное увеличение амплитуд АК, превышающих фоновые значения в 1.3–1.5 раза, наблюдается уже за 1–4 часа до основного события. При этом по мере приближения урагана к точке наблюдения – это соотношение возрастает. В качестве примера на рис. 2 приведены значения среднеквадратичного отклонения (СКО) амплитуды акустических колебаний для рассматриваемого события.

Сильные возмущения атмосферы ураганного типа вызывают вариации не только амплитудных, но и спектральных характеристик АК. Это хорошо видно из примера, приведенного на рис. 3. В целом следует отметить, что в период наиболее интенсивных проявлений ураганного типа наблюдаются сильные вариации амплитуды акустических колебаний в диапазоне периодов от 2–3 мин до 12–15 мин. За 2–4 часа до наиболее интенсивных проявлений ураганного типа (в большинстве случаев это совпадает с приходом холодного атмосферного фронта) отмечаются повышенные вариации амплитуды в диапазоне периодов от 2–3 мин до 5–6 мин. По мере снижения интенсивности урагана спектр возвращается к первоначальному (фоновому) виду.

Более ярко приближение урагана (шквала) проявляется в интенсивности акустических колебаний

$$I = \frac{P^2}{\rho C}$$

ρ и C – соответственно плотность воздуха и скорость звука. В качестве примера на рис. 4 приведены оценки вариаций величины I для конкретного случая (ураган в г. Москве 29.05.2017 г.). При оценках использовались зависимости [Хргиан, 1986]

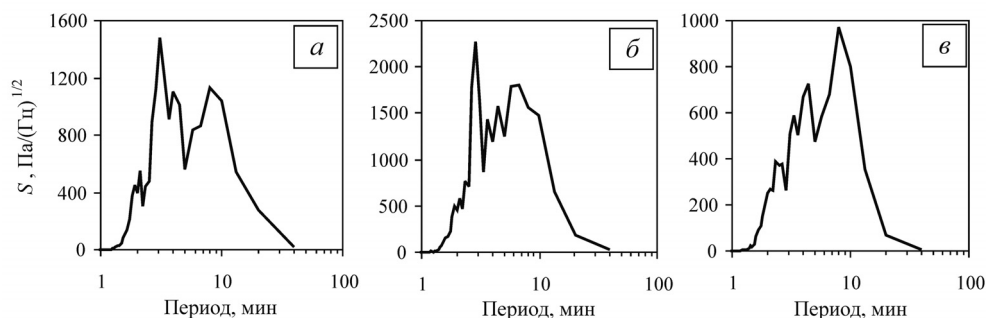
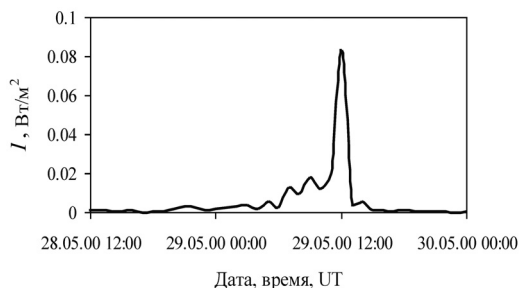


Рис. 3. Спектры вариаций амплитуды акустических колебаний до (а), в период наиболее интенсивных проявлений (б) и после (в) урагана в Москве 29.05.2017 г.

Рис. 4. Интенсивность акустических колебаний в период урагана в Москве 29.05.2017 г.



$$C \approx 20.06\sqrt{273 + T} \text{ и } \rho \approx \rho_0 \left[1 - \frac{T - T_0}{T_0} \right]$$

где C – скорость звука, T_0 – температура воздуха при нормальных условиях, ρ и ρ_0 – плотность воздуха соответственно в момент регистрации и при нормальных условиях.

Электрическое поле. Интенсивные атмосферные возмущения вызывают значительные вариации напряженности электрического поля, амплитуда которых достигает 3000–6000 В/м (рис. 1). При этом важно отметить, что за 3–4 часа до прихода события ураганного типа наблюдается увеличение амплитуды вариаций и возникновение длиннопериодных пульсаций E с периодом около 40 мин (рис. 5). При этом значительно изменяется спектр вариаций E , что хорошо видно из рис. 6. Фоновые вариации характеризуются амплитудой вариации E в диапазоне 40–80 В/м (преимущественная частота ~8 Гц), на участке предвестника – в диапазоне 100–150 В/м (преимущественная частота ~10 Гц) с амплитудой пульсаций 200–240 В/м (период 30–45 мин) и в период наиболее сильных вариаций – в диапазоне 5000–12000 В/м (преимущественная частота ~6–7 Гц).

Сейсмический фон. Приближение события ураганного типа сопровождается повышением амплитуды микросейсмических колебаний до ~3–4 мкм/с примерно за 2–3 часа до прихода урагана в точку регистрации (рис. 7). Более от-

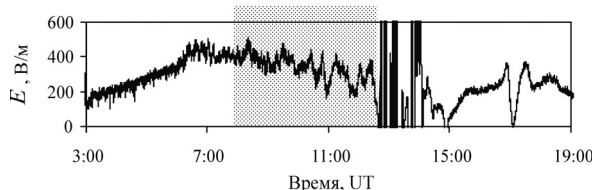


Рис. 5. Вариации вертикальной компоненты электрического поля в период, предшествующий урагану 29.05.2017 г. (8:15–12:20 UT); фоном выделена область повышенных вариаций E перед ураганом

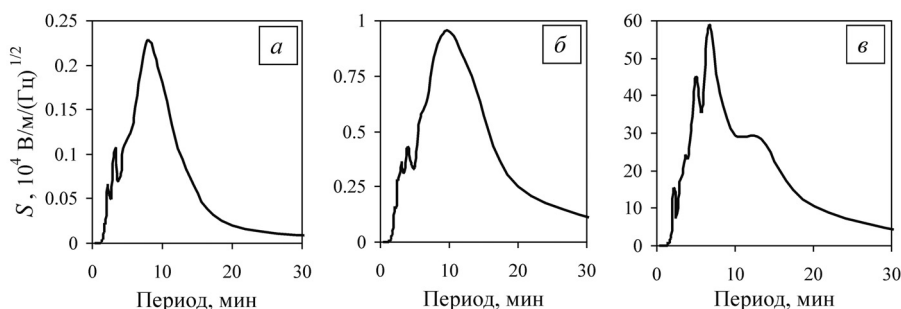


Рис. 6. Спектры вариаций электрического поля при спокойном состоянии атмосферы (а), в период, предшествующий урагану (б) и в период урагана (в)

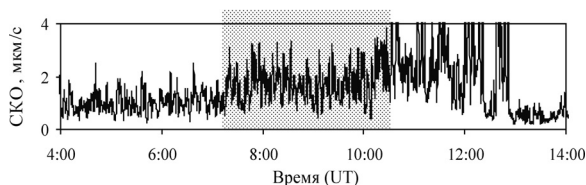


Рис. 7. Среднеквадратичное отклонение амплитуды сейсмического шума в период урагана 29.05.2017 г. (усреднение по 60 с интервалом); фоном выделена область повышенных значений СКО перед ураганом

четливо это видно из графика среднеквадратичного отклонения модуля вектора колебаний в горизонтальной плоскости, пример которого для рассматриваемого в качестве примера события представлен на рис. 7. При этом наибольшие вариации микросейсмического фона с амплитудой до 20 мкм/с наблюдаются в период наиболее интенсивных атмосферных проявлений.

Заключение

Обобщая результаты наблюдений можно констатировать следующее:

1. Сильные возмущения атмосферы в виде ураганов и шквалов вызывают значительные вариации электрического и акустического полей в приземном слое атмосферы, а также существенное повышение амплитуды микросейсмических колебаний.

2. Интенсивным вариациям электрического, акустического полей и микросейсмического фона в период ураганов и шквалов за 1–4 часа предшествует период повышенных вариаций указанных геофизических полей. При этом наблюдаются существенные изменения в их спектральных характеристиках.

3. При накоплении статистики отмеченный эффект может рассматриваться в качестве прогностического критерия сильных возмущений атмосферы.

4. Направленность дальнейших исследований должны быть нацелена на изучение конкретных зависимостей между амплитудами и характерными особенностями спектров рассматриваемых геофизических полей и мощностью (интенсивностью) возмущений ураганного и шквального типа.

С целью повышения оперативности и достоверности прогнозирования приближающегося сильного возмущения атмосферы ураганного типа следует рассмотреть возможность развертывания и использования нескольких (не менее шести) стационарных пунктов комплексной регистрации аналогичных ЦГМ, расположенных по периметру вокруг г. Москвы.

Авторы выражают благодарность Д.Н. Локтеву и С.П. Соловьеву за активное участие в подготовке исходных данных.

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием (проект 0146-2014-0015) при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8 (проект 0146-2015-0011) в части обработки геофизических данных.

Литература

Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Геоэкология. 2001. № 4. С. 293–309.

Спивак 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.

Спивак 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.