Keay C.S.I. Electrophonic sounds from large meteor fireballs // Meteoritics. (1992). Vol. 27. P. 144–148.

Popova O.P. and 59 co-authors. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery and characterization // Science. 2013. Vol. 342. Issue 6162. P. 1069–1073.

Price C, Blum M. ELF/VLF radiation produced by the 1999 Leonid meteors // Earth, Moon, Planets. 2000. Vol. 82/83. P. 545–554.

Tietjen G.L., Moore R.H. Some Grubbs-type statistics for the detection of several outliers // Technometrics. 1972. Vol. 14. P. 583–597.

УДК 550.3+ 550.4+551.558; 614.2; 614.7

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УРАГАНА В МОСКВЕ 21 АПРЕЛЯ 2018 г.

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

ИДГ РАН

Приведены результаты инструментальных наблюдений за микробарическими пульсациями атмосферного давления, вариациями электрического поля и микросейсмического фона в условиях г. Москвы в период урагана 21.04.2018 г. Установлено, что сильные возмущения атмосферы в виде холодного атмосферного фронта, сопровождающегося увеличением скорости ветра до штормовых значений, вызвали значительные амплитудные вариации напряженности электрического поля и акустических колебаний. При этом примерно за 6 часов до наступления урагана обнаружены повышенные вариации указанных геофизических полей с характерными изменениями спектральных характеристик их вариаций, что при накоплении данных может рассматриваться как прогностический признак приближающегося урагана.

Введение

Исследование поведения геофизических полей в периоды сильных атмосферных возмущений представляет значительный интерес как с точки зрения получения информации о закономерностях развития процессов, протекающих в геосферах в условиях взаимодействия и преобразования физических полей, так и для разработки критериев, которые могут быть положены в основу разработки прогностических признаков катастрофических процессов и явлений в среде обитания человека. При этом отмечается явный недостаток данных инструментальных наблюдений, что является существенным препятствием на пути построения теоретических моделей сильных атмосферных явлений [Голицын, 2013; Спивак и др., 2018].

Настоящая работа является продолжением ранее выполненной работы [Спивак и др., 2018] и посвящена изучению вариаций электрического и акустического полей, вызванных сильным возмущением атмосферы ураганом в г. Москве 21.04.2018 г.

Используемые данные

Исходными данными для настоящих исследований послужили результаты инструментальных наблюдений, выполненных в Центре геофизического мониторинга Москвы ИДГ РАН (ЦГМ) [Адушкин и др., 2014; Спивак и др., 2016]. Вертикальная компонента напряженности электрического поля *E* регистрировалась с помощью электростатического флюксметра ИНЭП, обеспечивающего измерения *E* в интервале от 1 В/м до 6–10 кВ/м в зависимости от конкретного экземпляра регистратора в частотном диапазоне 0–20 Гц. Измерение акустических колебаний выполнялось 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. Метеорологические параметры атмосферы (температура и влажность воздуха соответственно *T* и *W,* атмосферное давление *P*, скорость ветра *V*) регистрировались с помощью цифровой автоматической метеостанции Davis Vantage Pro2.

Полученные цифровые ряды данных представлены на сайте ИДГ РАН в графическом и цифровом видах (см. http://idg-comp.chph.ras.ru/~idg/Data_public/).

Для анализа использовались данные, полученные 21 апреля 2018 г., когда наблюдалось возмущение атмосферы ураганного типа с сильными негативными последствиями для Москвы (см. http://www.tass.ru). Оценка спектральных характеристик вариаций *E* и микропульсаций атмосферного давления выполнялась с использованием авторегрессионных моделей цифровых рядов. Вариации геофизических полей в период урагана 21.04.2018 г.

Особенностью рассматриваемого события, максимальная интенсивность которого наблюдалась в период 14:00–14:30 UT, является отсутствие грозовой активности при сильно возмущенном состоянии атмосферы [Адушкин и др., 2016].

Анализ данных, полученных в результате инструментальных наблюдений, показал, что наряду с сильными возмущения атмосферы, проявляющимися в виде резких изменений метеорологических характеристик: температуры *T*, атмосферного давления P_0, скорости ветра *V*, влажности *W* и т.д. (рис. 1), отмечаются также значимые вариации геофизических полей: электрического поля (ЭП) и акустических колебаний (АК) у земной поверхности [Спивак и др., 2017].

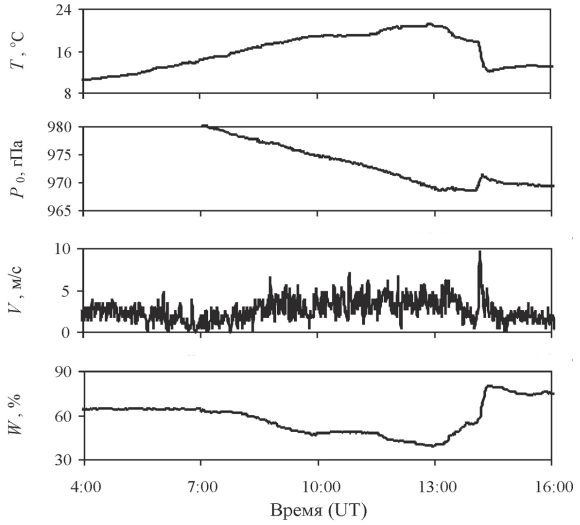

Рис. 1. Изменение метеопараметров в период урагана в г. Москве 29.05.2017 г

Акустические колебания. На рис. 2 приведены вариации амплитуды акустических колебаний *P* во время урагана и в период, предшествующий ему. Из рис. 2 следует, что наибольшая амплитуда акустических колебаний наблюдается в период 14:00–14:17 UT, что совпадает по времени с периодом наиболее сильных проявлений урагана. Одновременно с этим регистрируется повышение амплитуды АК, начиная примерно с 8:00 UT, то есть за 6 часов до наступления наиболее разрушительной стадии рассматриваемого атмосферного явления. Характерно, что в это время наблюдается изменение спектральных характеристик АК по сравнению с фоновыми (рис. 3).

Следует отметить, что, если общий ход зависимости спектральной плотности от частоты для фоновых АК и для стадии, предшествующей урагану, примерно одинаков, то в период собственно урагана максимум спектра смещается в сторону существенно более низких частот (период АК свыше ~ 5 мин).

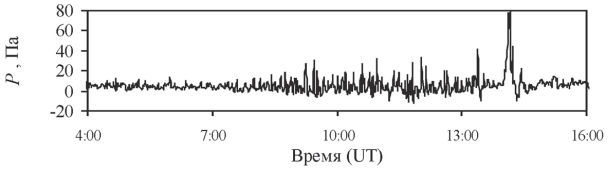

Рис. 2. Амплитуда акустических колебаний в период урагана в г. Москве 29.05.2017 г.

Электрическое поле. Интенсивные атмосферные возмущения и, в частности, повышение скорости ветра в период урагана, что приводит к изменению степени турбулентности приземного слоя воздуха и формированию аэроэлектрических структур [Анисимов и др., 2000]. Это вызывает значительные вариации напряженности электрического поля, амплитуда которых достигает ~ 4000 В/м (рис. 4).

Следует отметить, что, начиная примерно с 7:30 UT в период, непосредственно предваряющий основное событие (практически за ~ 6 часов до урагана), регистрируется изменение амплитудных (рис. 4) и спектральных (рис. 5) характеристик вариаций электрического поля.

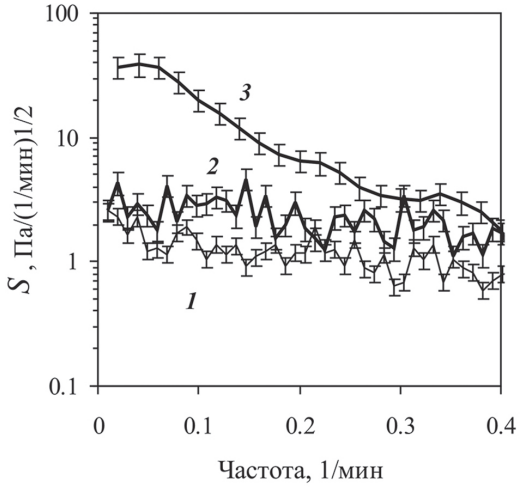

Рис. 3. Спектр акустических колебаний при невозмущенном состоянии атмосферы (1), в период, предшествующий урагану (2), и в период наиболее сильных проявлений урагана (3). Вертикальными черточками обозначен интервал неопределенности оценки спектра с использованием авторегрессионных моделей цифровых рядов данных

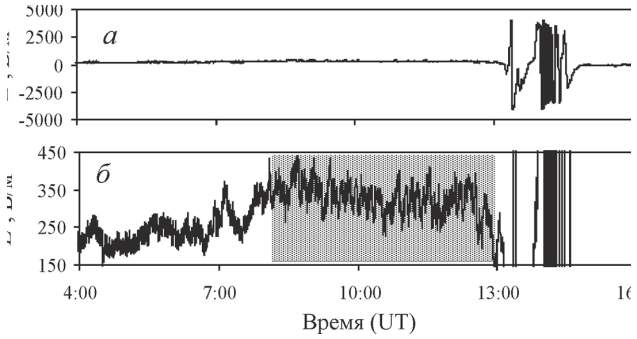

Рис. 4. Вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля у земной поверхности в период урагана 21.04.2018 г. (а); график, демонстрирующий изменение вариаций E перед приходом холодного атмосферного фронта (б)

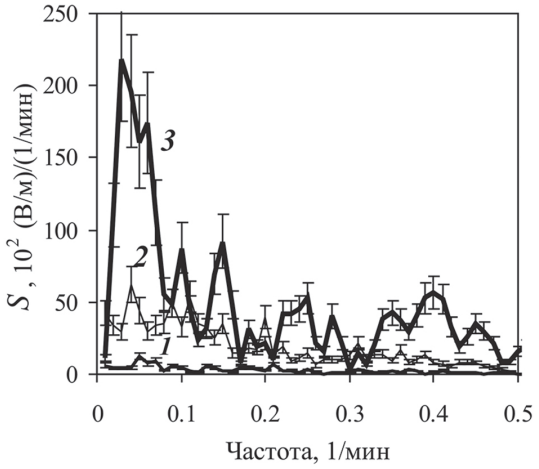

Рис. 5. Спектр вариаций электрического поля при невозмущенном состоянии атмосферы (1), в период, предшествующий урагану (2), и в период наиболее сильных проявлений урагана (3). Вертикальными черточками обозначен интервал неопределенности оценки спектра с использованием авторегрессионных моделей цифровых рядов данных

Заключение

Результаты инструментальных наблюдений позволяют констатировать, что сильные возмущения атмосферы в виде урагана 21.04.2018 г. в г. Москве вызвали значительные вариации электрического и акустического полей в приземном слое атмосферы.

Наиболее интенсивным вариациям электрического и акустического полей, отмечавшихся непосредственно в период урагана, наблюдаются повышенные вариации указанных геофизических полей, которые ему предшествуют примерно за 6 часов до основного события. При этом спектральные характеристики вариаций акустических колебаний и напряженности электрического поля существенно отличаются для фонового периода, периода, предшествующего сильным вариациям, и для периода максимальных амплитудных вариаций.

Наличие предшественника сильным возмущениям можно рассматривать как потенциальную возможность прогнозирования и, следовательно, предупреждения явлений ураганного типа.

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием ИДГ РАН (рег. № АААА-А17-177112350013-1).

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А., Волосов С.Г. и др. Организация и первые результаты наблюдений за физическими полями г. Москвы // Динамические процессы в геосферах. Вып. 6: сб. научн.тр. ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2014. С. 106–115.

Адушкин В.В., Спивак А.А., Рыбнов Ю.С. и др. Акустические и электрические эффекты грозового явления в Москве // Динамические процессы в геосферах. Вып. 8: сб. научн.тр. ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2016. С. 109–114.

Анисимов С.В., Мареев Е.А. Аэроэлектрические структуры в атмосфере// Доклады академии наук. 2000. Т. 371. № 1. С. 101–104.

Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений: Методы, инструментальные результаты. М. : КРАСАНД, 2013. – 400 с.

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. 2016. Т. 52. № 2. С. 65–78.

Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. Вариации геофизических полей в период ураганов и шквалов в Москве // Динамические процессы в геосферах. Вып. 9: сб. научн.тр. ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2017. С. 88–93.

Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. Вариации геофизических полей при ураганах и шквалах // Доклады академии наук. 2018. Т. 480. № 5. С. 592–595.

УДК 550.3

ПЕРЕОЦЕНКА ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛА ЗЕМЛИ В ПЕРВЫЕ 500 МЛН ЛЕТ ЕЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ, ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗЕМНОГО ЯДРА

В.Н. Сергеев, Г.В. Печерникова

ИДГ РАН

На основе современных данных сделаны оценки количества тепла, выделившегося в земных недрах в первые 500 млн лет существования Земли при радиоактивном распаде короткоживущих ^{26}Al, ^{60}Fe и долгоживущих ^{23}8U, ^{23}5U, ^{232}Th, ^{40}K. Оценки проведены для двух наиболее правдоподобных групп моделей состава Земли: геохимической (за основу взят состав углистых хондритов) и космохимической (основа – состав энстатитовых хондритов). Рассмотрен вопрос о гравитационной энергии, выделившейся в процессе формирования земного ядра.