

# Об уровне флуктуаций атмосферного электрического поля в области периодов $T = 1 \div 100$ суток

КЛИМЕНКО В.В., МАРЕЕВ Е.А., ШАТАЛИНА М.В.

Институт прикладной физики РАН, Россия

klimenko@appl.sci-nnov.ru, mareev@appl.sci-nnov.ru, aries@appl.sci-nnov.ru

В идеальных условиях “хорошей погоды” значение атмосферного электрического поля у земной поверхности ( $\sim 100$  В/м) обусловлено разностью потенциалов между Землей и ионосферой и электрической проводимостью атмосферы. При этом, как известно, существует суточная вариация  $\sim 20\%$ , связанная с изменениями мощности токового генератора (планетарного числа гроз) в течении суток. Эта вариация имеет глобальный масштаб и происходит всюду одновременно, независимо от широты и долготы.

В отличие от идеальных, в реальных условиях электрическое поле у основания атмосферы всегда подвержено разного рода локальным возмущениям, характерные масштабы которых, и пространственные и временные, перекрывают очень широкий диапазон значений. В отличие от короткопериодных флуктуаций ( $t < 10^3$  с), исследованных в [1], исследования в области длинных периодов ( $t > 10^4 \div 10^5$  с) практически отсутствуют из-за трудностей, связанных со стабильностью датчиков на больших временных интервалах.

Одной из задач атмосферного электричества является поиск возможного прямого влияния солнечной активности на состояние глобальной электрической цепи (ГЭЦ). Свидетельством такого влияния должны быть корреляции характеристик ГЭЦ с квазипериодическими или спорадическими факторами солнечно-земной физики, такими как солнечные вспышки ( $\sim 1$  час), форбуш-понижения ГКЛ ( $\sim 1$  сут.), секторная структура межпланетного магнитного поля ( $\sim 27$  сут.) и т.д. Отсутствие на данный момент надежных свидетельств такого влияния говорит о том, что, если прямое воздействие активности Солнца на ГЭЦ и существует, то оно мало и маскируется флуктуациями измеряемых характеристик ГЭЦ земного происхождения.

В данной работе изучается уровень флуктуаций атмосферного электрического поля в области очень длинных периодов ( $t > 1$  сут.), на фоне которого, предположительно, и можно пытаться обнаружить циклические связи солнечной активности и ГЭЦ. Используются записи электростатических флюксометров типа “Voltek-EFM-100”, разнесенных на расстояние  $\sim 6$  км и установленных на зданиях Института прикладной физики и Института физики микроструктур в черте г. Нижнего Новгорода. Анализировались непрерывные ряды средних за сутки значений электрического поля, а также средней за сутки температуры воздуха у поверхности земли, с июля 2012 г. по март 2013 г.

На рис.1 показаны относительные вариации электрического поля и температуры  $\delta E = E/E_{\text{ср}}$  и  $\delta T = (T - T_{\text{ср}})/T_{\text{ср}}$ , где  $T$  определялась по абсолютной шкале в  $^{\circ}\text{K}$ , а  $E_{\text{ср}}$  и  $T_{\text{ср}}$  – средние значения за все время наблюдений. В целом датчики электрического поля в течении всего периода по отношению к изменениям температуры вели себя стабильно. В то же время на Рис.1 отчетливо видна положительная корреляция  $E$  и  $T$  в летние месяцы и отрицательная в зимние. Этому есть простое объяснение: высокие температуры летом и низкие зимой соответствуют ясной малооблачной погоде и в эти периоды электрическое поле имеет более высокие значения.

Чтобы получить общую картину поведения спектральной плотности флуктуаций  $\delta E$  и  $\delta T$  в области очень длинных периодов использована процедура прямого БПФ без каких-либо специальных окон [2,3], т.е. с прямоугольным временным окном длиной  $2t = 269$  суток (весь период наблюдения). Это приводит к сглаживанию и усреднению спектральной

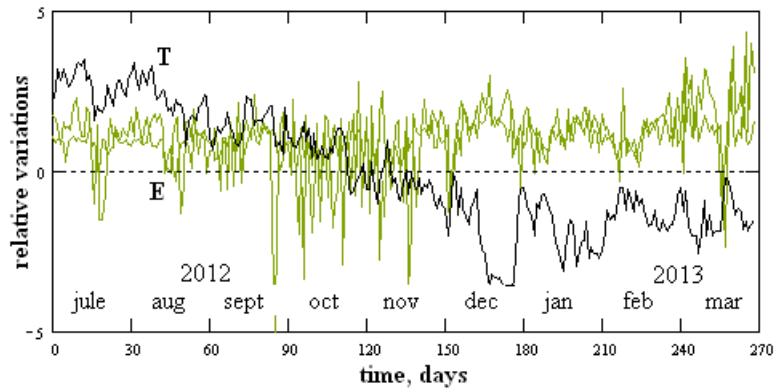


Рис. 1. Относительные вариации средних за сутки значений электрического поля (E) и температуры (T) в период с 1.07.2012 г. по 31.03.2013 г.

плотности функцией  $g(\omega) = \sin(\omega t) / \omega t$ . Спектры вычислены для двух датчиков поля и затем усреднены. Результат показан на рис.2, из которого видно, что в целом спектральные плотности могут быть описаны степенным законом  $\sim \omega^{-n}$ . Методом наименьших квадратов определено, что  $E_{\omega}^2 \sim \omega^{-0.511}$  и  $T_{\omega}^2 \sim \omega^{-1.427}$ .

В отличие от спектров короткопериодных флуктуаций E, где  $n \approx 2.7$  [1], для периодов  $t > 1$  сут. зависимость спектральной плотности от частоты существенно более слабая, что очевидно связано с изменением характера атмосферной турбулентности и законов перераспределения электрических зарядов в тропосфере в этой временной области. На Рис.2 показана также спектральная плотность, вычисленная аналогичным способом для среднечасовых значений E в феврале 2013 г. Из рисунка видно, что в области периодов  $\sim 24$  часов происходит изменение наклона спектра в сторону увеличения спектрального индекса.

Информативной характеристикой для описания атмосферной турбулентности является структурная функция (в данном случае временная) [4]:  $D_X(\tau) = \langle |X(t + \tau) - X(t)|^2 \rangle$ , где угловые скобки означают усреднение, X – исследуемый параметр. На Рис.3 приведены вычисленные структурные функции для E и T (перед вычислением E и T нормировались на средние квадратичные значения  $\sigma_E$  и  $\sigma_T$ ). Из рисунка видно, что средний квадрат разности значений температуры в разнесенные моменты времени растет вплоть до интервалов  $\sim 0.5$  года, что объяснимо сезонным ходом T. Для электрического поля структурная функция практически насыщается на интервалах  $< 1$  сут. Здесь для сравнения следует отметить известный факт [5] аналогичного насыщения структурной функции для электрической длины пути в атмосфере радиоволн см/дм – диапазона также на интервалах  $\sim 10^4 - 10^5$  с. По-видимому, это позволяет говорить о том, что статистические характеристики флуктуаций электрического поля отражают свойства атмосферной турбулентности не только в области коротких периодов (и локальных пространственных структур) [1], но в области периодов более суток (и пространственных масштабов более 100 км).

В спектрах на рис.2 можно заметить некоторые слабые коррелированные квазигармонические компоненты E и T, в частности около периода  $\sim 10$  сут. При попытках выявления с помощью спектрального анализа квазигармонических компонент, присутствующих в довольно сильном шуме, вместе с вероятностью “необнаружения” всегда есть опасность появления ложных фактов “присутствия”. Поэтому, для большей надежности здесь были использованы две независимых процедуры вычисления спектральной плотности: 1 – БПФ с временным окном Блэкмана-Хэрриса [3], которое несколько ухудшает частотное разрешение, но зато практически полностью убирает боковые лепестки, присущие прямоугольному окну (применялось выше); 2 – адаптивный спектральный анализ методом наименьших квадратов (МНК) [2,6], который очень чувствителен к квазигармоническим

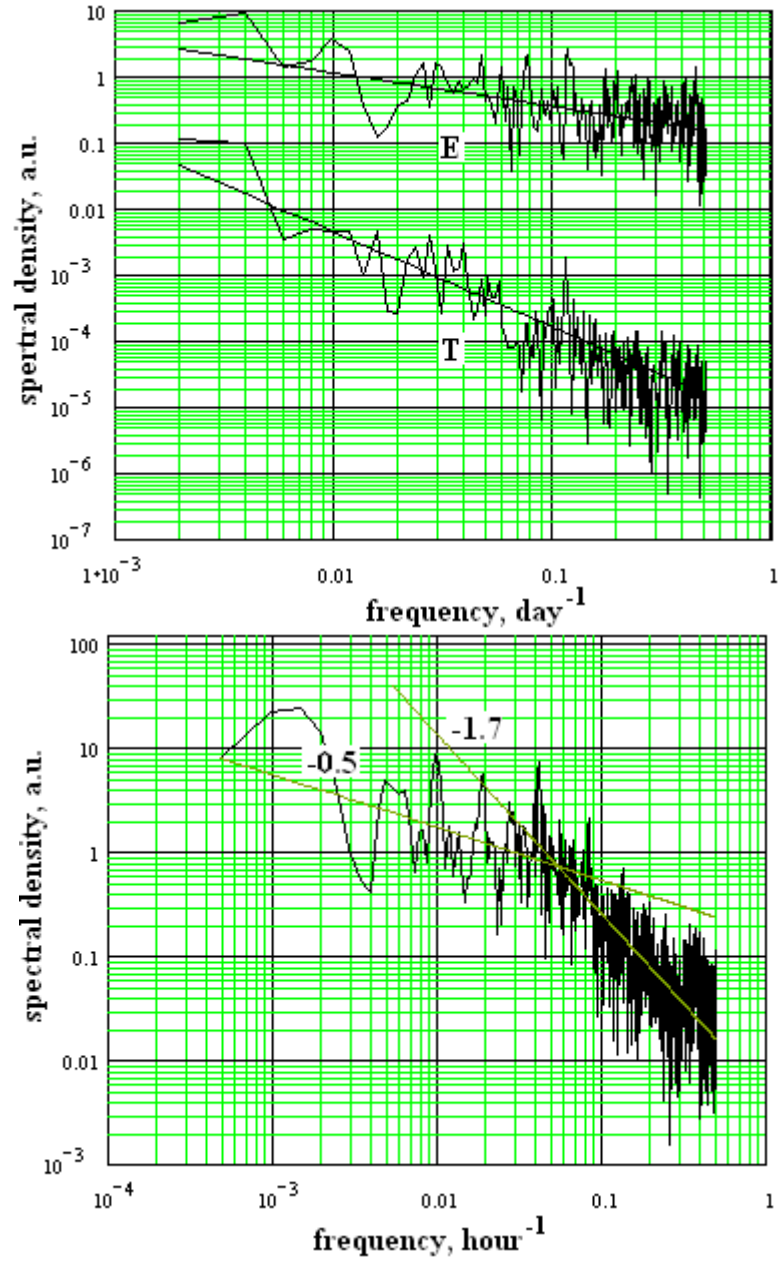


Рис. 2. Спектральные плотности флуктуаций средних за сутки значений электрического поля (E) и температуры (T) в интервале 1.07.2012 г. ÷ 31.03.2013 г. (слева) и средних часовых значений электрического поля в интервале 1.02.2013 г. ÷ 29.02.2013 г.

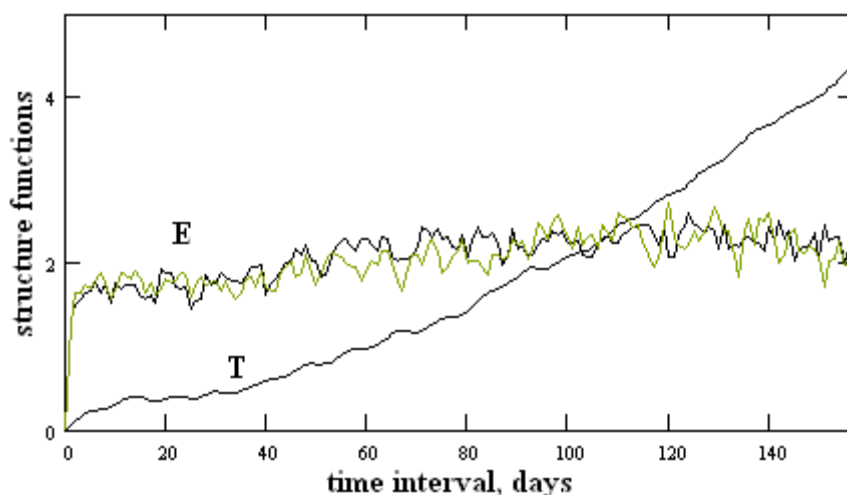


Рис. 3. Временные структурные функции  $D(\tau)$  нормированных значений электрического поля (E) и температуры (T) в период с 1.07.2012 г. по 31.03.2013 г.

составляющим в спектре.

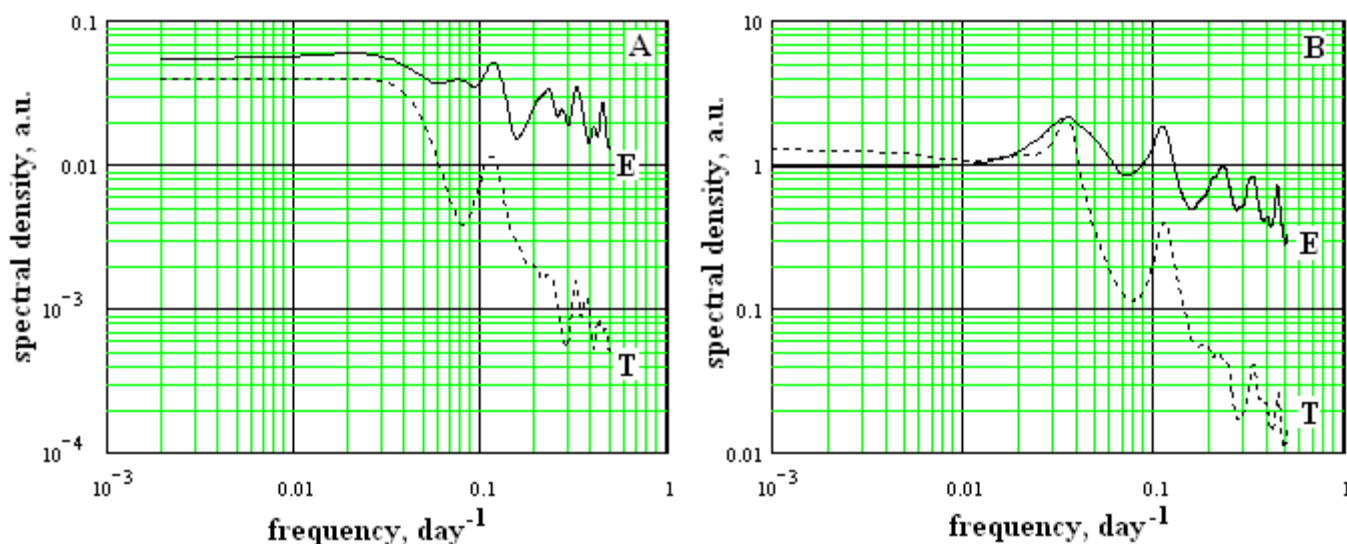


Рис. 4. Спектральные плотности флуктуаций электрического поля (E) и температуры (T) в период с 1.07.2012 г. по 31.03.2013 г., построенные с помощью дискретного БПФ с временным окном Блэкмана-Хэрииса (A) и с помощью процедуры адаптивного спектрального анализа методом наименьших квадратов (B).

Обоими методами были вычислены динамические спектры с применением скользящего временного окна длиной 48 сут. и шагом скольжения 1 сут. (из экономии места здесь не приводятся). Затем эти спектры были усреднены за весь интервал обработки. Вид усредненных таким образом спектров показан на Рис.4. Из рисунка видно, что оба метода дают практически одинаковую картину. Можно говорить об одновременном присутствии квазигармонических компонент в флуктуациях E и T в области периодов  $\sim 2-3$  сут.,  $\sim 10$  сут. и  $\sim 28$  сут., которые очевидно связаны с погодными и атмосферными условиями, равно влияющими и на E, и на T. Несмотря на близкие значения периода компоненты  $\sim 28$  сут. и периода оборота Солнца  $\sim 27$  сут., связывать их нет никаких оснований, и это следует рассматривать как случайное совпадение. Можно отметить присутствие в спектре электрического поля компоненты с периодом  $\sim 5$  сут., которая отсутствует (или слабо

выражена) в спектре температуры. Если считать, что температура отражает состояние атмосферы и характер погоды, то из этого следует, что происхождение этих флуктуаций электрического поля с местной погодой не связано.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Спектральная плотность флуктуаций электрического поля в области периодов 1 – 100 сут. может быть описана степенным законом с показателем  $-0.5$ ; средне квадратичное отклонение (в широкой полосе частот)  $\sim 40\%$  от среднего уровня поля. Слабая зависимость спектральной плотности флуктуаций поля от частоты аналогична частотной зависимости спектра атмосферной турбулентности, для которой структурная функция в этой области периодов испытывает насыщение.

2. Средний квадратичный уровень флуктуаций атмосферного электрического поля вблизи гармоники  $1/(27 \text{ сут.})$  в полосе  $\Delta f = (1/30 \text{ сут.}) \div (1/24 \text{ сут.})$  составляет  $\sim 12\%$  от спокойного поля или около  $14 \text{ В/м}$  при  $E_{\text{ср}}=120 \text{ В/м}$ .

3. Явной прямой корреляции показаний флюксометров с температурой нет, а спектральная плотность для температуры падает по степенному закону более быстро с показателем  $-1.427$ . В то же время, в отдельных полосах выявляются квазипериодические коррелированные возмущения  $E$  и  $T$ , которые очевидно связаны с характерными временами переноса воздушных масс независимо влияющих на оба анализируемых параметра.

## Литература

1. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Шихова Н.М., Дмитриев Э.М. Механизмы формирования спектра пульсаций электрического поля приземной атмосферы. // Изв.ВУЗов "Радиофизика".-2001.-Т.64.-№7.-С.562-575.
2. Кей С.М., Марпл С.Л. Современные методы спектрального анализа: Обзор.// ТИИЭР. – 1981.-Т.69.-№11.-С.5-51.
3. Хэррис Ф.Дж. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье.// ТИИЭР. – 1978. – Т.66. – № 1.-С.60-96.
4. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. М.: Наука. 1976. 495с.
5. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука. 1973. 416с.
6. Вайнштейн Л.А., Вакман Д.Е. Разделение частот в теории колебаний и волн. М.: Наука. 1983. 288с.

## On the level of atmospheric electric field fluctuations at the long periods: $T=1-100$ days

*Klimenko V.V., Mareev E.A., Shatalina M.V.*

*Institute of Applied Physics RAS, Russia*

One of many goals of atmospheric electricity investigations is the search of possible direct influence of solar activity on the global electric circuit (GEC) state. The correlation of GEC characteristics and quasi-periodic or sporadic solar-terrestrial physics factors could be the evidence of that influence. The current absence of such evidences means, that if direct influence of

solar activity on GEC exists, it is very small and masked by self-fluctuations of GEC characteristics of troposphere origin. This paper investigates the background level of atmospheric electric field fluctuations at very large periods ( $T \gg 1$  day), above which one can try to detect the cycled relations of solar activity with GEC. The data of two electrostatic flux meters (field-mill type) Boltek-EFM-100, separated by distance of 6 km and placed on the buildings of the Institute of applied physics and the Institute of microstructures physics at Nizhniy Novgorod, were used for the analysis. Continuous rows of electric field values and day average temperatures at the ground surface from June 2012 to March 2013 were analyzed. Correlative and spectral analysis methods and also spectral adaptive analysis method were used for data processing. The basic results were: 1. Spectral density of electric field fluctuations at periods 1-100 days may be described by power law with index -0.5; root-mean-square deviation (in the large frequency band) is 40% from average E-field value. Smooth frequency dependence of field fluctuations spectral density is analogical to frequency dependence of atmospheric turbulence spectral density, for which structure function reaches saturation at this time intervals. 2. In particular, around (1/27 days)-harmonic at the band (1/30 days)-(1/24 days) root-mean-square value of atmospheric electric field fluctuations is 123. There is no strong direct correlation between flux meters data and temperature. Spectral density of temperature fluctuations falls down by power law with index -1.7 (5/3), i.e. more quickly, then for electric field fluctuations. At the same time, in some narrow bands quasi-periodic correlated disturbances of E and T exist, which are evidently related to characteristic times of air mass transportation and which independently affect on the both parameters analyzed.