

# Частотный и временной анализ эффекта восхода Солнца в электрическом поле приземного слоя атмосферы

СМИРНОВ С. Э.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с Паратунка Камчатский край.

В условиях хорошей погоды наблюдается характерный суточный ход напряженности атмосферного электрического поля с максимумом в утреннее время. Получены статистические оценки параметров эффекта: времени начала, времени максимума и его интенсивности и длительности. Экспериментально показано, что максимум суточного хода напряженности атмосферного электрического поля связан с высотным распределением температуры воздуха. На восходе Солнца в спектрах мощности напряженности электрического поля усиливаются колебания в полосе периодов  $T < 1$  ч. Колебания в полосе периодов 2,0-2,5 ч вызваны удаленными источниками выше динамо-области ионосферы, а колебания в полосе периодов 0,5-1 ч – источниками в нижней атмосфере. Предложен возможный механизм генерации этих колебаний, связанный с вихревым движением конвективных ячеек, зарождающихся на восходе Солнца в обменном слое атмосферы.

## 1. Введение

Над океанами и на открытых пространствах в полярных областях в условиях хорошей погоды одновременно наблюдаются подобные суточные вариации напряженности электрического поля (НЭП) в приземной атмосфере в зависимости от мирового времени. Это так называемая “унитарная вариация” (УТ- вариация) с максимумами в 18-19 UT (зимой) и 20-21 UT (летом), обусловленная суточными вариациями глобальной грозовой активности. Однако в измерениях электрических полей в приземной атмосфере на материковых станциях существенное влияние на суточные вариации оказывают местные метеорологические процессы, которые подавляют “унитарную вариацию”. Для выделения различных эффектов в суточных вариациях элементов атмосферного электричества, наблюдения, как правило, проводят в условиях так называемой “хорошей погоды”. Но даже в таких условиях наиболее ярким локальным эффектом в суточных вариациях НЭП имеет место так называемый “эффект восхода” Солнца, который проявляется в усилении напряженности поля, увеличении токов проводимости и величины пространственного заряда.

Известно, что солнечный терминатор (СТ) является эффективным источником волн в атмосфере Земли (см., например, обзор [1]). По определению, СТ – это переходная область, разделяющая атмосферу от полной тени до области, освещенной полным диском Солнца. В этой области в результате изменения солнечной радиации возникает горизонтальный градиент температуры и соответственно изменяются другие геофизические параметры (давление, плотность среды). Эта область имеет конечную ширину в пространстве в зависимости от широты, высоты и геофизических условий, а по времени совпадает с периодами восхода и захода Солнца. В результате движения СТ со скоростью вращения Земли происходит генерация атмосферных волн на различных высотах в широком диапазоне периодов. Первоначально они были обнаружены различными радиофизическими методами преимущественно на ионосферных высотах в полосе периодов от нескольких минут до нескольких часов, которые относятся к диапазону акустико-гравитационных волн (АГВ) [1].

В данной работе обобщаются результаты исследований эффекта восхода Солнца в частотной и временной области по наблюдениям геофизических и метеорологических параметров на obs. “Паратунка” [2-4].

## 2. Методы измерений

Наблюдения проводились на Камчатке в obs. “Паратунка” ИКИР ДВО РАН ( $(\lambda = 158^{\circ} 55' \text{ E}; \varphi = 59^{\circ} 9' \text{ N})$ ). Измерения напряженности электрического поля проводилось датчиком “Поле-2”, разработанным в филиале Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейково – научно-исследовательским центром дистанционного зондирования атмосферы. “Поле-2” установлен на полигоне в 200 м от административного здания на высоте 3 м, площадка вокруг него расчищена от деревьев в радиусе 12 м. Регистрация проводится 14-битным АЦП с частотой дискретизации 1 с.

Контроль за метеорологическими параметрами проводится цифровыми метеостанциями WS-2000 и WS-2300. Данные поступают на станцию по радиоканалу на частоте 433 МГц. Один датчик температуры воздуха установлен на высоте 3 м на теневой стороне административного здания. Другой температурный датчик установлен на вышке на высоте 25 м. Частота опроса метеоданных составляет 10 мин.

Электропроводность воздуха измерялось прибором “Электропроводность-2”, разработанным также в филиале Главной геофизической обсерватории.

Для комплексной обработки экспериментальных данных, кроме записей НЭП, были использованы также записи горизонтальной компоненты геомагнитного поля в обсерватории “Паратунка” (НР).

### 3. Основные результаты и обсуждение

В условиях хорошей погоды на obs. “Паратунка” наблюдался типичный суточный ход НЭП, изображенный на рис. 1. Локальное время обсерватории отличается от мирового на 12 часов. Максимум суточного хода наблюдается в утренние часы местного времени. Иногда появляется вечерний локальный максимум, который по амплитуде гораздо меньше утреннего. Для выявления природы утреннего максимума были исследованы суточные хода НЭП и вертикального градиента температуры в условиях хорошей погоды за 2005 — 2009 гг. Для оценки действия конвективного генератора, наиболее ярко проявляющегося на восходе Солнца, в качестве меры интенсивности конвективного потока воздуха была выбрана разность температур на фиксированных высотах 3 и 25 м. Пример сопоставления суточных кривых НЭП с разностью температур показан на рис. 1. Наиболее близко связь вариаций НЭП с разностью температур проявляется на восходе Солнца с коэффициентом корреляции  $\sim 0,6 \pm 0,1$ .

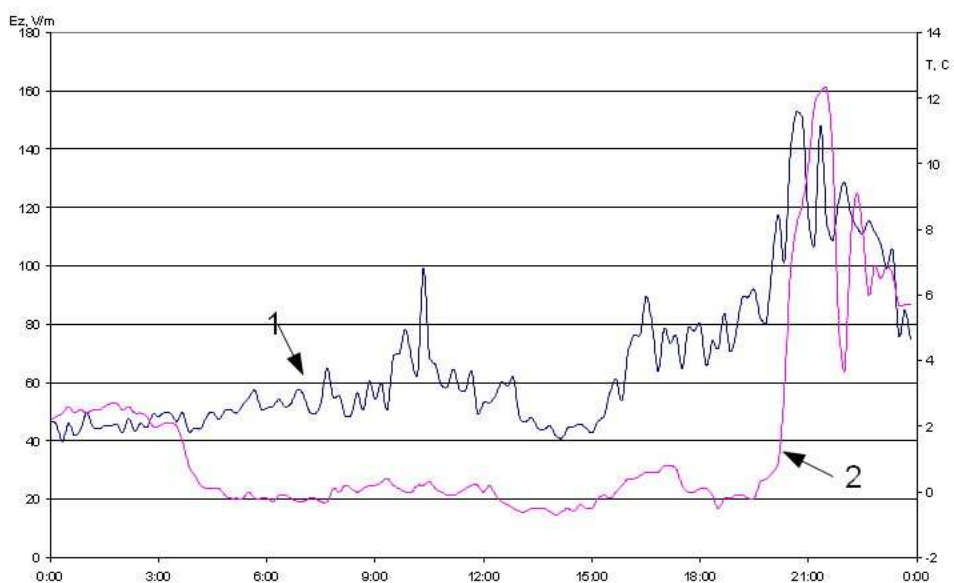


Рис. 1. Суточный ход напряженности электрического поля, левая шкала (1) и разность температур воздуха на высоте 25 м и 3 м, правая шкала (2), за 6 ноября 2007 г.

Для статистического исследования эффектов восхода выборочно были использованы суточные кривых НЭП в сентябре 1999 г. (13 дней), в октябре 2002 г. (5 дней), августе 2004 г. (6 дней), октябре 2005 г. (2 дня) и ноябре 2007 г. (3 дня). Начало эффекта в большинстве случаев совпадает по времени с моментом восхода, за исключением нескольких случаев, когда эффект наступал до восхода. Величина НЭП в максимуме эффекта превышает уровень до восхода в 2 - 4 раза; сдвиг максимума эффекта относительно момента восхода составляет величину от 0 до 4.5 ч, а длительность эффекта – от 2 до 7 ч. Практически во всех случаях эффект исчезает в местный полдень. Эффект усиления НЭП при заходе Солнца выделен существенно слабее по сравнению с эффектом восхода.

Исходный сигнал НЭП и НР использовался далее для спектральной обработки, а именно, для оценки авто- и взаимной спектральной плотности мощности (для краткости, спектров мощности) в полосе периодов внутренних гравитационных волн (ВГВ) 0,5-3 ч с помощью метода модифицированных периодограмм (ММП) [5]. Модуль взаимного спектра характеризует вклад отдельных источников во взаимный процесс, а его аргумент позволяет определить запаздывание или опережение одного волнового процесса относительно другого. В относительных единицах связь двух волновых процессов характеризуется величиной квадрата функции когерентности  $\gamma^2$ . Пример предложенного метода обработки исходных записей НЭП и НР - компоненты для периода 12-24 UT, включающего момент восхода Солнца, показан на рис.2.

Мощность ВГВ в авто-  $\{S(E), S(HP)\}$  и взаимных  $\{S(E,HP)\}$  спектрах сосредоточена преимущественно в полосе периодов 1,5-3 ч с выраженным максимумом на  $T \sim 2-2,5$  ч. Наличие этой полосы колебаний во взаимных спектрах  $S(E,HP)$  с коэффициентами когерентности, изменяющимися от 0,3 до 0,9, указывает на взаимосвязь процессов в нижней атмосфере и на высотах динамо-области, но источник этих волновых процессов, как следует из анализа кривых аргумента взаимных спектров, расположен выше динамо-области. Исключение составляют спектры мощности НЭП (нижняя кривая на рис.2). Здесь, кроме полосы колебаний вблизи 1,5-2 ч, выделены более слабо выраженные колебания с максимумами на периодах  $T \sim 0,8$  и 0,6 ч, которые практически отсутствуют на взаимных спектрах  $S(E,HP)$ . Это указывает на то, что источник этих колебаний сосредоточен в приземной атмосфере, но энергии этих колебаний недостаточно для прохождения на высоты динамо-области ионосферы.

### 3. Заключение

Анализ эффекта восхода Солнца в суточных вариациях напряженности электрического поля в приземной атмосфере в условиях “хорошей погоды” в обл. “Паратунка” в 2005 — 2009 гг. показал следующее:

1) Оцененные параметры эффекта: времена его начала и достижения максимума величины напряженности относительно времени восхода, а также отношение максимума к величине до восхода и длительность эффекта, согласуются с ранее опубликованными в литературе данными.

2) Полученные результаты подтверждают физический механизм развития эффекта восхода Солнца, согласно которому аномальные вариации напряженности электрического поля вблизи восхода Солнца обусловлены процессами турбулентности и конвекции в приземной атмосфере при изменении температуры атмосферы.

3) Интенсивность утреннего максимума суточного хода электрического поля в условиях “хорошей погоды” связана разностью температур на высотах 3 и 25 м. с коэффициентом корреляции порядка  $\sim 0.6 \pm 0.1$ .

4) Вечерний максимум суточного хода электрического поля оказался слабо или совсем не связанным с разностью температур, что позволило предположить влияние тумана у поверхности земли на электропроводность и соответственно напряженность электрического поля.

На восходе Солнца в спектрах мощности напряженности квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке обнаружено следующее:

- 1) Усиление интенсивности колебаний в полосе периодов 2-2,5 ч.
- 2) Усиление колебаний в полосе периодов  $T < 1$  ч, интенсивность которых соизмерима с интенсивностью ВГВ накануне слабых землетрясений с магнитудой  $M < 6$ , недостаточна для прохождения на высоты динамо-области ионосферы.
- 3) Вариации аргумента взаимных спектров напряженности электрического поля и вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля позволили установить местоположение источников этих колебаний, а именно, в нижней атмосфере.
- 4) Одним из возможных источников этих колебаний могут быть вихревые движения зарождающихся конвективных ячеек в пограничном слое атмосферы, переносящие объемные заряды вверх при увеличении температуры воздуха на восходе Солнца. Но возможны и другие источники этих колебаний.

Рис.2 Пример спектральной обработки напряженности электрического поля ( $E$ ) и горизонтальной компоненты геомагнитного поля ( $HP$ ),  $S(E)$  и  $S(HP)$  - автоспектры,  $|S(E,HP)|$  - модуль взаимного спектра,  $\gamma^2$  - функция когерентности,  $\arg S(E,HP)$  - аргумент взаимного спектра.

#### Литература

1. Сомсиков В.М. Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором (обзор). // Геомагнетизм и аэрономия. - 1991. - Т.31. №1. - С.1-12.
2. Смирнов С.Э. Реакция электрического состояния приземной атмосферы на геомагнитную бурю 5 апреля 2010 г. // Докл. РАН. - 2014. - Т.456. № 3. - С. 342-346.
3. Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариациях электрического поля атмосферы на Камчатке: I. Временные вариации электрического поля // Геомагнетизм и аэрономия. - 2012. - Т.52. № 4. - С. 535—540.
4. Михайлова Г.А., Капустина О.В., Смирнов С.Э. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариациях электрического поля атмосферы на Камчатке. II. Частотные вариации электрического поля // Геомагнетизм и аэрономия. - 2013. - Т.53. № 2. - С. 247—255
5. Welch P.D. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms // IEEE Trans. Audio and Electroacoustics. - 1967. - V.AU15. - N 2. - P.70—75.