

УДК 551.594

ЧАСТОТНЫЙ И ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТА ВОСХОДА СОЛНЦА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

С. Э. Смирнов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, д. 7

E-mail: sergey@ikir.ru

Получены статистические оценки параметров эффекта восхода Солнца в электрическом поле приземного слоя атмосферы: 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. Предложен возможный механизм генерации этих колебаний, связанный с вихревым движением конвективных ячеек, зарождающихся на восходе Солнца в обменном слое атмосферы.

Ключевые слова: электрическое поле, солнечный терминатор, внутренние гравитационные волны

© Смирнов С. Э., 2016

MSC 83C50

ANOMALOUS CHANGES OF THE GEOMAGNETIC FIELD VERTICAL COMPONENT IN KAMCHATKA

S. E. Smirnov

Institute of Cosmophysics Research and Radiowave Prorogation, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, 684034 Kamchatka region, Paratunka, Mirnaya str., 7.

E-mail: sergey@ikir.ru

Statistical estimates of the effect in the electric field of the surface layer of the atmosphere parameters, such as time of the beginning, time of a maximum, its intensity and duration, were obtained. It was shown experimentally that the diurnal variation maximum of atmospheric electric field intensity is associated with air temperature height distribution. Power spectra of time variations of electric field intensity in the near ground atmosphere and of the horizontal component of geomagnetic field were under study. It was shown that there are oscillations with the periods of $T \sim 2, 0-2,5$ hours in the power spectra of these parameters during a day. A possible mechanism of generation of these oscillations was proposed. It is associated with vortex motion of convective cells arising during the sunrise in the atmosphere exchange layer.

Key words: electric field, solar terminator, atmospheric gravity waves

© Smirnov S. E., 2016

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, 3, 4].

Методы измерений

Наблюдения проводились на Камчатке в obs. «Паратунка» ИКИР ДВО РАН ($\varphi = 52^{\circ}58,3'N, \lambda = 158^{\circ}14,9'E$). 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

теневого стороне административного здания. Другой температурный датчик установлен на вышке на высоте 25 м. Частота опроса метеоданных составляет 10 мин.

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

Основные результаты и обсуждение

В условиях хорошей погоды на obs. «Паратунка» наблюдался типичный суточный ход НЭП, изображенный на рис. 1.

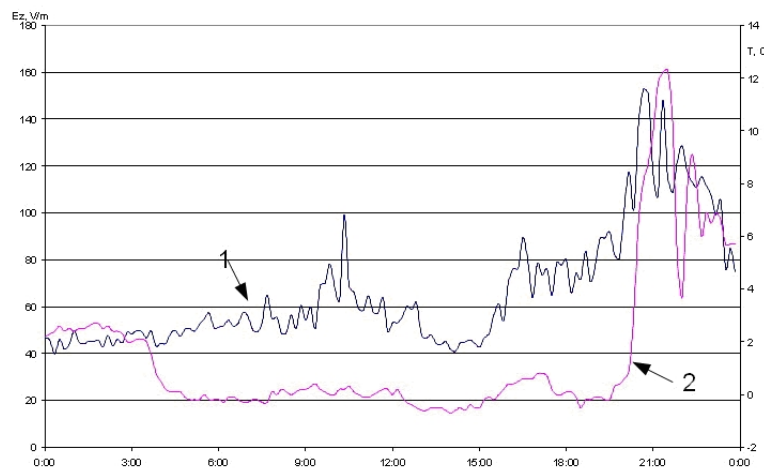


Рис. 1. Суточный ход напряженности электрического поля, левая шкала (1) и разность температур воздуха на высоте 25 м и 3 м, правая шкала (2), за 6 ноября 2007 г.

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 близкая связь вариаций НЭП с разностью температур проявляется на восходе Солнца с коэффициентом корреляции $\sim 0,6 \pm 0,1$.

Для статистического исследования эффектов восхода выборочно были использованы суточные кривые 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 [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 γ^2 . Пример предложенного метода обработки исходных записей НЭП и НР - компоненты для периода 12–24 UT, включающего момент восхода Солнца, показан на рис. 2.

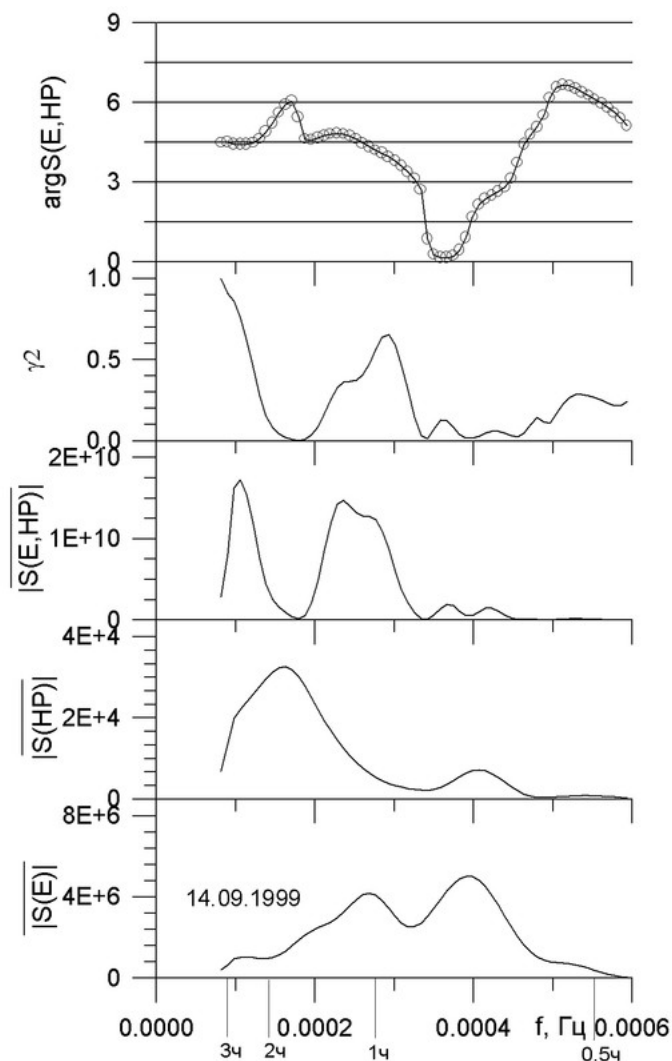


Рис. 2. Пример спектральной обработки напряженности электрического поля (E) и горизонтальной компоненты геомагнитного поля (HP), $S(E)$ и $S(HP)$ - авто-спектры, $|S(E,HP)|$ - модуль взаимного спектра, γ^2 - функция когерентности, $\arg S(E,HP)$ - аргумент взаимного спектра

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.

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.

Список литературы

- [1] Сомсиков В. М., “Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором (обзор)”, *Геомагнетизм и аэронаука*, **31**:1 (1991), 1–12, [Somsikov V. M. Volny v atmosfere, obuslovlennyye solnechnym terminatorom (obzor). *Geomagnetizm i aeronomiya*, 1991, 31:1, 1–12 (in Russian)].
- [2] Смирнов С. Э., “Реакция электрического состояния приземной атмосферы на геомагнитную бурю 5 апреля 2010 г.”, *Докл. РАН*, **456**:3 (2014), 342–346, [Smirnov S. E. Reaktsiya elektricheskogo sostoyaniya prizemnoy atmosfery na geomagnitnyuyu buryu 5 aprelya 2010 g., 2014, 456:3, 342–346, (in Russian)].
- [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 аэронаука*, **52**:4 (2012), 535–540; англ. перевод: Smirnov S. E., Mikhailova G. A., Kapustina O. V., “Problem of the nature of the sunrise effect in diurnal variations in the electric field in kamchatka: 1. Time variations in the electric field”, *Geomagnetism and aeronomy*, **52**:4 (2012), 507-512.
- [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 аэронаука*, **53**:2 (2013), 247–255; англ. перевод: Mikhailova G. A., Kapustina O. V., Smirnov S. E., “Nature of the sunrise effect in daily electric field variations at Kamchatka: 2. Electric field frequency variations”, *Geomagnetism and Aeronomy*, **53**:2 (2013), 234-242.
- [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*, **AU15**:2 (1967), 70–75.

Для цитирования: Смирнов С. Э. Частотный и временной анализ эффекта восхода Солнца в электрическом поле приземного слоя атмосферы // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2016. № 4(15). С. 86-91. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-86-91

For citation: Smirnov S. E. Frequency and timing analysis sunrise effect in the electric field of the surface layer of the atmosphere, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2016, **15**: 4, 86-91. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-86-91

Поступила в редакцию / Original article submitted: 01.07.2016