

## ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ КУЧЕВО-ДОЖДЕВОЙ ОБЛАЧНОСТИ

К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский

## VARIATIONS OF THE SURFACE ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD DURING THE PASSAGE OF CUMULONIMBUS

K.N. Pustovalov, P.M. Nagorsky

Исследованы вариации электрического поля приземной атмосферы, связанные с кучево-дождевой облачностью. Определены статистические характеристики вариаций напряжённости электрического поля при прохождении кучево-дождевых облаков, не связанных с грозовыми разрядами, и их параметров: общей длительности вариаций, амплитуды вариаций, числа, длительности и средних значений положительных и отрицательных возмущений. Выявлены особенности вариаций напряжённости электрического поля для случаев атмосферных фронтов и внутримассовой конвекции.

The variation of the surface atmospheric electric field, associated with cumulonimbus investigated. Statistical characteristics of the variations of electric field strength during the passage cumulonimbus, non-associated with lightning, and their parameters: the total duration of the variations, the amplitude of variations, the number, duration, and average values of positive and negative disturbances determined. The features of the variations of electric field strength during atmospheric fronts and convective regions identified.

Работа посвящена исследованию вариаций напряжённости электрического поля приземной атмосферы ( $E$ ), с временной дискретностью 1 мин, включающего как анализ общих особенностей изменения напряжённости поля, так временную структуру этих изменений во время прохождения над пунктом мониторинга кучево-дождевых облаков ( $Cb$ ) с сопутствующим выпадением ливневых осадков, но без учета влияния молниевых разрядов, а также особенностей структуры этих вариаций при кучево-дождевых облаках различного происхождения и конфигурации.

С прохождением облаков связано искажение нормального электрического поля у поверхности земли ( $E \approx 130$  В/м). При этом у поверхности земли в пункте наблюдения отмечаются вариации напряжённости электрического поля, обусловленные изменением значения и даже знака  $E$  в приземном слое под влиянием объемных зарядов в таких облаках [Bennett, Harrison, 2007, 2008; Нагорский и др., 2013]. В случае облаков, дающих осадки, на изменение  $E$  дополнительно накладывается влияние выпадающих осадков, отделить которое представляется весьма сложным. Наиболее интенсивные вариации напряжённости поля связаны с прохождением кучево-дождевых облаков ( $Cb$ ). При достижении  $Cb$  грозовой стадии, к относительно плавному изменению  $E$  под влиянием объемных зарядов в облаках и выпадающих осадков добавляются краткосрочные изменения напряжённости поля, связанные с молниевыми разрядами [Rakov, Uman, 2003; MacGorman, Rust, 2008].

В работе были использованы следующие данные:

1) Вертикальная компонента напряжённости электрического поля с временным разрешением 30 с, полученные в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН, г. Томск в течение 2006–2013 гг.;

2) балл общей и нижней облачности, форм облачности, погоды в срок и между сроками в стандартные метеорологические сроки (временное разрешение 3 ч) на ГМС Томск за период 2006–2013 гг. [<http://aisori.meteo.ru/ClimateR/>];

3) данные спектрометра MODIS и рассчитанные по ним оптические и микрофизические характеристики облаков [<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/>].

Для анализа отобраны метеорологические сроки (май–сентябрь), во время которых метеоусловия характеризовались следующими особенностями:

- а) наличие  $Cb$  облаков в срок;
- б) наличие ливневого дождя, града или грозы в срок и (или) между сроками;
- в) отсутствие  $Ns$ ,  $As$  и  $St$  облаков в текущий и соседние сроки;
- г) отсутствие обложных и морозящих осадков в срок и (или) между сроками;
- д) отсутствие тумана, дымки и дыма лесных пожаров. При этом допускалось наличие  $Cu$ ,  $Sc$ ,  $Ac$  и  $Cc$ , как сопутствующие кучево-дождевым облакам и являющиеся их предвестниками, а также  $Ci$  и  $Cs$ , формирующих «наковальню»  $Cb$ . Всего было отобрано более 450 случаев прохождения  $Cb$  в ливневой и грозовой стадиях.

Статистические характеристики вариаций  $E$  были определены для  $Cb$  в целом и для  $Cb$  в ливневой и грозовой стадиях. Рассчитаны статистические характеристики для параметров, описывающих временную структуру вариаций поля  $E$ , не связанных с грозовыми разрядами. В том числе: общая длительность вариаций ( $T_v$ ); средняя амплитуда  $E$  за период вариаций ( $A_v$ ); число появления положительных ( $Nd_+$ ) и отрицательных ( $Nd_-$ ) возмущений; длительность положительных ( $Dd_+$ ) и отрицательных ( $Dd_-$ ) возмущений; средние значения  $E$  для положительных ( $Vd_+$ ) и отрицательных ( $Vd_-$ ) возмущений.

Анализ результатов показал следующие особенности изменения напряжённости электрического поля во время прохождения кучево-дождевых облаков на территории юга Западной Сибири:

1. наблюдаются, как правило, знакопеременные вариации  $E$ , со средним значением  $-300$  В/м (рис. 1);
2. средняя длительность вариаций  $E$  ( $D_v$ ) составляет  $\sim 53$  мин (табл. 1);

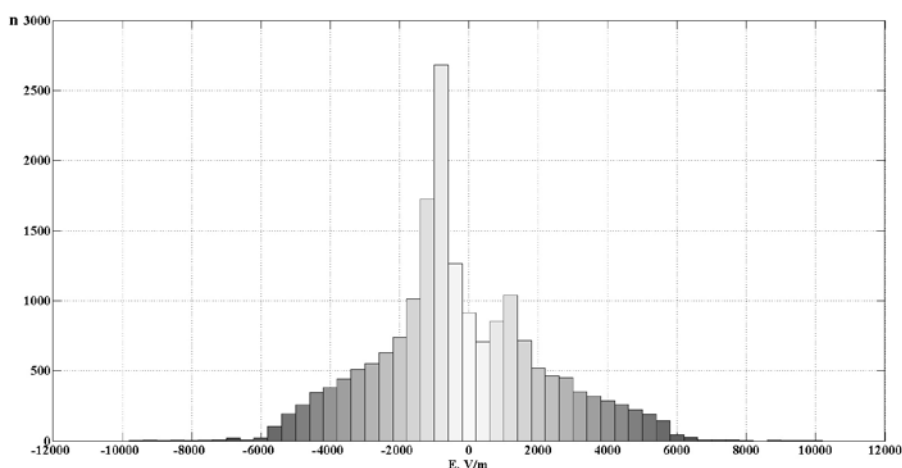


Рис. 1. Гистограмма распределения значений  $E$  во время прохождения кучево-дождевых облаков.

Таблица 1.

Статистические характеристики параметров вариаций при прохождении кучево-дождевых облаков

Исследуемые параметры	$D_v$ , мин	$A_v$ , В/м	$N_{d+}$	$D_{d+}$ , мин	$V_{d+}$ , В/м	$N_{d-}$	$D_{d-}$ , мин	$V_{d-}$ , В/м
Среднее	53.4	5770.3	1.7	8.9	2427.8	2.3	11.2	-1968.6
Медиана	38	4664	1	6	2232.6	2	8	-1705.8
Мода	3	1755.8	0	1	941	1	1	-632.3
СКО	53.9	4007.2	2.2	9.3	1109.7	2.1	10,5	1114.8
Максимальное	422	22352.5	17	80	7059	17	83	-613.6
Минимальное	1	765	0	1	912.8	0	1	-6593.9

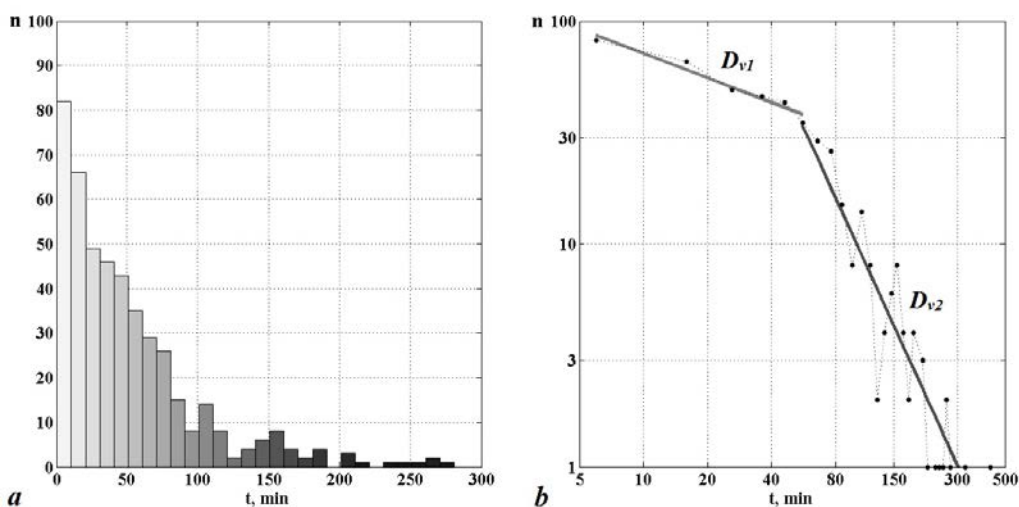


Рис. 2. Гистограммы распределения общей длительности вариаций ( $D_v$ ), обусловленных прохождением  $Cb$ , в линейной (а) и двойной логарифмической (б) системах координат. Линейные тренды ( $D_{v1}$ ,  $D_{v2}$ ) – аппроксимация составного распределения Леви-Парето

Таблица 2.

Параметры распределения Леви-Парето общей длительности вариаций  $E$

$f_{\xi}(t) = \frac{\alpha}{c_0} \left( \frac{c_0}{t} \right)^{\alpha+1}$	Параметры распределения		
	$c_0$ , мин	$t$ , мин	$\alpha$
1) $D_{v1}$	5	$5 \leq t \leq 56$	-0.37
2) $D_{v2}$	56	$t \geq 56$	-2.10

3. количество возмущений различной полярности составляет в среднем 3–4, а их длительность составляет ~10 мин (табл. 1).

4. распределение общей длительности вариаций ( $D_v$ ) близко к состоящему из двух частей распределению Леви-Парето, которое имеет перегиб

распределения на длительности ~60 мин (рис. 2, табл. 2). Аналогичный вид имеют распределения  $N_{d+}/N_{d-}$ ,  $D_{d+}/D_{d-}$  и  $V_{d+}/V_{d-}$ .

Два различных участка распределения общей длительности вариаций связаны с принципиально различными проявлениями кучево-дождевой облач-

ности: одиночные облака, формирующиеся под действием термической конвекции (внутриоблачные грозовые облака), мезомасштабные конвективные комплексы (МКК), атмосферные фронты.

Для проверки данного предположения из рассматриваемых случаев кучево-дождевой облачности были отобраны те, которые совпадали по времени с моментами дневного пролета над пунктом мониторинга космических аппаратов Terra и Aqua, с установленным на них спектрорадиометром MODIS. Количество отобранных случаев составило 85.

На основе космических снимков MODIS в видимом и инфракрасном диапазонах и рассчитанных по ним оптических и микрофизических характеристик облаков (оптическая толщина облаков, температура в вершине облака, термодинамическая фаза облаков и т. д.) установлены особенности развития кучево-дождевых облаков.

Совместный анализ данных напряженности электрического поля и данных MODIS выявил следующие особенности:

1) с одноячейковыми кучево-дождевыми облаками связано сравнительно плавное изменение величины  $E$  с 1–3 последовательными возмущениями поля  $E$ , общая длительность которых, как правило, не превышает 1 ч (рис. 3);

2) прохождение мезомасштабных конвективных комплексов, характеризуется длительным сохранением повышенных значений  $E$ , представленным, как правило, 1–2 возмущениями противоположной полярности, длительность каждого из которых может превышать 1 ч;

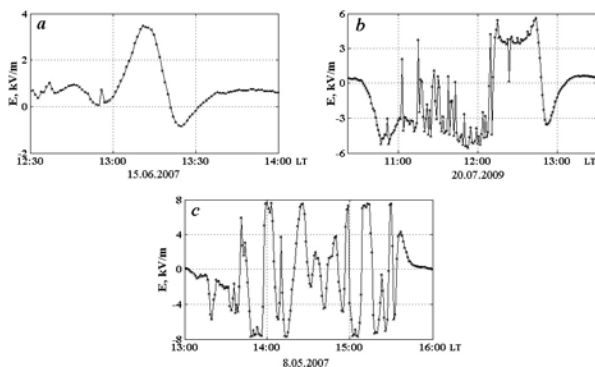


Рис. 3. Вариации напряженности электрического поля во время прохождения кучево-дождевых облаков: формирующихся под влиянием локальной внутримассовой конвекции (а), распространяющихся в системе мезомасштабного конвективного комплекса (b) и холодного фронта (c).

3) кучево-дождевые облака, распространяющиеся в системе атмосферного фронта и представляющие собой конгломераты мультячейковых облаков, характеризуются серией непродолжительных возмущений, общая длительность которых составляет несколько часов, и резким изменением величины  $E$ ;

4) во время прохождения через пункт мониторинга нескольких близкорасположенных одноячейковых кучево-дождевых облаков или нескольких конвективных ячеек одного мультячейкового облака наблюдаются сложные вариации  $E$ , обусловленные суперпозицией электрических полей, а, следовательно, и отдельных возмущений;

5) при последовательном прохождении нескольких облаков с небольшими временными интервалами  $\sim 1$  ч в следствие того, что электрическое поле не успевает восстановиться до нормальных значений, вариации  $E$ , обусловленные каждым последующим облаком, наблюдаются на фоне более высоких значений  $E$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Нагорский П.М., Морозов В.Н., Смирнов С.В., Пустовалов К.Н. Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, № 11. С. 853–863.
- Bennett A.J., Harrison R.G. Atmospheric electricity in different weather conditions. 2007. *Weather* 62: P. 277–283.
- Bennett A.J., Harrison R.G. Variability in surface atmospheric electric field measurements // *J. Phys. Conf. Ser.* 2008. V. 142. P. 012046.
- MacGorman D.R., Rust W.D. *The Electrical Nature of Storms*, Oxford University Press, New York, 1998.
- Rakov V.A., Uman M. A. *Lightning: Physics and effects*. Cambridge University Press, 2003.
- ВНИИГМИ-МЦД. Доступ к данным. Основные метеорологические параметры (сроки). Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации (АИСОРИ) [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 21.02.2015).
- LAADS Web. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. Data [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/> (дата обращения: 14.03.2015).

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия