
Физика

УДК 532.5.01, 532.5.013

Анализ характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности

И. А. Краснова*, Н. С. Ерохин[†], Л. А. Михайловская[†]

* Кафедра теоретической физики
Российский университет дружбы народов
ул. Миклуто-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

[†] Отдел космогеофизики
Институт космических исследований РАН
Профсоюзная 84/32, Москва, Россия, 117997

В работе проведён численный анализ структурных функций электрической турбулентности в грозовой облачности на основе опубликованных в литературе данных баллонных измерений вертикального профиля электрического поля $E_z(z)$. Используя аналитические аппроксимации E_z , численными расчётами получены профили структурных функций для высоты $z < 14$ км с разрешением 4 м. Выявлены два инерционных интервала соответственно на малых и средних масштабах высотного сдвига, получены скейлинговые экспоненты степенных зависимостей структурных функций в инерционных интервалах. Показано наличие в инерционных интервалах отклонений от чисто степенного скейлинга, что объясняется перемежаемостью электрической турбулентности. Это предположение подтверждается величинами параметров турбулентности, skewness (симметрия) и куртозис. Показано, что с приемлемой точностью в системе реализуется обобщённая масштабная инвариантность, ранее рассмотренная для турбулентности термоядерной плазмы и в магнитосфере Земли. Полученные результаты могут быть использованы для последующих оценок роли электрических подсистем в формировании самосогласованной, существенно неоднородной структуры движений газа в интенсивных спиральных атмосферных вихрях, а также для разработки современных схем параметризации при численном моделировании нелинейной динамики этих вихрей, включая тропические циклоны с учётом электрических полей заряженных подсистем. Это весьма важно и для разработки современных методов регионального прогнозирования генерации интенсивных вихревых структур, а также поиска возможностей воздействия на их развитие и пространственную динамику.

Ключевые слова: структурные функции, спиральность, электрическая турбулентность, скейлинговые экспоненты, куртозис, обобщённая масштабная инвариантность, инерционные интервалы, грозовая облачность, когерентные структуры, высотные распределения.

Введение

Как было показано ранее (см., например, [1–4]), наличие спиральности $H = v \operatorname{rot} v$ в интенсивных атмосферных вихрях и в плазме повышает устойчивость этих структур к возмущениям и увеличивает время их существования. Кроме того, было установлено, что спиральность H способствует возникновению нелинейного обратного каскада энергии от малых масштабов в крупные. В результате возможно, например, усиление слабых синоптических возмущений до уровня мощных циклонов (ТЦ).

Анализ возможных механизмов генерации спиральных движений в приложении к мощным атмосферным вихрям показывает, что для корректного описания этого процесса необходимо учитывать вклад заряженных подсистем грозовых облаков в формирование самосогласованной, существенно неоднородной структуры ветровых потоков в ТЦ, а также в их последующую нелинейную динамику (см., в частности, [5, 6]). Имеющиеся в литературе экспериментальные данные о вертикальных профилях электрического поля $E_z(z)$ в грозовой облачности (см.,

Статья поступила в редакцию 12 октября 2012 г.

Работа выполнена при поддержке программы ОФН-11 РАН.

например, [7–9]) указывают на присутствие достаточно сильных электрических флуктуаций с типичными размерами по высоте ($20 \div 500$) м и напряжённостями электрического поля порядка ($10 - 10^2$) кВ/м. Для корректных оценок вклада заряженных подсистем в генерацию спиральных движений атмосферы, развития схем параметризации гидродинамических уравнений с учётом заряженных подсистем необходимо изучать параметры электрических флуктуаций, в частности, исследовать свойства структурных функций $S_m(L)$, где $L = z_1 - z_2$ разность высот двух атмосферных слоев, наличие инерционных интервалов, в которых $S_m(L) \sim L^{g(m)}$, где $g(m)$ скейлинговая экспонента.

В данной работе, используя стандартные подходы в исследовании гидродинамической турбулентности [3, 4, 10–14], на основе анализа ряда экспериментальных графиков поля $E_z(z)$ для области высот $z < 14$ км рассмотрены характеристики структурных функций $S_m(L)$ для электрического поля в грозовой облачности, включая стандартное отклонение для вариаций $E_z(z)$, скейлинговые экспоненты $g(m)$, индекс Хёрста H , куртозис $K(L) = S_4(L)/[S_2(L)]^2$, асимметрию вариаций электрического поля (skewness). Здесь необходимо указать, что индекс Хёрста H характеризует трендоустойчивость высотного профиля поля $E_z(z)$, а куртозис определяет присутствие перемежаемости в электрической турбулентности. При наличии перемежаемости скейлинговая экспонента имеет нелинейную зависимость от порядка m . Ниже будет показано, что с приемлемой точностью для электрической турбулентности на малых и средних масштабах реализуется обобщённая масштабная инвариантность, когда $S_m(L) \sim [S_3(L)]^{\zeta(m)}$, где $\zeta(m)$ — обобщённая скейлинговая экспонента, а имеющиеся малые отклонения могут быть обусловлены перемежаемостью турбулентности и присутствием когерентных структур среднего масштаба. Для симметричных относительно среднего значения распределений турбулентности значение параметра skewness близко к нулю.

Следует отметить, что помимо указанной выше связи с метеорологическими процессами в атмосфере электрические подсистемы грозовой облачности могут обуславливать вариации потока вторичных космических лучей (мюонов, электронов и др.) в нижней мезосфере и, кроме того, корреляции поля $E_z(z)$ с геомагнитной активностью, в частности, солнечными протонными событиями (см., например, [15–17]). Поэтому особенности динамики атмосферы, обусловленные электрическими подсистемами облачности, могут быть выявлены путём исследования вариаций потока вторичных космических лучей во время гроз.

Исходные данные и анализ структурных функций для электрической турбулентности

Используя стандартные подходы в исследовании гидродинамической турбулентности [3, 4, 9–14], рассмотрим характеристики структурных функций $S_m(L)$ для электрического поля $E_z(z)$ в грозовой облачности. В расчётах используем аналитические аппроксимации экспериментальных графиков поля $E_z(z)$ в классе локализованных функций следующего вида $b_n(z) = a_n/[1 + k_n^2(z - z_n)^2]$ с параметрами a_n , k_n и z_n , где z_n — положение пика функции $b_n(z)$. Затем вычисляем структурные функции $S_m(L)$ порядка m , определяемые выражением: $S_m(L) = \langle |E_a(z_i + L) - E_a(z_i)|^m \rangle$, где $z_i = \ell i$, $\ell = 4$ метра для высот $z < h$, $1 \leq i \leq N$, $N = h/\ell$. Пространственное усреднение проводится в области $0 < z < h - L$ и полагается $\ell < L < h/2$. Зависимость $S_m(L)$ от масштаба L для различных значений порядка m представляется на графиках в $lg - lg$ координатах, из которых видно наличие в электрической турбулентности двух инерционных интервалов, если связь между $lg S_m(L)$ и $lg L$ линейна. Следовательно, в инерционных интервалах реализуются степенные скейлинги вида $S_m(L) \sim L^{g(m)}$. Для выборки, показанной на рис. 1а, исследуем область высот $0.194 < z/\text{км} < 13.136$ с шагом

по высоте 4 м. В данном случае максимальное и минимальное значения напряжённости поля равны $\max E_z \approx 71.47$ кВ/м при $z = 6.84$ км, $\min E_z \approx -93.48$ кВ/м при $z = 5.04$ км. График электрического потенциала $\delta U(z)$ для указанного диапазона высот приведён на рис. 1б, где при расчёте положено $\delta U(z) = 0$ при $z = 0.194$ км, величина потенциала дана в МэВ. Согласно рис. 1б максимальное и минимальное значения потенциала равны $\max \delta U \approx 107.87$ МэВ при $z = 6.65$ км, $\min \delta U \approx -19.49$ МэВ $z = 3.27$ км.

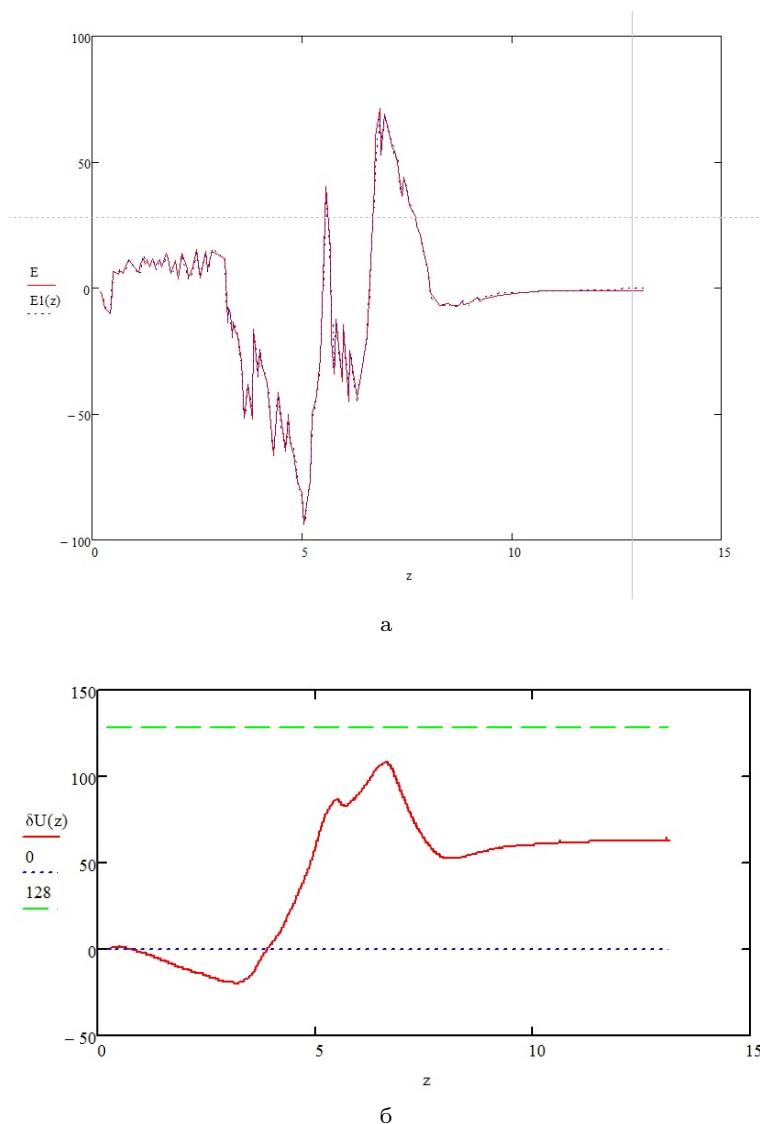


Рис. 1. Высотный профиль: а — электрического поля в грозовой облачности; б — электрического потенциала $\delta U(z)$. Величина поля E дана в кВ/м, величина $\delta U(z)$ дана в МэВ, высота z в км

По расчётам среднее значение электрического поля $\langle E(z) \rangle \equiv E_{av}$ и стандартное отклонение σ в рассматриваемом диапазоне высот равны соответственно $E_{av} \approx -4.86$ кВ/м, $\sigma \approx 27.198$ кВ/м, где $\sigma^2 = \langle (E(z) - E_{av})^2 \rangle$, $E(z) \equiv Ez(z)$. Отметим, что средние характеристики вычисляются по стандартной формуле $\langle X \rangle = (1/N) \sum_i X(z_i)$, где $N = 3236$, $i = 1, 2 \dots N$. Приведём для данной выборки

электрического поля также высотный профиль объёмной плотности электрического заряда $\rho(z)$, представленный на рис. 2. Здесь величина $\rho(z)$ дана в нКл/м³, а высота z в км. Для объёмной плотности электрического заряда $\rho(z)$ в рассматриваемом случае имеем следующие характерные значения : $\max \rho(z) \approx 16.7$ нКл/м³ при $z = 3.85$ км, $\min \rho(z) \approx -10.86$ нКл/м³ при $z = 3.91$ км.

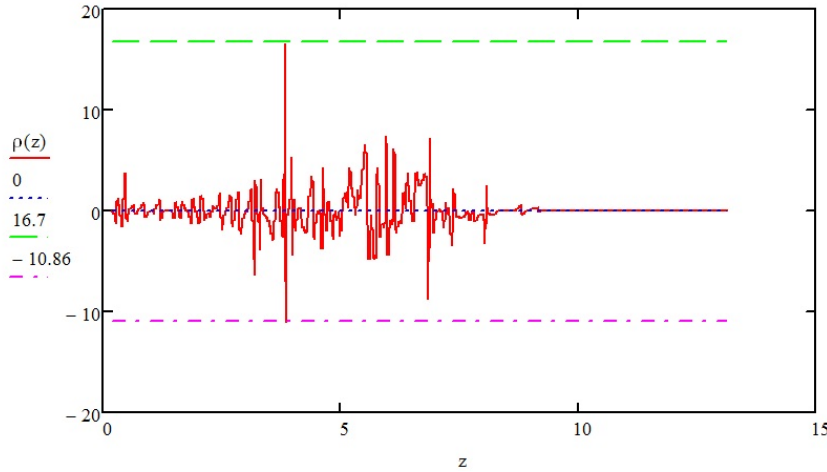


Рис. 2. График объёмной плотности электрического заряда $\rho(z)$

Как видно из рис. 1, 2 электрическое поле и, в особенности, объёмная плотность электрического заряда имеют в грозовой облачности сильные флуктуации по высоте. В противоположность этому профиль электрического потенциала δU является весьма плавной функцией высоты.

Рассмотрим теперь используемые в различных областях науки (см., например, [18–22]) характерные параметры турбулентности асимметрию распределения флуктуаций (skewness) Sk и куртозис K_1 , определяемые для всей выборки следующими выражениями:

$$Sk = \langle (E(z) - E_{av})^3 \rangle / \delta^3, \quad K_1 = \langle (E(z) - E_{av})^4 \rangle / \delta^4. \quad (1)$$

В формуле (1) усреднение идёт по значениям электрического поля $E(z)$ на высотах $z_i(\text{км}) = 0.194 + 0.004(i - 1)$, $1 \leq i \leq N$, $N = 3236$. С учётом аналитических аппроксимаций электрического поля $E(z)$ расчёты по формуле (1) дают: $Sk \approx -0.451$, $K_1 \approx 4.548$. Для нормального распределения флуктуирующей величины параметр Sk равен нулю, а $K_1 = 3$. Следовательно, поскольку Sk отрицательно для исследуемой выборки, то левый хвост распределения электрического поля по величине (относительно центральной точки) длиннее правого хвоста. Для куртозиса получаем $K_1 \approx 4.548$, т.е. эксцесс ($K_1 - 3$) положителен. Таким образом функция распределения электрического поля по величине имеет хорошо выраженный пик и в электрической турбулентности присутствует пережимаемость. Здесь необходимо отметить, что модель турбулентности с инерционным интервалом при наличии перемежаемости ранее была рассмотрена, в частности, в работе [19] и предложено выражение для скейлинговой экспоненты $g(m)$ с нелинейной зависимостью от порядка структурной функции m .

Обсудим теперь обобщённую масштабную инвариантность (ОМИ) для анализируемой выборки электрического поля. На рис. 3 представлены графики структурных функций $S_1(n)$, $S_2(n)$, $S_3(n)$, разность высот двух слоев $n = \delta z / 4$ м. Для других значений порядка структурной функции m графики вполне аналогичны приведённым на рис. 3.

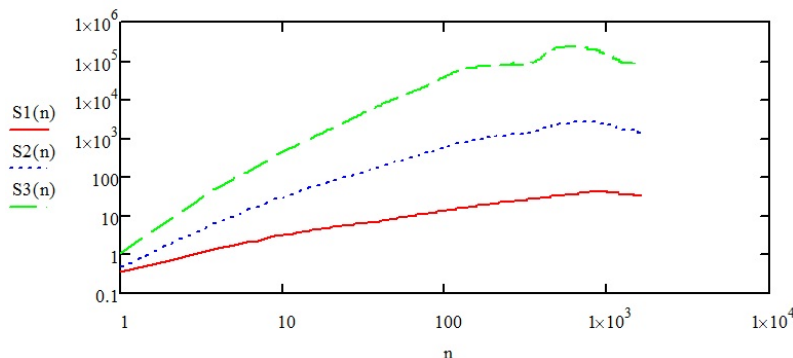


Рис. 3. Графики структурных функций для $m = 1, 2, 3$.

Согласно рис. 3, имеются два инерционных интервала для электрической турбулентности: на малых масштабах $n < 26$ и на средних масштабах $25 < n < 995$, где наблюдается степенной скейлинг структурных функций (СФ): $S_m(n) \sim n^{g(m)}$, где $g(m)$ — скейлинговая экспонента. Степенные аппроксимации $S_m(n)$ в инерционных интервалах дают следующие значения скейлинговых экспонент. На малых масштабах: $g(1) \approx 0.94$, $g(2) \approx 1.824$, $g(3) \approx 2.62$, $g(4) \approx 3.318$. Для средних масштабов имеем: $g(1) \approx 0.596$, $g(2) \approx 1.285$, $g(3) \approx 1.942$, $g(4) \approx 2.585$. Таким образом выборка более трендоустойчива в инерционном интервале малых масштабов, а на средних масштабах она сильно зашумлена. Анализ показал, что если $g(m)$ может быть аппроксимирована в инерционных интервалах линейной функцией типа $g(m) \sim \beta m$, $S_m(n) \sim A_m n^{g(m)}$, то для электрической турбулентности имеет место обобщенная масштабная инвариантность вида $S_m(n) \sim A_m [S_3(n)/A_3]^{m/3}$ для обоих инерционных интервалов с разными значениями параметра β в каждом инерционном интервале. Пусть $\zeta(m)$ обобщенная скейлинговая экспонента в соотношении $S_m(n) \sim [S_3(n)]^{\zeta(m)}$. Расчёты дают следующие значения обобщенных скейлинговых экспонент: $\zeta(1) \approx 0.345$, $\zeta(2) \approx 0.681$, $\zeta(4) \approx 1.294$, $\zeta(6) \approx 1.83$. Для удобства сравнения графиков структурных функций $S_m(n)$ и их аппроксимаций по обобщенной масштабной инвариантности $Q_m(n)$ определим функции $Q_m(n)$ следующей формулой $Q_m(n) = S_m(1)[S_3(n)/S_3(1)]^{\zeta(m)}$.

На рис. 4а, б представлены в качестве примера графики соответственно $Q_2(n)$, $S_2(n)$ и $Q_6(n)$, $S_6(n)$ в зависимости от $S_3(n)$. Скейлинговые экспоненты $\zeta(m)$ для этих функций указаны выше. Как видим, в инерционных интервалах наблюдается согласие графиков $S_2(n)$, $S_6(n)$ с их аналитическими аппроксимациями $Q_2(n)$, $Q_6(n)$, что подтверждает наличие обобщенной масштабной инвариантности для рассматриваемой выборки. Однако на средних масштабах имеются отклонения от ОМИ. Так для $n = 641$ получаем: $[Q_6(641) - S_6(641)]/S_6(641) \approx 1.455$, $[Q_2(641) - S_2(641)]/S_2(641) \approx -0.234$.

Отклонения от обобщенной масштабной инвариантности возрастают с увеличением порядка структурной функции m . Это обусловлено наличием отмеченной выше перемежаемости электрической турбулентности и присутствием когерентных структур на средних масштабах. Аналогичные результаты получаются и для других порядков структурных функций. Отметим, что вид графиков при $S_3(n)$ порядка 10^5 и более связан с насыщением роста структурных функций на больших масштабах.

Перемежаемость электрической турбулентности видна уже из высотного профиля электрического поля. Дополнительным подтверждением является график функции $K_2(n) = S_4(n)/[S_2(n)]^2$, использованной в работе [21] при анализе турбулентности форшоковой области и магнитослоя Земли. Если перемежаемость имеется, то функция $K_2(n)$, второе определение куртозиса, существенно меняется в инерционных интервалах. График $K_2(n)$ представлен на рис. 5 и демонстрирует

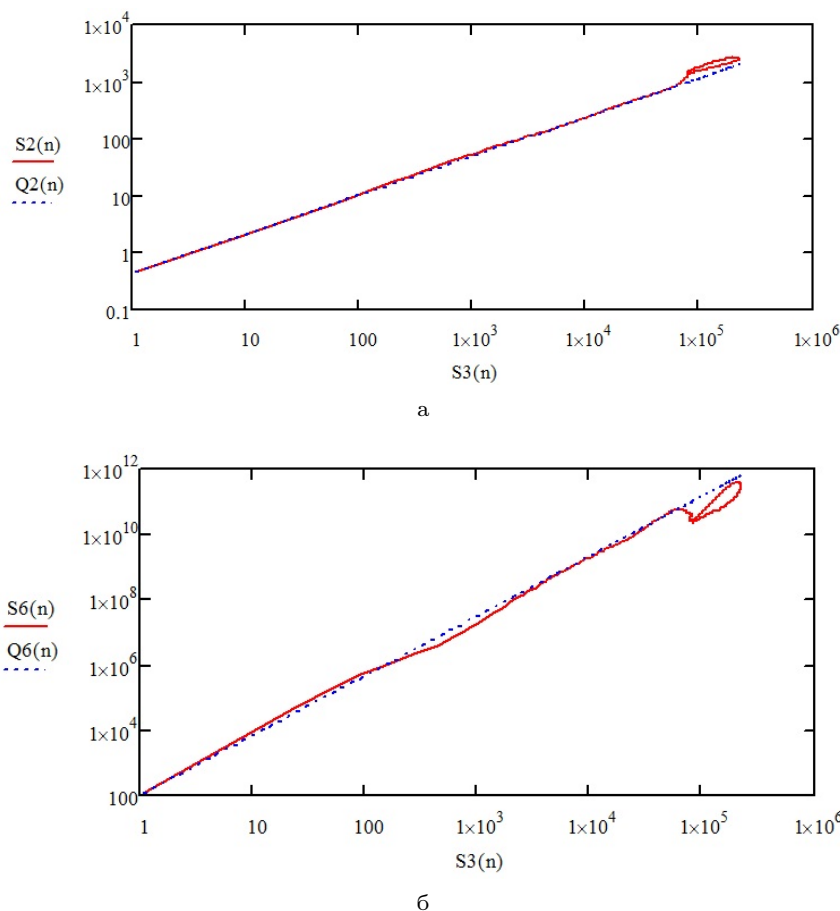


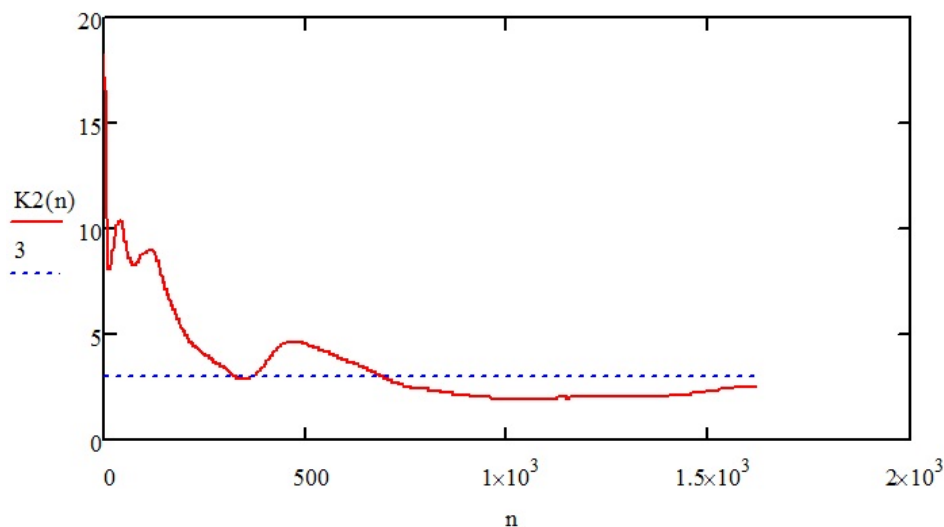
Рис. 4. Графики в зависимости от $S_3(n)$: а — $Q_2(n)$, $S_2(n)$; б — $Q_6(n)$, $S_6(n)$

значительные вариации этой характеристики. Таким образом исследуемая выборка для высотного профиля электрического поля в грозовой облачности имеет сильную перемежаемость электрической турбулентности по высоте. Качественно это видно уже из графика на рис. 1а.

Заключение

Результаты выполненного анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности можно сформулировать следующим образом. Для конкретной выборки экспериментальных данных по высотному профилю электрического поля в грозовой облачности, используя аналитическую аппроксимацию поля $E(z)$, исследованы характеристики электрической турбулентности, включая среднюю величину поля E_{av} в рассматриваемом диапазоне высот, стандартное отклонение δ , асимметрию функции распределения поля (skewness), куртозис, индекс Хёрста, структурные функции, обобщённую масштабную инвариантность.

Показано, что на малых и средних масштабах, где имеются инерционные интервалы, наблюдается обобщённая масштабная инвариантность (ОМИ) электрической турбулентности $S_m(n) \approx S_m(1)[S_3(n)/S_3(1)]^{\zeta(m)}$ и получена обобщённая скейлинговая экспонента $\zeta(m)$. Более детальное исследование выявило наличие отклонений от скейлинга ОМИ, которые обусловлены перемежаемостью электрической турбулентности. Влияние перемежаемости на скейлинг структурных функций (СФ) возрастает с увеличением порядка СФ и наибольшее в диапазоне

Рис. 5. График куртозиса $K_2(n)$

средних масштабов. Рассчитанные величины параметров асимметрии функции распределения поля, куртозиса, индекса Хёрста подтверждают эти выводы. Кроме того, из анализа этих параметров следует, что исследованная выборка экспериментальных данных более трендоустойчива в инерционном интервале малых масштабов, а на средних масштабах она сильно зашумлена.

Изученное поведение структурных функций $S_m(n)$ может быть обусловлено и наличием когерентных структур в атмосферной электрической турбулентности на малых и средних масштабах. Этот вывод следует из ранее проведенного численного анализа модели турбулентности, имеющей два степенных спектра флуктуаций на малых и средних масштабах и некоторое количество когерентных структур (КС) умеренных амплитуд на средних масштабах, которые локализованы по высоте z . При наличии КС также возникают отклонения структурных функций от степенных скейлингов в области масштабов, соответствующих типичным масштабам когерентных структур. Эти отклонения зависят от распределения КС по длине выборки.

Результаты проведенного анализа представляют интерес для последующих исследований влияния заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей типа тайфунов на генерацию гидродинамической спиральности атмосферы и формирование неоднородной, самосогласованной структуры ветровых потоков в ТЦ. Электромагнитные силы внутри тропических циклонов могут существенно воздействовать на динамику ТЦ, включая возникновение обратного каскада энергии и усиление синоптических возмущений. Так, процессы ионизации повышают тепловыделение в облачности и могут приводить к формированию тепловых башен в тайфунах с высокой грозовой активностью, а также порождать за счёт сильных электрических полей неоднородности в ионосфере [23].

Проводимые исследования электрических подсистем грозовой облачности важны и для дальнейшего развития существующих методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов обработки экспериментальных данных, разработки современных методов прогнозирования кризисных природных явлений, для численного моделирования пространственно-временной динамики (с включением схем параметризации вклада электрических подсистем ТЦ в гидродинамические уравнения) интенсивных, крупномасштабных вихрей в атмосфере.

Литература

1. *Lazarev A. A., Moiseev S. S.* Geophysical Precursors of Early Stages of Cyclogenesis // Preprint IКИ RAS. Pr-1844. — 1990. — 14 p.
2. *Моисеев С. С., Чхетиани О. Г.* Спиральный скейлинг в турбулентности // ЖЭТФ. — 1996. — Т. 110, вып. 1(7). — С. 357. [Moiseev S. S., Chkhetiani O. G. The helical scaling of Turbulence // ЖЭТФ. — 1996. — Vol. 110, No 1(7). — P. 357–371]
3. Turbulence and Structures. Chaos, Fluctuations and Self-organization in Nature and in the Laboratory / H. Branover, A. Eidelman, E. Golbaikh, S. S. Moiseev. — San-Diego: Academic Press, 1998. — 270 p.
4. *Ерохин Н. С., Моисеев С. С.* Проблемы геофизики XXI века. — М.: Наука, 1998. — Т. 1, С. 160–182. [Erokhin N. S., Moiseev S. S. Problems of Geophysics XXI Century. — Moscow: Science, 1998. — Vol. 1. — P. 160–182]
5. *Arteha S. N., Golbraikh E., Erokhin N. S.* On Role of Electromagnetic Interactions in Dynamics of the Powerful Atmospheric Vortices // Problems of Atomic Science and Technique. — 2003. — No 4. — Pp. 94–99.
6. *Артеха С. Н., Ерохин Н. С.* О связи крупномасштабных вихревых атмосферных процессов с электромагнитными явлениями // Электромагнитные явления. — 2005. — Т. 5, № 1(14). — С. 3–20. [Artekha S.N., Erokhin N.S. On the Relationship Between Large-Scale Atmospheric Processes Vortex Electromagnetic Phenomena // Electromagnetic Phenomena. — 2005. — Vol. 5, № 1(14). — P3–20]
7. *Byrne G. J., Few A. A., Stewart M. F.* Electric Field Measurement Within a Severe Thunderstorm Anvil // Journal of Geophysical Research. — 1989. — Vol. 95, D5. — Pp. 6297–6307.
8. *Marshall T. C., Rust W. D.* Electrical Structure and Updraft Speeds in Thunderstorms over the Southern Plains // Journal of Geophysical Research. — 1995. — Т. 100. — С. 1001–1015.
9. Scale Invariance in Liquid Water . . . Part II: Multifractal Properties and Intermittency Issues / A. Marshak, A. Davies, W. Wiscombe et al. // Journal of Atmospheric Sciences. — 1997. — Vol. 54, No 11. — Pp. 1423–1444.
10. *Osborne A. R., Provenzale A.* Finite Correlation Dimension for Stochastic Systems with Power-Law Spectra // Physica D. — 1989. — Vol. 35, No 2. — Pp. 357–381.
11. Correlation Dimension: The New Tool in Astrophysics / L. N. Litvinenko, V. B. Ryabov, P. V. Usik et al. // Institute of Radio Astronomy, Academy of Sciences of Ukraine, Preprint №64. — Kharkov, 1992. — 53 p.
12. *Marsh E., Tu C. Y.* Intermittency, non-Gaussian Statistics and Fractal Scaling of MHD Fluctuations in the Solar Wind // Nonlinear Processes in Geophysics. — 1997. — Vol. 4, No 1. — Pp. 101–124.
13. Multifractal Cascade Dynamics and Turbulent Intermittency / D. Schertzer, S. Lovejoy, F. Schmitt et al. // Fractals. — 1997. — Vol. 5, No 3. — Pp. 427–471.
14. *Horbury T. S., Balogh A.* Structure Function Measurements of the Intermittent MHD Turbulent Cascade // Nonlinear Processes in Geophysics. — 1997. — Vol. 4, No 3. — Pp. 185–199.
15. *Khaerdinov N. S., Lidvansky A. S., Petkov V. B.* Electric Field of Thunderclouds and Cosmic Rays: Evidence for Acceleration of Particles (Runaway Electrons) // Atmospheric Research. — 2005. — Vol. 76, issue 1-4. — Pp. 346–354.
16. *Лидванский А. С., Хаердинов Н. С.* Статистика вариаций мюонов космических лучей во время гроз // Известия РАН. — 2011. — Т. 75, № 6. — С. 888–890. [Lidvanskiy A.S., Khaerdinov N.S. Statistics of Variations Cosmic Ray Muons During a Thunderstorm // Izvestiya RAS. — 2011. — Vol. 75, No 6. — P. 888–890]
17. *Zadorozhny A. M., Tyutin A. A.* Effects of Geomagnetic Activity on the Mesospheric Electric Fields // Ann. Geophysicae. — 1998. — Vol. 16. — Pp. 1544–1551.
18. *Sura P., Perron M.* Extreme Events and the General Circulation: Observations and Stochastic Model Dynamics // Journal of the Atmospheric Sciences. — 2010. —

- Vol. 67, No 9. — Pp. 2785–2804.
19. *She Z., Leveque E.* Universal Scaling Laws in Fully Developed Turbulence // *Phys. Rev. Lett.* — 1994. — Vol. 72. — Pp. 336–339.
 20. *Dubrulle B.* // *Phys. Rev. Lett.* — 1994. — Vol. 73. — Pp. 959–962.
 21. Статистический анализ турбулентности форшоковой области и магнитослоя земли / Л. В. Козак, В. А. Пилипенко, О. М. Чугунова, П. Н. Козак // *Космические исследования.* — 2011. — Т. 49, № 3. — С. 202–212. [Kozak L. V., Pilipenko V. A., Chugunova O. M., Kozak P. N. Statistical Analysis of Foreshock Region Turbulent and the Magnetosheath of the Earth // *Space Research.* — 2011. — Vol. 49, No 3, P. 202–212]
 22. *Фрик П. Г.* Турбулентность: подходы и модели. Изд. 2-е, испр. и доп. — М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. — 332 с. [Frik P. G. *Turbulence: Approaches and Models.* D. 2. — Moscow–Izhevsk: SIC «Regular and Chaotic Dynamics», 2010. — 332 p.]
 23. *Бондур В. Г., Пулинец С. А.* Воздействие мезомасштабных атмосферных вихревых процессов на верхнюю атмосферу и ионосферу Земли // *Исследования Земли из космоса.* — 2012. — № 3. — С. 3–11. [Bondur V. G., Pulinec S. A. The Influence of Mesoscale Vortex Processes in the Upper Atmosphere and Ionosphere of the Earth // *Research the Earth From Space.* — 2012. — No 3, P. 3–11]

UDC 532.5.01, 532.5.013

Analysis of Electrical Turbulence Characteristics in Thunderstorm Clouds

I. A. Krasnova*, N. S. Erokhin†, L. A. Mikhailovskaya†

* *Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia*

† *Department of Cosmogeophysics
Space Research Institute of RAS
Profsovnaya Str.84/32, Moscow, 117887, Russia*

It has been performed the numerical analysis of structure functions for an electric turbulence in thunderstorm clouds by usage of experimental data on altitude profile of the electric field vertical component. Numerical calculations of the structure functions were performed and inertial intervals of electric turbulence were detected in the small scales range and the middle scale one. Scaling exponents, Herst index, the curtosis were determined. The structure functions behaviour has explained by the presence of intermittency and coherent structures which influence on scaling exponents magnitudes. It has been shown that for data considered the generalized scale invariability (GSI) of electric turbulence is observing and GSI scaling exponent has been calculated. Results obtained are of the great interest for following investigations of intense atmospheric vortices charged subsystems contribution to the hydrodynamical helicity generation and vortices dynamics including tropical cyclones formation.

Key words and phrases: structure functions, helicity, electrical turbulence, scaling exponents, kurtozis, generalized scale invariance, inertial interval, storm clouds, coherent Structures, height distribution.