

## Электрические процессы в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях

Г.И. Горчаков<sup>✉</sup>, А.В. Карпов, Р.А. Гуцин, О.И. Даценко\*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3*

Поступила в редакцию 28.11.2023;  
после доработки 27.02.2024;  
принята к печати 05.04.2024

Опустыненные территории являются основным источником пылевого аэрозоля. На эмиссию и перенос пылевого аэрозоля в приповерхностном слое атмосферы сильно влияет электризация ветропесчанного потока. Нами выполнено экспериментальное исследование электрических процессов в ветропесчаном потоке. По данным синхронных измерений на опустыненной территории в Астраханской области плотности электрических токов сальтации и токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля, на высотах 4 и 12 см рассчитаны статистические характеристики вариаций плотности и модулей плотности указанных токов. Показано, что в ветропесчаном потоке в слое 4–12 см модули плотности электрических токов сальтации и токов, обусловленных переносом пылевого аэрозоля, убывают с высотой значительно медленнее (логарифмические градиенты  $-0,025$  и  $-0,07$  см<sup>-1</sup>), чем концентрация сальтирующих частиц (логарифмический градиент  $-0,32$  см<sup>-1</sup>). Подтверждено, что модули плотности электрических токов сальтации коррелируют друг с другом и со скоростью ветра в приземном слое атмосферы теснее, чем сами плотности токов. Полученные результаты представляют интерес при разработке моделей эмиссии пылевого аэрозоля на опустыненных территориях.

*Ключевые слова:* ветропесчаный поток, пылевой аэрозоль, электризация ветропесчаного потока, ток сальтации, перенос заряда аэрозоля, плотность электрического тока, модуль плотности тока, логарифмический градиент; wind-sand flux, dust aerosol, electrification of wind-sand flux, saltation current, aerosol charge transport, electric current density, current density module, logarithmic gradient.

### Введение

С опустыненных территорий в атмосферу поступает большое количество минерального пылевого аэрозоля (МПА), который заметно влияет на процессы в климатической системе [1]. Согласно существующим представлениям большая часть МПА возникает на подстилающей поверхности (ПП) опустыненных территорий под воздействием ветропесчаного потока (ВПП) (от песчаной поземки до песчаной бури). В ветропесчаном потоке основным процессом является сальтация [2–7] — скачкообразное перемещение песчинок, которые выбивают с ПП частицы МПА [8, 9].

В ряде работ исследуется влияние электризации ВПП на свойства и перенос МПА в атмосфере [10–16]. В [10] показано, что электрическое поле в ВПП может способствовать увеличению интенсивности сальтации. В [11] выполнено исследование

зависимости удельного заряда сальтирующих частиц от высоты. По данным измерений на опустыненной территории в Сахаре оценено влияние напряженности электрического поля и относительной влажности воздуха на интенсивность эмиссии пылевого аэрозоля в [12]. В [13] изучена мезомасштабная изменчивость электризации пылевого аэрозоля. С использованием данных полевого эксперимента и моделирования показано, что в ветропесчаном потоке существенную роль может играть процесс трибоэлектрической зарядки частиц [14]. В работе [15] изучено влияние столкновений агрегатов частиц на кинетику аэрозоля. Мозаичная структура пространственного распределения электрических зарядов в приземном слое атмосферы исследована в [16].

Ветропесчаный поток отличается аномально высокой электризацией. Напряженность электрического поля в ветропесчаном потоке может достигать  $+167$  кВ/м [17] (на высоте 1,7 см). Однако в большинстве случаев она не превышает 10 кВ/м. Следует иметь в виду, что на ВПП сильно влияют процессы в пограничном слое атмосферы. В конвективном пограничном слое часто возникают вихри и конвективные когерентные структуры. Много

\* Геннадий Ильич Горчаков (gengor@ifaran.ru); Алексей Владимирович Карпов (karпов@ifaran.ru); Роман Альбертович Гуцин (gushchin@ifaran.ru); Олег Игоревич Даценко (datsenko@ifaran.ru).

внимания уделяется исследованиям электризации пылевых смерчей на Земле и Марсе [7, 18]. В [19] показано, что при прохождении вблизи пункта наблюдения вихревых структур напряженность электрического поля в ВПП (не только вертикальная, но и горизонтальная компонента) может повыситься до значений порядка 100 кВ/м. Поэтому можно предположить, что наблюдавшаяся в [18] напряженность поля 167 кВ/м была обусловлена, в частности, вихревыми структурами.

Результаты систематических измерений удельного заряда сальтирующих частиц свидетельствуют о том, что они переносят большие электрические заряды. В частности, если удельный заряд равен +60 мкКл/кг [17], то частица размером 150 мкм имеет заряд примерно +270 фКл [20, 21]. Расчеты, выполненные в приближении однородных сферических частиц, показали, что локальная напряженность на поверхности сальтирующей частицы с таким зарядом достигает примерно +450 кВ/м, что намного больше ее типичных значений в ВПП. Поскольку напряженность электрического поля на несферической частице определяется минимальным радиусом кривизны ее поверхности, то, следовательно, максимальное значение напряженности может быть близким к пробойному, что должно приводить к электрическим разрядам в ВПП [20, 21].

Цель настоящей работы – изучение вариаций плотности и модуля плотности электрических токов сальтации и токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля, в ветропесчаном потоке на опустыненной территории, а также оценка градиента модулей плотности указанных токов.

## 1. Материалы и методы

При исследовании электризации ветропесчаного потока в условиях квазинепрерывной сальтации использованы результаты синхронных измерений на двух высотах (4 и 12 см) с временным разрешением 1 с плотности электрических токов сальтации и токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля, на опустыненной территории в Астраханской области в августе-сентябре 2021 г. [20, 21]. Режим электризации ВПП в условиях квазинепрерывной сальтации характеризуется статистическими параметрами [22] вариаций плотности и модуля плотности вышеуказанных токов и средними значениями логарифмического градиента модулей плотностей токов.

## 2. Результаты и обсуждение

### 2.1. Электрические токи сальтации

В ветропесчаном потоке наблюдаются различные режимы сальтации. Чаще всего при измерениях характеристик сальтации на опустыненных территориях имеют дело с режимом всплесковой (пере-

межающей) сальтации [23]. В [24] представлены результаты исследования вертикального распределения концентрации сальтирующих частиц в ВВП в условиях квазинепрерывной сальтации.

На рис. 1 приведены результаты измерений на опустыненной территории 31.08.2021 г. с 10:45 до 13:00 горизонтальной компонентой скорости ветра  $V$  на высоте 3 м (рис. 1, *a*), плотности электрических токов сальтации (ПЭТС)  $j$  на высотах 4 (рис. 1, *б*) и 12 см (рис. 1, *в*), а также модуля ПЭТС на высоте 12 см (рис. 1, *г*), сглаженных на интервалах 10 (серая кривая) и 100 с (черная кривая). На высоте 4 см ПЭТС оказалась, за редкими исключениями, положительной, а на высоте 12 см – знакопеременной. Сглаживание показало, что на временную изменчивость вышеуказанных токов существенно влияют конвективные процессы с периодами примерно от 1 до 10 мин в пограничном слое атмосферы. Были рассчитаны коэффициенты корреляции вариаций ПЭТС с вариациями скорости ветра в приземном слое атмосферы. Оказалось, что для высоты 4 см коэффициенты корреляции  $\rho_{10}^{(4)}$  и  $\rho_{100}^{(4)}$ , рассчитанные для временных интервалов 10 и 100 с, равны  $0,36 \pm 0,05$  (с доверительным интервалом 0,95 [19]) и  $0,44 \pm 0,15$ , а для модуля ПЭТС  $0,48 \pm 0,05$  и  $0,59 \pm 0,15$  соответственно. Для тока сальтации на высоте 12 см заметная корреляция с  $V$  наблюдается только для модуля ПЭТС:  $\rho_{10}^{(12)} = 0,37 \pm 0,05$  и  $\rho_{100}^{(12)} = 0,43 \pm 0,15$ .

Примерно такой же по уровню является корреляция между модулями ПЭТС на высотах 4 и 12 см:  $\rho_{10} = 0,48 \pm 0,05$  и  $\rho_{100} = 0,63 \pm 0,15$ . Представленные в данной статье коэффициенты корреляции рассчитывались по всему интервалу времени (рис. 1 и 3). На уровень рассмотренных корреляций существенно влияют турбулентность и импульсная природа ПЭТС.

Таким образом, получил подтверждение вывод о том, что модули ПЭТС коррелируют друг с другом теснее, чем сами ПЭТС [25]. Кроме того, показано, что при знакопеременном токе сальтации модули ПЭТС теснее коррелирует со скоростью ветра, чем ПЭТС.

Выполнен статистический анализ (табл. 1) вариаций ПЭТС, модулей ПЭТС и для сглаженных данных измерений (время осреднения 10 и 100 с).

Эмпирические функции распределения  $W$ , в том числе для скорости ветра  $V$  (табл. 1, рис. 2, *a*) с удовлетворительной точностью аппроксимируются нормальными распределениями. Для времени осреднения 100 с эксцесс распределения (-0,46) заметно больше, чем для 10 с (-0,22).

Вариации ПЭТС на высоте 4 см отличаются от вариаций  $V$  повышенными значениями коэффициентов вариации (0,46 и 0,30 для времени осреднения 10 и 100 с) и еще большими (по модулю) значениями эксцесса (-0,7 и -0,9).

Резко выделяются на общем фоне (см. табл. 1) коэффициенты вариации для ПЭТС на высоте 12 см (14,3 и 4,64 для времени осреднения 10 и 100 с),

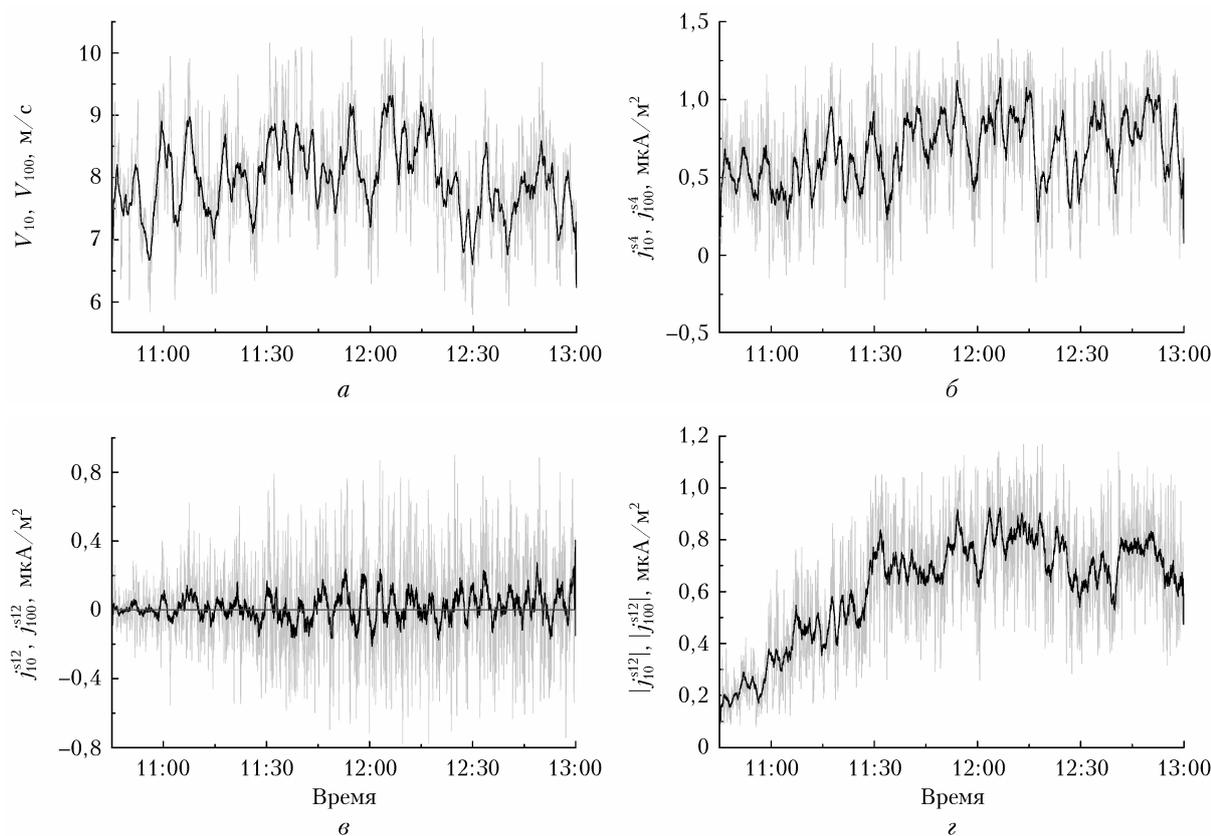


Рис. 1. Зависимости от времени горизонтальной компоненты скорости ветра на высоте 3 м (а), плотности электрических токов сальтации на высоте 4 (б) и 12 см (в) и модуля плотности электрического тока сальтации на высоте 12 см (г) по данным измерений 31.08.2021 г. на опустыненной территории в Астраханской области с осреднением за 10 с ( $V_{10}$ ,  $J_{10}^{s4}$ ,  $J_{10}^{s12}$ ,  $|J_{10}^{s12}|$ ) (серая кривая) и 100 с ( $V_{100}$ ,  $J_{100}^{s4}$ ,  $J_{100}^{s12}$ ,  $|J_{100}^{s12}|$ ) (черная кривая)

Таблица 1

Статистические характеристики вариаций скорости ветра (м/с), плотности токов сальтации и модулей плотности тока сальтации (мкА/м<sup>2</sup>) для интервалов 10 и 100 с

Статистическая характеристика	$V_{10}$	$V_{100}$	$J_{10}^{s4}$	$J_{100}^{s4}$	$J_{10}^{s12}$	$J_{100}^{s12}$	$ J_{10}^{s12} $	$ J_{100}^{s12} $
Среднее	7,98	7,98	0,67	0,67	0,017	0,017	0,62	0,62
СКО	0,82	0,56	0,31	0,20	0,237	0,077	0,23	0,19
Максимум	10,4	9,32	1,39	1,14	0,90	0,40	1,17	0,92
Минимум	5,8	6,24	-0,28	-0,05	-0,78	-0,21	0,08	0,09
Коэффициент вариации	0,10	0,07	0,46	0,30	14,3	4,64	0,38	0,31
Асимметрия	0,16	0,07	-0,10	-0,05	0,20	0,27	-0,32	-0,85
Экспесс	-0,22	-0,46	-0,70	-0,92	0,37	0,19	-0,69	-0,27

которые отличаются от указанных величин для модуля ПЭТС (0,38 и 0,31 для времени осреднения 10 и 100 с), что обусловлено знакопеременностью тока сальтации на высоте 12 см.

Отношение средних значений ПЭТС на высотах 4 и 12 см составляет:  $0,67 : 0,017 = 39,4$  (табл. 1). Отсюда следует, что для слоя 4–12 см средний логарифмический градиент ПЭТС равен  $-0,46 \text{ см}^{-1}$ , а масштаб высоты равен 2,2 см. Однако степень электризации ВПП более адекватно характеризуется модулем ПЭТС. На уровне 4 см среднее

значение модуля ПЭТС составляет  $0,76 \text{ мкА/м}^2$ , а на высоте 12 см (см. табл. 1) оно равно  $0,62 \text{ мкА/м}^2$ . В этом случае логарифмический градиент модуля ПЭТС для слоя 4–12 см равен  $-0,025 \text{ см}^{-1}$ , что соответствует масштабу высоты 39 см. Таким образом, в слое сальтации модуль ПЭТС убывает с высотой намного медленнее, чем концентрация сальтирующих частиц, для которой логарифмический градиент равен  $-0,32 \text{ см}^{-1}$  [24], что свидетельствует о росте удельного заряда сальтирующих частиц с высотой.

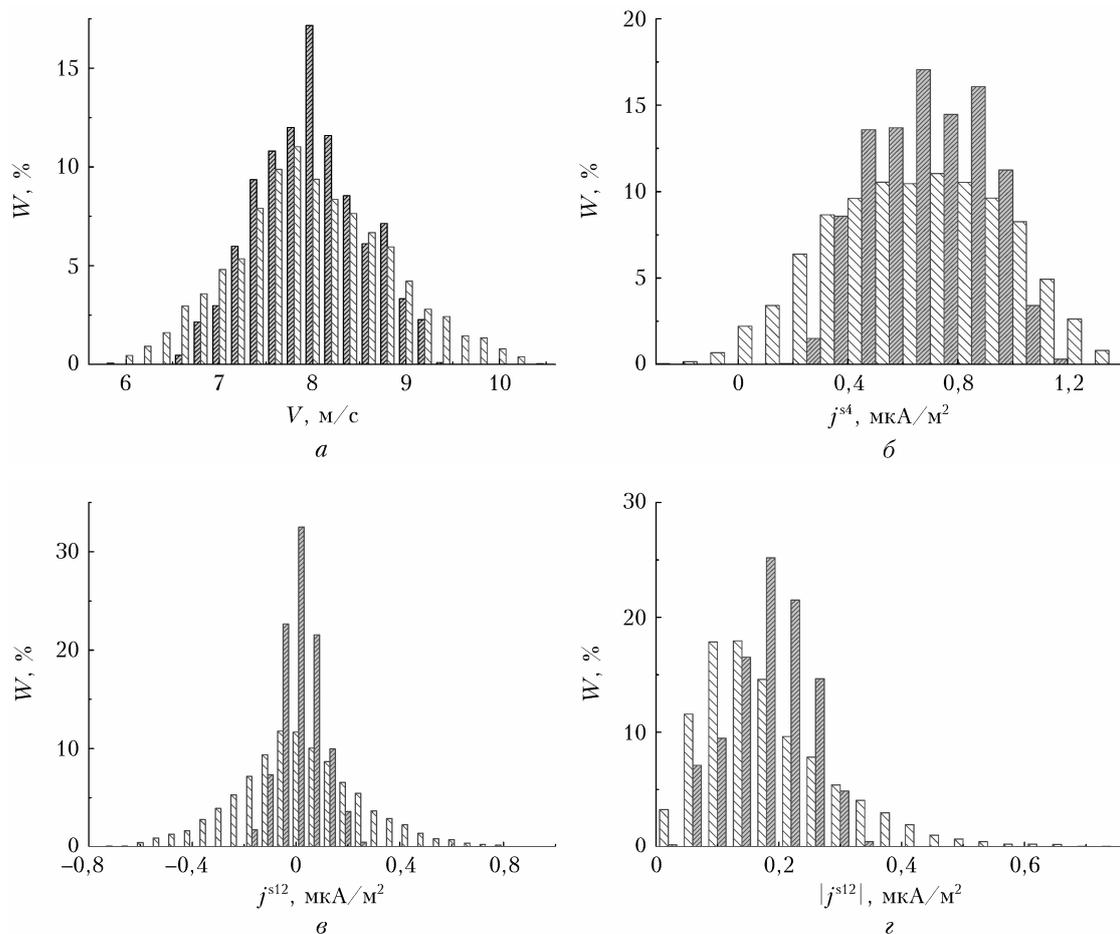


Рис. 2. Эмпирические функции распределения скорости ветра (а), плотности электрического тока сальтации на высоте 4 см (б), плотности (в) и модуля плотности (г) электрического тока сальтации на высоте 12 см при осреднении за 10 (светлые столбцы) и 100 с (темные столбцы)

## 2.2. Электрические токи, обусловленные переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля

Электрические процессы в приземном слое атмосферы давно интересуют широкий круг специалистов [12, 26–28]. Пылевой аэрозоль поступает с подстилающей поверхности в атмосферу. Однако эмиссия заряженных частиц МПА в ВПП до сих пор изучена недостаточно. Результаты измерений вертикальных турбулентных потоков и скорости выноса пылевого аэрозоля с ПП в условиях квазинепрерывной сальтации на опустыненной территории представлены в [29]. Нами выполнены исследования вариаций плотности электрических токов пылевого аэрозоля (ПЭТПА), обусловленных переносом заряженных частиц аэрозоля, генерируемых в ВПП [20, 21]. В данном разделе проанализированы вариации ПЭТПА по данным измерений 31.08.2021 г. на опустыненной территории в Астраханской области на высотах 4 и 12 см в условиях квазинепрерывной эмиссии МПА, а также вариаций модулей плотности указанных токов.

На рис. 3, а показана временная изменчивость ПЭТПА на высоте 4 см, осредненная на интервалах 10 и 100 с (серая и черная кривые на рис. 3, а соответственно). Результаты определения ПЭТПА на высоте 12 см показаны на рис. 3, б. Кроме того, на рис. 3 представлены результаты расчетов модулей ПЭТПА на высотах 4 (рис. 3, в) и 12 см (рис. 3, г).

Статистические характеристики вариаций и модулей ПЭТПА для высот 4 и 12 см приведены в табл. 2. На рис. 4 показаны эмпирические функции распределения плотности и модуля плотности указанных токов.

Средние значения модулей ПЭТПА (табл. 2) в несколько раз больше средних значений ПЭТПА, что объясняется знакопеременностью токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля. Похожее соотношение имеют место для коэффициентов вариации плотности указанных токов. Значения эксцесса для ПЭТПА и модулей ПЭТПА оказались большими (до 4,21). Отношение средних значений ПЭТПА на двух высотах  $17,5 : 14 = 1,25$ .

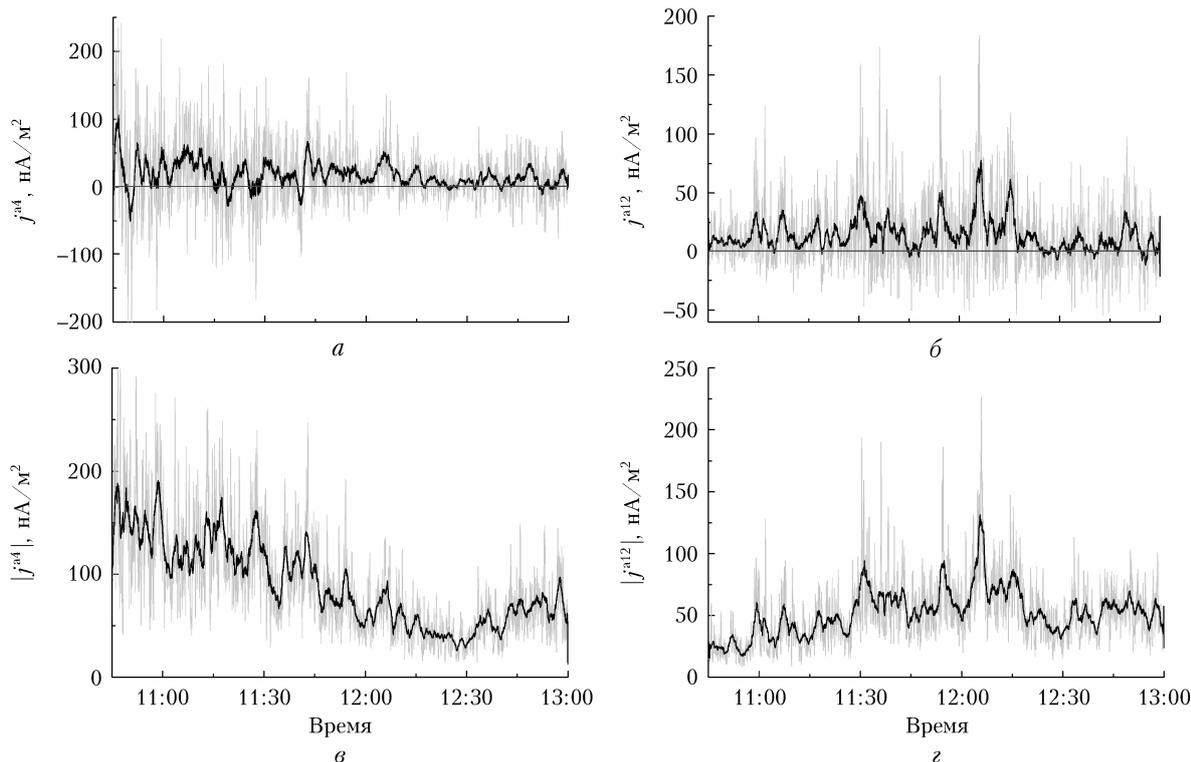


Рис. 3. Зависимость от времени плотности электрических токов (*a*, *б*), обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля (горизонтальная линия – начало отсчета плотности тока), и модулей плотностей токов (*в*, *г*) на высоте 4 (*a*, *в*) и 12 см (*б*, *г*) при осреднении за 10 (серая кривая) и 100 с (черная кривая)

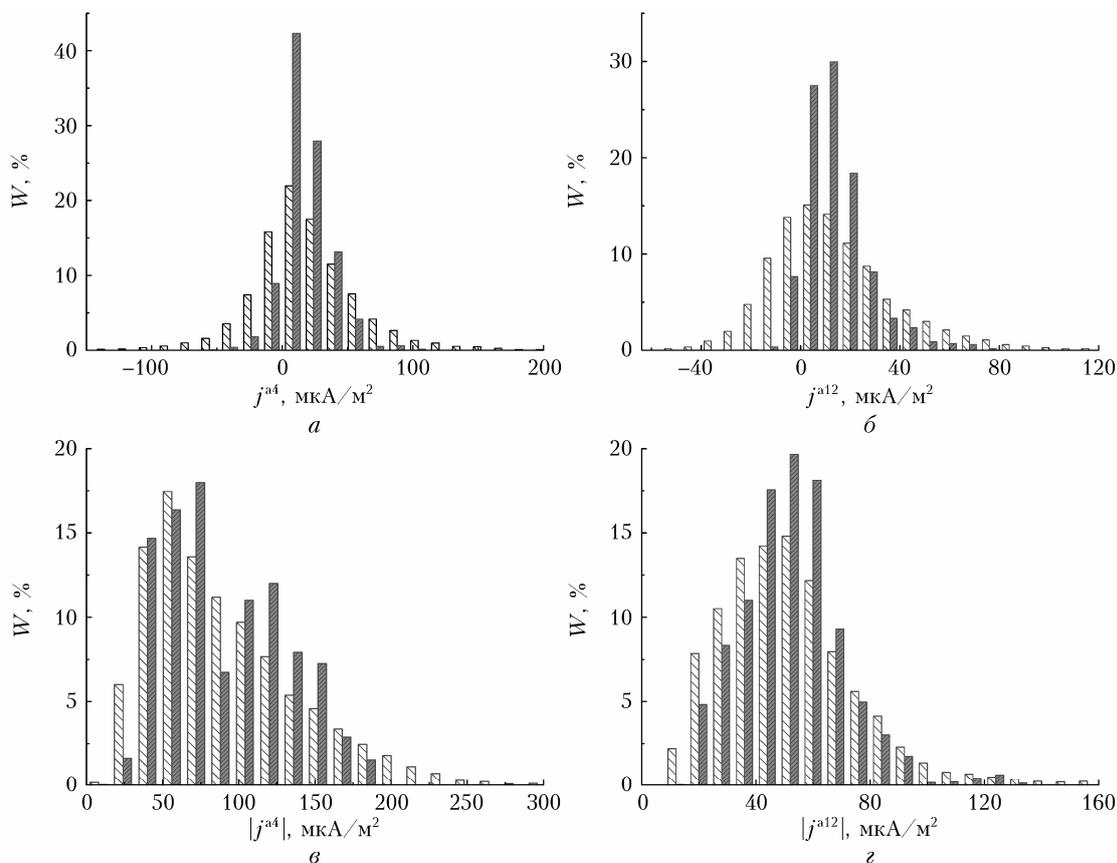


Рис. 4. Эмпирические функции распределения плотности электрических токов (*a*, *б*) и модулей плотностей токов (*в*, *г*) на высотах 4 (*a*, *в*) и 12 см (*б*, *г*), обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля при осреднении за 10 (светлые столбцы) и 100 с (темные столбцы)

Статистические характеристики вариаций плотности и модулей плотности токов (нА/м<sup>2</sup>), обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля

Статистическая характеристика	$j_{10}^a$	$j_{100}^a$	$j_{10}^{a12}$	$j_{100}^{a12}$	$ j_{10}^{a4} $	$ j_{100}^{a4} $	$ j_{10}^{a12} $	$ j_{100}^{a12} $
Среднее	17,5	17,5	14	14	90	90	52	52
СКО	42	18	27	12,7	49	39	25	18
Коэффициент вариации	2,39	1,03	1,92	0,91	0,55	0,44	0,48	0,35
Асимметрия	0,35	0,61	1,31	1,48	0,99	0,44	1,44	0,76
Эксцесс	3,19	1,86	3,77	3,34	0,68	-0,87	4,21	1,74

Отсюда следует, что масштаб высоты для вертикального профиля ПЭТПА составляет 36 см, а логарифмический градиент для слоя 4–12 см равен  $-0,03 \text{ см}^{-1}$ , что близко к соответствующим параметрам вертикального профиля модуля плотности токов сальтации (39 см и  $-0,025 \text{ см}^{-1}$ ).

Масштаб высоты для модуля ПЭТПА составляет 14,5 см, а логарифмический градиент равен  $-0,07 \text{ см}^{-1}$ . Таким образом, скорость убывания с высотой ПЭТПА и его модуля значительно меньше скорости убывания с высотой концентрации сальтирующих частиц (логарифмический градиент  $-0,32$ ) [24] и сравнима со скоростью убывания модуля ПЭТС.

### Заключение

По данным измерений в ветропесчаном потоке на высотах 4 и 12 см на опустыненной территории в Астраханской области в августе 2021 г. плотности электрических токов сальтации и токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля, рассчитаны статистические характеристики вариаций и построены эмпирические функции распределения плотности и модулей плотностей указанных токов. Оценены логарифмические градиенты вертикальных распределений плотностей и модулей плотности электрических токов. Установлено, что модули плотности электрических токов сальтации и электрических токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля, убывают с высотой значительно медленнее, чем концентрации сальтирующих частиц.

Подтверждено, что модули плотности токов сальтации коррелируют друг с другом и со скоростью ветра теснее, чем сами плотности.

В дальнейшем необходимо исследовать влияние электрических процессов на траектории сальтирующих частиц и динамику ветропесчанного потока в целом.

**Благодарности.** Авторы благодарят анонимного рецензента за полезные советы.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-17-00214).

### Список литературы

1. Mahowald N., Albani S., Kok J.F., Engelstaeder S., Scanza R., Ward D.S., Flanner M.G. The size distribution of desert dust aerosols and its impact on the Earth system // *Aeolian Res.* 2014. V. 15. P. 53–71. DOI: 10.1016/j.aeolia.2013.09.002.
2. Bagnold R.A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen, 1941. 265 p.
3. Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха Л.: Гидрометеониздат, 1978. 158 с.
4. Shao Y. Physics and Modeling of Wind Erosion. New York: Springer, 2000. 393 p.
5. Kok J.F., Parteli E.J.R., Michaels T.I., Karam D.B. The physics of wind-blown sand and dust // *Rep. Prog. Phys.* 2012. V. 75, N 10. P. 106901. DOI: 10.1088/0034-4885/75/10/106901.
6. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК, 2011. 580 с.
7. Harrison R.G., Barth E., Esposito F., Merrison J., Montmessin F., Aplin K.L., Borlina C., Berthelier J.J., Deprez G., Farrell W.M., Houghton I.M. Applications of electrified dust and dust devil electrostatics to Martian atmospheric electricity // *Space Sci. Rev.* 2016. V. 203. P. 299–345. DOI: 10.1007/978-94-024-1134-8\_10.
8. Alfaro S.C., Gaudichet A., Gomes L., Maille M. Modeling the size distribution of a soil aerosol produced by sandblasting // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102, N D10. P. 11239–11249. DOI: 10.1029/97jd00403.
9. Shao Y., Raupach M.R., Findlater D.A. Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind // *J. Geophys. Res.* 1993. V. D98, N D7. P. 12719–12726. DOI: 10.1029/93JD00396.
10. Rasmussen K.R., Kok J.F., Merrison J.P. Enhancement in wind-driven sand transport by electric fields // *Planet. Space Sci.* 2009. V. 57, N 7. P. 804–808. DOI: 10.1016/j.pss.2009.03.001.
11. Bo T.L., Zhang H., Zheng X.J. Charge-to-mass ratio of saltating particles in wind-blown sand // *Sci. Rep.* 2014. V. 4, N 1. P. 5590. DOI: 10.1038/srep05590.
12. Esposito F., Molinaro R., Popa C.I., Molfese C., Cozzolino F., Marty L., Taj-Eddine K., Di Achille G., Franzese G., Silvestro S., Ori G.G. The role of the atmospheric electric field in the dust-lifting process // *Geophys. Res. Lett.* 2016. V. 43, N 10. P. 5501–5508. DOI: 10.1002/2016GL068463.
13. Zhang H., Zheng X. Quantifying the large-scale electrification equilibrium effects in dust storms using field observations at Qingtu Lake Observatory // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18, N 23. P. 17087–17097. DOI: 10.5194/acp-18-17087-2018.
14. Zhang H., Zhou Y.H. Effects of 3D electric field on saltation during dust storms: An observational and numerical study // *Atmos. Chem. Phys.* 2020. V. 20, N 23. P. 14801–14820. DOI: 10.5194/acp-20-14801-2020.
15. Onyeagusi F.C., Meyer C., Teiser J., Becker T., Wurm G. Charged atmospheric aerosols from charged saltating dust aggregates // *Atmosphere.* 2023. V. 14, N 7. P. 1065. DOI: 10.3390/atmos14071065.
16. Bo T.L., Li F. Multi-scale characteristics of the spatial distribution of space charge density that determines the vertical electric field during dust storms // *Granul. Matter.* 2023. V. 25, N. 1. P. 6. DOI: 10.1007/s10035-022-01293-9.

17. Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D. Electrostatic force on saltating sand // J. Geophys. Res. 1998. V. 103, N D8. P. 8997–9001. DOI: 10.1029/98JD00278.
18. Bo T.L., Zheng X.J. A field observational study of electrification within a dust storm in Minqin, China // Aeolian Res. 2013. V. 8. P. 39–47. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.11.001.
19. Sinclair P.C. General characteristics of dust devils // J. Appl. Meteorol. Climatol. 1969. V. 8, N 1. P. 32–45. DOI: 10.1175/1520-0450(1969)008<0032:GCODD>2.0.CO;2.
20. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Электризация ветропесчаного потока на опустыненных территориях // Докл. РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 505, № 1. С. 89–94. DOI: 10.31857/S2686739722070076.
21. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Пылевая плазма ветропесчаного потока на опустыненных территориях // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2022. Т. 58, № 5. С. 543–553.
22. Смирнов Н.В., Дунин-Борковский И.В. Краткий курс математической статистики для технической приложений. М.: Физматгиз, 1959. 436 с.
23. Stout J.E., Zobeck T.M. Intermittent saltation // Sedimentology. 1997. V. 44, N 5. P. 959–970. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1997.d01-55.x.
24. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Вертикальное распределение алевритовых и песчаных частиц в ветропесчаном потоке над опустыненной территорией // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2021. Т. 57, № 5. С. 555–564.
25. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Шихова Н.М., Дмитриев Э.М. Механизмы формирования пульсаций электрического поля приземной атмосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 2001. Т. 44, № 7. С. 8–18.
26. Донченко В.А., Кабанов М.В., Кауль Б.В., Нагорский П.М., Самохвалов И.В. Электрооптические явления в атмосфере. Томск: НТЛ, 2015. 314 с.
27. Малиновская Е.А., Чхетиани О.Г., Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.Н. О связи приземного электрического поля и аридного аэрозоля при различных ветровых условиях // Докл. РАН. Науки о земле. 2022. Т. 502, № 2. С. 69–78. DOI: 10.31857/S2686739722020104.
28. Карпов А.В., Горчаков Г.И., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Вертикальные турбулентные потоки пылевого аэрозоля // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2021. Т. 57, № 5. С. 565–574.
29. Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M., Buntov D.V., Gushchin R.A., Datsenko O.I. Dust aerosol emission on the desertified area // Proc. SPIE, 2020. V. 11560. P. 1552–1558. DOI: 10.1117/12.2575880.

*G.I. Gorchakov, A.V. Karpov, R.A. Gushchin, O.I. Datsenko. Electrical processes in a wind-sand flux on desertified areas.*

Electrical processes in a wind-sand flux has been studied. According to synchronous measurements in a deserted area in the Astrakhan region, the density of saltation electric currents and currents caused by the transfer of charged dust aerosol particles at heights of 4 and 12 cm are received. The statistical characteristics of variations in the density and density moduli of these currents are calculated. It is shown that in a wind-sand flux in the height range from 4 to 12 cm, the density modules of saltation electric currents and currents caused by the transfer of dust aerosol decrease with height much more slowly (logarithmic gradients are  $-0.025$  and  $-0.07 \text{ cm}^{-1}$ ) than the concentration of saltating particles (logarithmic gradient is  $-0.32 \text{ cm}^{-1}$ ). It is confirmed that the moduli of saltation electric current density correlate with each other and with wind speed in the surface air layer more closely than the current densities themselves. It is of great interest to study the influence of electrical processes in wind-sand flux on the dynamics of saltation.