

УДК 550.37, 551.510

## ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ВЕТРОПЕСЧАНОГО ПОТОКА НА ОПУСТЫНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

© 2022 г. Г. И. Горчаков<sup>1,\*</sup>, В. М. Копейкин<sup>1</sup>, А. В. Карпов<sup>1</sup>, Р. А. Гуцин<sup>1</sup>,  
О. И. Даценко<sup>1</sup>, Д. В. Бунтов<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН Г.С. Голицыным 30.12.2021 г.

Поступило 30.12.2021 г.

После доработки 16.03.2022 г.

Принято к публикации 18.03.2022 г.

По данным измерений в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях в Астраханской области и Калмыкии установлено, что временная изменчивость в диапазоне периодов примерно от 30 с до 30 мин концентрации сальтирующих частиц, концентрации частиц пылевого аэрозоля и электрических характеристик ветропесчаного потока, включая электрические токи сальтации, объемный заряд частиц пылевого аэрозоля и напряженность электрического поля в приповерхностном слое атмосферы определяются низкочастотными вариациями горизонтальной компоненты скорости ветра. Согласно данным измерений на опустыненной территории поверхностная плотность электрического заряда достигала  $+25$  нКл/м<sup>2</sup>. Получено эмпирическое распределение вероятностей величины удельного заряда песчинок в условиях квазинепрерывной сальтации. Предложен механизм инициирования сальтации электрическими разрядами на подстилающей поверхности. Представлена аналитическая модель выноса частиц в приповерхностный слой атмосферы при электрических разрядах на подстилающей поверхности. Показано, что при электрическом (коронном) разряде скорость вылета сальтирующих частиц может превышать 1 м/с.

*Ключевые слова:* опустынивание, ветропесчаный поток, электризация ветропесчаного потока, напряженность электрического поля, поверхностная плотность зарядов, электрические токи сальтации, удельный заряд, эмиссия пылевого аэрозоля, объемный заряд пылевого аэрозоля, коронный разряд, инициирование сальтации электрическими разрядами, скорость вылета сальтирующих частиц

DOI: 10.31857/S2686739722070076

В современную эпоху потепления климата ускоряются многие процессы, в том числе, опустынивание и аридизация, в которых ключевую роль играет взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью (ПП). На песчаных опустыненных территориях (ОТ) взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью осуществляется, главным образом, через ветропесчаный поток (ВПП), который через процессы эрозии почвы и грунта, образование дюн, барханов и ряби на песчаной поверхности формирует пустынные ландшафты и выносит в атмосферу большое количество минерального пылевого аэрозоля [1, 2].

Основным процессом в ветропесчаном потоке является сальтация — скачкообразные перемещения песчинок, которые выбивают с ПП [2] частицы пылевого (грубодисперсного) аэрозоля. Пылевой

аэрозоль (ПА) заметно трансформирует радиационный режим атмосферы [3], взаимодействует с облачностью, участвует в различных физико-химических процессах, влияет на здоровье населения и процессы в биосфере [4].

Сальтация возникает при воздействии воздушного потока на ПП, когда скорость ветра превышает так называемую пороговую скорость сальтации и крупные частицы с размерами больше 50–60 мкм отрываются от ПП (аэродинамическое инициирование сальтации) [1, 2]. Далее ускоренные ветром крупные частицы либо отскакивают от ПП, либо выбивают с ПП новые сальтирующие частицы, либо остаются на ПП [1, 2]. При неизменной скорости ветра, что легко реализуется в ветровых каналах, наблюдается режим стационарной сальтации. На опустыненных территориях наблюдается согласованная низкочастотная изменчивость многих характеристик ветропесчаного потока, включая электрические характеристики, а также характеристики эмиссии пылевого аэрозоля в ветропесчаном потоке, ко-

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: gengor@ifaran.ru

торые определяются вариациями горизонтальной компоненты скорости ветра в приземном слое атмосферы с периодами примерно от 30 с до 30 мин [5–7].

Процессы в ВПП недостаточно изучены. До сих пор не получили удовлетворительного объяснения некоторые существенные наблюдаемые особенности сальтации. В [8] и ряде других работ установлено, что вертикальная компонента скорости вылета сальтирующих частиц с ПП слабо зависит от скорости ветра и, соответственно, от динамической скорости (скорости трения). В [9] показано, что наблюдаемый избыток “высокоскоростных” частиц (по сравнению со статистической отскоков от твердой поверхности) нельзя объяснить простыми отскоками от песчаной ПП, а для процесса выбивания новых частиц необходим дополнительный источник энергии. Обнаружено [10], что значительная доля эмиссии ПА, образующего при сальтации, является продуктом абразии крупных частиц полевых шпатов и кварца, что возможно только при воздействии на ПП высокоскоростных частиц. Согласно утверждению J.F. Kok и N.O. Renno [11], существующие значительные расхождения между классической теорией сальтации и экспериментом могут быть устранены, если учесть электрические процессы в ВПП. Показано [11], что благодаря электризации ВПП снижается пороговая скорость сальтации, увеличивается интенсивность сальтации и расчетные траектории сальтирующих частиц при учете электризации лучше согласуются с наблюдаемыми.

Ветропесчаный поток отличается аномально высокой электризацией [12–15]. О степени электризации ВПП можно судить по данным измерений среднего удельного заряда сальтирующих частиц [12]  $\gamma = q/m$ , где  $q$  и  $m$  – накопленные в ловушке Фарадея [12] заряд и масса частиц. Удельный заряд в [12] оказался равным +60 мкКл/кг, что соответствует среднему заряду на частице +280 фемтокулон, поскольку средний размер песчинок был равен 150 мкм [12]. Большой интерес представляет оценка напряженности электрического поля на поверхности и вблизи заряженной сальтирующей частицы:

$$E_{ps} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

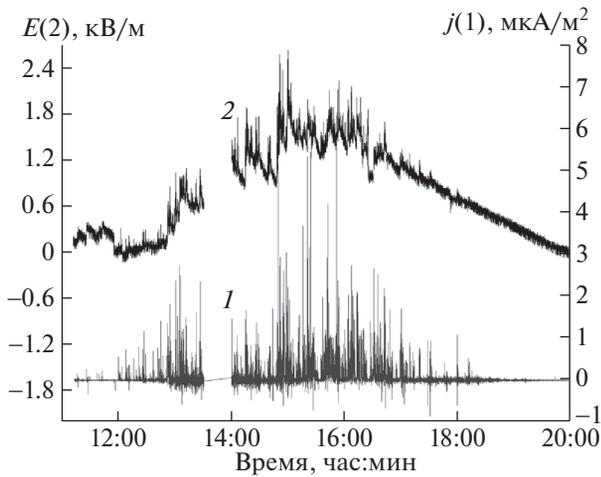
где  $q$  и  $r$  – электрический заряд и радиус частицы,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость воздуха, которая близка к единице ( $(4\pi\epsilon_0)^{-1} = 9 \times 10^9 \text{ Н м}^2/\text{Кл}^2$ ). Учитывая известную величину  $r = 75 \text{ мкм}$ , получим, что в приближении идеального шара напряженность электрического поля на поверхности указанной частицы примерно равна 450 кВ/м. Отметим, что благодаря неоднородностям на поверхности максимальная напряженность поля на

частице может намного превышать вышеуказанное значение. Таким образом, в ветропесчаном потоке находятся источники локального электрического поля, напряженность которого достигает 400–500 кВ/м и даже в несколько раз больше.

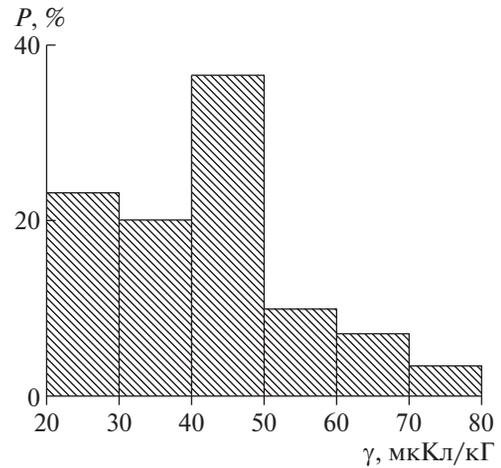
Когда электрическое поле вблизи предметов с большой кривизной на поверхности составляет примерно 30 кВ/м, возникают коронные разряды, которые часто обнаруживаются по специфическому свечению в виде короны (“огни Святого Эльма”) [16].

В настоящей работе по данным измерений в ВПП на опустыненных территориях установлено, что накопленные на подстилающей поверхности электрические заряды вносят существенный вклад в напряженность электрического поля в приповерхностном слое атмосферы, а объемный заряд генерируемых в ВПП частиц ПА коррелирует с плотностью электрического тока сальтации [6]. Получено эмпирическое распределение удельного заряда ( $U3$ ) в условиях квазинепрерывной сальтации. С использованием полученных ранее результатов [5, 6, 13] показано, что в диапазоне периодов примерно от 30 с до 30 мин вариации концентрации сальтирующих частиц, концентраций и градиента концентрации частиц ПА, а также электрических характеристик ВПП, включая электрические токи сальтации (ЭТС), объемный заряд частиц ПА и напряженность электрического поля (НЭП) в приповерхностном слое атмосферы (ППСА) определяются низкочастотной изменчивостью горизонтальной компоненты скорости ветра (ГКСВ). Предложена простая модель вылета песчинки с подстилающей поверхности при электрическом разряде. Показано, что скорость вылета может превышать 1 м/с.

Движение заряженных сальтирующих частиц создает квазигоризонтальные ЭТС [13], которые примерно на 6 порядков превышают вертикальный электрический ток хорошей погоды. На рис. 1 показан дневной ход плотности ЭТС  $j$  (кривая 1), построенный по данным измерений на высоте 2 см 15.08.2009 на ОТ в Астраханской обл. [6]. Наблюдаемая изменчивость  $j$  с амплитудой до 5 мкА/м<sup>2</sup> и периодами вариаций с длительностью до 30 мин и меньше характерна для режима всплесковой [5] или перемежающейся сальтации. Отметим, что токи сальтации с средней плотностью тока порядка 1 мкА/м<sup>2</sup> наблюдаются регулярно [5, 6, 13, 15]. В ВПП на ОТ в ряде случаев наблюдались большие значения НЭП ( $E$ ) [12, 14]. В [12] по данным измерений на высоте 1.7 см зарегистрировано значение  $E = +167 \text{ кВ/м}$ , при котором действующая на песчинку с размером 150 мкм и удельным зарядом +60 мкКл/кг электрическая сила компенсирует силу тяжести (условие невесомости для сальтирующей песчинки).



**Рис. 1.** Дневной ход плотности электрического тока сальтации на высоте 2.0 см (1) и напряженности электрического поля на высоте 2.5 см (2) по данным измерений на опустыненной территории в Астраханской обл. 15.08.2009.



**Рис. 2.** Эмпирическое распределение вероятностей удельного заряда на высоте 5 см в условиях квазинепрерывной сальтации по данным измерений на опустыненной территории в Астраханской обл. 23.08.2011.

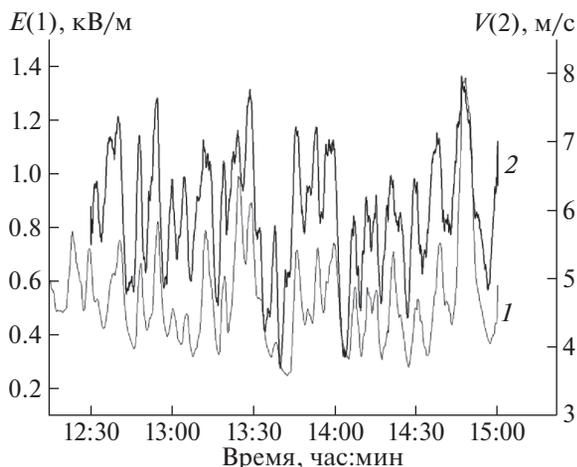
Пример временной изменчивости  $E$  по данным измерений 15.08.2009 на высоте 2.5 см представлен на рис. 1 (кривая 2). Напряженность поля  $E$  определялась с помощью “Измерителя напряженности электрического поля ЭСПИ-301А” (ООО МПО “Омега инжиниринг”, г. Москва). В наблюдаемую на высоте 2.5 см напряженность электрического поля вносят вклады заряды сальтирующих частиц в слое от 0 до 2.5 см, о чем свидетельствуют вариации  $E$  с периодами до 30 мин. Медленно меняющаяся в течение дня компонента  $E$  обусловлена эволюцией плотности поверхностного заряда  $\sigma$ , которая 15.08.2009 достигала  $+25 \text{ нКл/м}^2$  [6]. Следует отметить, что при появлении вблизи пункта наблюдения несущих большие заряды вихревых структур (“внешний” источник поля), как, например, пылевые смерчи с вертикальной осью (“dust devils”), максимальная напряженность поля может составлять десятки кВ/м [14].

Для оценки влияния электризации ВПП на динамику сальтации необходимо изучить изменчивость удельного заряда сальтирующих частиц [5, 15]. В [15] по данным измерений на высоте 5 см 27.07.2014 на опустыненной территории в Калмыкии в условиях всплесковой сальтации для режима с неотрицательным током сальтации показано, что УЗ сальтирующих частиц менялся от  $+10 \text{ мкКл/кг}$  до  $+150 \text{ мкКл/кг}$  (среднее значение  $+48.5 \text{ мкКл/кг}$ ). В общем случае ЭТС являются знакопеременными и поэтому возникает необходимость введения дополнительных параметров для характеристики изменчивости УЗ. Кроме среднего УЗ введем среднее значение модуля УЗ  $|\gamma|$  и среднее значение УЗ  $\gamma_+$  для периодов положительного тока сальтации. В частности, 23.08.2011

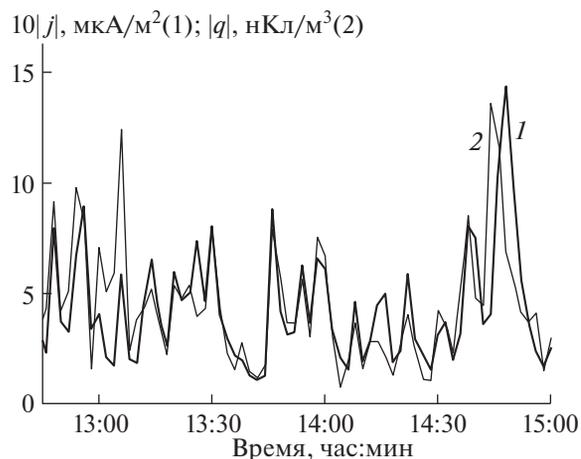
на ОТ в Астраханской обл. по данным измерений на высоте 5 см в период с 14:06 до 16:00 в условиях квазинепрерывной сальтации УЗ менялся от  $+20 \text{ мкКл/кг}$  до  $+80 \text{ мкКл/кг}$ . Средние значения  $\gamma$ ,  $|\gamma|$   $\gamma_+$  оказались равными  $+42.3$ ,  $+63.6$  и  $+52.9 \text{ мкКл/кг}$  соответственно. По данным измерений 23.08.2011 получено эмпирическое распределение вероятностей для УЗ сальтирующих частиц (рис. 2), которое свидетельствует, в частности, о том, что УЗ нельзя считать постоянной величиной.

В [5] по данным измерений в Калмыкии 27.07.2014 на высоте 5 см показано, что синхронные всплески концентрации сальтирующих частиц и плотности ЭТС с периодами примерно от 30 с до 10 мин обусловлены порывами ГКСВ ( $V$ ) с амплитудой, превышающую пороговую скорость сальтации ( $5.0\text{--}5.5 \text{ м/с}$ ). О заметном влиянии  $V$  на напряженность поля  $E$  можно судить по данным синхронных измерений  $V$  и  $E$  13.08.2015 на ОТ в Астраханской обл. в условиях квазинепрерывной сальтации (рис. 3).

В [15] на ОТ Астраханской обл. получены вертикальные профили накопленных зарядов и массы сальтирующих частиц в диапазоне высот от 3 до 42 см. Оказалось, что средний УЗ снижается в слое от 5 до 22 см, а в слое от 22 до 42 см заметно увеличивается. В отличие от уровня 5 см, где доля положительных зарядов достигала 0.81, в слое от 22 до 42 см она снижалась примерно до 0.35. Снижение массовой концентрации сальтирующих частиц в слое от 22 до 42 см больше чем на порядок при сравнительно небольшом уменьшении суммарного заряда сальтирующих частиц свидетельствует о том, что на этих высотах основной вклад в массовую концентрацию вносят алеври-



**Рис. 3.** Временная изменчивость напряженности электрического поля на высоте 4 см (1) и горизонтальной компоненты скорости ветра (2) на высоте 2 м по данным измерений 13.08.2015 на опустыненной территории в Астраханской обл. (время осреднения 120 с).



**Рис. 4.** Временная изменчивость модуля плотности электрического тока сальтации (1) и модуля объемного заряда частиц пылевого аэрозоля (2) на высоте 4 см по данным измерений 13.08.2015 на опустыненной территории в Астраханской обл. (время осреднения 120 с).

товые частицы с размерами 50–60 мкм, что подтверждается приведенными в [17] результатами измерений в приземном слое атмосферы распределения крупных частиц по размерам на высотах от 0.125 до 16 м.

Заметный вклад в суммарный заряд могут вносить генерируемые на подстилающей поверхности частицы минерального грубодисперсного и тонкодисперсного аэрозоля [18]. Если принять, что напряженность локального электрического поля на частицах ВПП составляет определенную долю от напряженности электрического пробоя атмосферного воздуха  $E_0 = 3.0$  МВ/м [16, 19]:  $E_p = \eta_p E_0$ , то из  $E_p(r) = \text{const}$ , следует, что  $\gamma r = \text{const}$  и, следовательно, удельный заряд  $\gamma$  пропорционален  $r^{-1}$ .

В 2015 г. на ОТ в Астраханской обл. в ВПП были выполнены синхронные измерения ЭТС и объемного заряда, переносимого частицами ПА. На рис. 4 показаны сглаженные вариации  $j$  и объемного заряда аэрозольного компонента ВПП (частицы пылевого аэрозоля), которые коррелируют друг с другом (коэффициент корреляции 0.66). В [15] было показано, что модули плотности ЭТС коррелируют друг с другом теснее, чем сами значения плотности ЭТС. При известных значениях скорости ветра в приповерхностном слое атмосферы и объемного заряда нетрудно определить плотность тока, переносимого частицами ПА или “аэрозольного тока”. Измерение объемного заряда ПА проводились на ОТ в Калмыкии 30.07.2014 на высотах 5, 12 и 30 см, на ОТ в Астраханской обл. в период с 12.08 по 20.08.2015 в течение 5 дней на высотах 4 и 32 см и в период с 5.08

по 28.08.2016 в течение 6 дней на высотах 5 и 32 см. Измерения проводились с использованием модифицированных проточных ловушек Фарадея с большей эффективной площадью поверхности приемного электрода, на котором осаждаются частицы ПА.

При столкновении упомянутой выше песчинки с размером 150 мкм и зарядом +280 фКл с находящимися на ПП частицами алевритовой и песчаной фракций и частицами минеральной пыли может произойти перераспределение зарядов между сталкивающимися частицами, которое приведет к локальному повышению напряженности электрического поля и последующему пробую. Как известно, при атмосферном давлении возникают коронные разряды [19]. В [19] показано, что в импульсе коронного разряда выделяется электрический заряд (положительный или отрицательный) величиной порядка десятков пикокулон. Согласно современным исследованиям коронные разряды могут заметно отличаться друг от друга.

В технике, например, используется “барьерный разряд”, который по своим характеристикам похож на коронный разряд (см., например, В.Г. Самойлович, В.Н. Гибалов, К.В. Козлов. Физическая химия барьерного разряда М.: МГУ, 1989). В ВВП на ОТ наблюдаются электрические разряды, близкие коронному разряду. Детальные особенности этих разрядов не изучены. С учетом этих обстоятельств далее будем называть электрические разряды на ПП коронными.

Коронные разряды происходят на заостренных предметах [16, 19]. Напряженность электрического поля на вершине острия  $E_{\text{кор}}$  больше ло-

кального электрического поля  $E$  в атмосфере (в нашем случае больше  $E_p$ ):

$$E_{\text{сог}} = \zeta E.$$

Степень усиления поля  $\zeta$  (по терминологии [19]) может достигать  $10^4$  и даже больше. Зависимость  $\zeta$  от геометрического фактора  $K_0$  приведена в [19].  $K_0$  зависит от отношения радиуса кривизны и длины острия  $l_0$ . В случаях столкновения частиц можно предположить, что  $K_0 \cong r_1/r_2$ , где  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы большой и малой частиц. При локальной напряженности электрического поля 400–500 кВ/м для электрического пробоя и возникновения коронного разряда достаточно иметь  $K_0 = 7–8$  (с учетом несферичности частиц еще меньше).

Инициирование сальтации могут обеспечить электрические разряды на ПП. Предположим, что при коронном разряде на ПП высвободился электрический заряд  $q_1 = +20$  пКл, а на вылетающей с ПП (или отскакивающей с ПП) песчинки имеется заряд  $q_2 = +280$  фКл и УЗ, равный +60 мкКл/кг. Поэтому на указанную песчинку будет действовать электрическая сила

$$F_E = q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 \epsilon z^2,$$

где  $\epsilon = 1.0$  – диэлектрическая проницаемость воздуха, константа  $(4\pi\epsilon_0)^{-1} = 9 \times 10^9$  Нм<sup>2</sup>/Кл и  $z$  – расстояние между центрами зарядов.

Рассмотрим случай, когда разгоняемая электрическим разрядом песчинка вылетает вертикально вверх. Без учета упругой силы, возникающей при соударении с ПП, уравнение движения песчинки имеет вид

$$d^2z/dt^2 = bz^{-2}, \quad (1)$$

где  $b = \gamma q_1 / 4\pi\epsilon_0$ , которое представляет собой “уравнение свободного падения” [20]. В рассматриваемом случае  $b = 10.8 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с<sup>2</sup>. Уравнение (1) имеет решение [20]

$$z \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 + 2b = Cz, \quad (2)$$

где  $C$  – константа. Предположим, что начальное расстояние между центрами зарядов  $z_0 = 0.1d = 15$  мкм. С учетом начальных условий получаем

$$\left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = \frac{2b}{z_0} \left( 1 - \frac{z_0}{z} \right).$$

Асимптотическая скорость ( $z \gg z_0$ ) песчинки  $w_{\text{ас}} = \sqrt{2b/z_0} = 1.2$  м/с, поскольку  $w(z) = w_{\text{ас}} \sqrt{1 - z_0/z}$ . Скорость песчинки достигает  $0.95 w_{\text{ас}}$ , когда она смещается на величину размера частицы  $d = 150$  мкм.

Таким образом, электрические разряды на ПП могут инициировать сальтацию и обеспечить вы-

лет песчинок с ПП со скоростью 1 м/с и больше, что позволяет объяснить “избыток” высокоскоростных частиц [9] в ВПП и абразию частиц некоторых минералов [10]. Характеристики электрических разрядов на ПП не зависят от скорости ветра и скорости трения, что объясняет наблюдаемую слабую зависимость скорости вылета сальтирующих частиц от скорости трения [8].

Параметры задачи  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $d$  и  $z_0$  могут меняться в сравнительно широких пределах, что может привести к большому разбросу скорости вылета сальтирующих частиц.

В рассмотренном нами случае скорость падения частиц на ПП предполагается небольшой. При больших скоростях падения задача усложняется, поскольку скорость вылета будет определяться также особенностями процесса отскока и электрического разряда.

Выделяемый при коронном разряде электрический заряд может распределяться на несколько песчаных (а также алевритовых) частиц и на частицах минеральной пыли. При разрядах на ПП возможны фрагментация частиц и эмиссия заряженного ПА.

Следует отметить, что токи с острий (коронные разряды), которые часто наблюдались как “огни Святого Эльма”, вносят существенный вклад в глобальную атмосферную электрическую цепь.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным измерений в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях в Астраханской обл. и Калмыкии установлено, что изменчивость в диапазоне периодов примерно от 30 с до 30 мин концентраций сальтирующих частиц, частиц минеральной пыли (грубодисперсного аэрозоля) и электрических характеристик ВПП, включая плотность ЭТС, переносимый частицами пылевого аэрозоля объемный заряд и напряженность электрического поля в приповерхностном слое атмосферы, определяется низкочастотными вариациями горизонтальной компоненты скорости ветра. Показано, что плотность электрического заряда на ПП может достигать +25 нКл/м<sup>2</sup>. Получена эмпирическая функция распределения вероятностей удельного заряда для режима квазинепрерывной сальтации.

Предложен механизм инициирования сальтации в ВПП коронным разрядом на ПП. Представлена аналитическая модель выноса частиц в ППСА при коронном разряде, согласно которой скорость выноса может достигать 1 м/с и больше. Показано, что предложенный подход согласуется с результатами современных исследований процессов в ветропесчаном потоке, включая наблюдаемую в экспериментах слабую зависимость вер-

тикальной компоненты скорости вылета сальтирующих частиц с подстилающей поверхности от динамической скорости (скорости трения).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Г.С. Голицына за полезные советы и О.Г. Чхетиани за обсуждение результатов.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 20-17-00214).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shao Y.* Physics and Modeling of Wind Erosion. N. Y.: Springer, 2000. 393 p.
2. *Kok J.F., Parteli E.I.R., Michaels T.I., Bou Karam D.* // Rep. Prog. Phys. 2012. V. 75. P. 1–119.
3. *Tegen I., Lacis A., Fung I.* // Nature. 1996. V. 380. P. 419–422.
4. *Mahowald N., Albani S., Kok J.F., et al.* // Aeolian Research. 2014. V. 15. P. 53–71.
5. *Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В. и др.* // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 01. С. 31–39.
6. *Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M., et al.* // Proc. SPIE, 2020. V. 11560. 1156076.
7. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гуцин Р.А. и др.* // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 2. С. 211–214.
8. *Rasmussen K.R., Sorensen M.* // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. FO2S12.
9. *Ho T.D., Dupont P., El Moctar A.O.E., Valance A.* // Phys. Rev. E. 2012. V. 85. 052301.
10. *Huang Y., Kok Y.F., Martin R.Y., et al.* // Atmos. Chem. Phys. 2019. V. 19. P. 2947–2964.
11. *Kok J.F., Renno N.O.* // Phys. Rev. Letters. 2008. V. 100. 014501.
12. *Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D.* // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. No D8. P. 8997–9001.
13. *Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М. и др.* // ДАН. 2006. Т. 410. № 2. С. 259–262.
14. *Bo T.G., Zheng X.-Y.* // Aeolian Res. 2013. V. 8. P. 39–47.
15. *Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В. и др.* // ДАН. 2014. Т. 456. № 4. С. 476–480.
16. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Электричество. М.: Наука. ФМЛ. 1983. 687 с.
17. *Семенов О.Е.* Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК, 2011. 580 с.
18. *Малиновская Е.А., Чхетиани О.Г., Панчишкина И.Н. и др.* // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 502. № 2. С. 69–78.
19. *Смирнов В.В.* Ионизация в тропосфере. С.-Петербург. Гидрометеиздат. 1992. 312 с.
20. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Физматгиз, 1961. 703 с.

## WINDNSAND FLUX ELECTRIZATION ON DESERTIFIED AREAS

**G. I. Gorchakov<sup>a, #</sup>, V. M. Kopeikin<sup>a</sup>, A. V. Karpov<sup>a</sup>, R. A. Gushchin<sup>a</sup>, O. I. Datsenko<sup>a</sup>, and D. V. Buntov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: gengor@ifaran.ru*

Presented by Academician of the RAS G.S. Golitsyn December 30, 2021

Using measurement data in a windsand flux on desertified areas in the Astrachan oblast and Kalmykia it is established that a time variability of saltating and dust aerosol particle concentrations and electric characteristics of the windsand flux including electric saltation currents, a volume charge of the dust aerosol and an electric field in the near surface layer of the atmosphere for periods from 30 s to 30 min approximately are determined by variations of the horizontal wind velocity component. It is shown that electric charge surface density reaches +25 nC. An empirical probability distribution of a specific charge for the quasi-continuous saltation has been received. A saltation initiation mechanism by electric discharges on the underlayer surface has been proposed and an analytical model of a particle lift-off in the nearsurface layer of the atmosphere by corona discharges has been received. It is shown that saltating particle velocity can exceed 1 m/s.

*Keywords:* desertification, windsand flux, windsand flux electrization, electric field, surface charge density, electric currents of saltation, specific charge, dust aerosol emission, volume charge of dust aerosol, corona discharge, electric saltation initiation, saltating particle launch velocity