

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510

**Влияние ветра на распределение сальтирующих частиц
по размерам**

**Г.И. Горчаков¹, Д.В. Бунтов¹, А.В. Карпов¹, В.М. Копейкин¹,
С.Ф. Мирсаитов², Р.А. Гуштин^{1,2}, О.И. Даценко^{1,2*}**

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²МИРЭА – Российский технологический университет
119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78

Поступила в редакцию 20.06.2019 г.

В ветропесчаном потоке на опустыненной территории в Астраханской обл. выполнены измерения распределений по размерам сальтирующих алевритовых и песчаных частиц, которые аппроксимируются суммой логнормальных распределений для алеврит-песчаной и алевритовой фракций. В условиях квазинепрерывной сальтации определена пороговая скорость ветра для полной концентрации частиц. Обнаружена зависимость пороговой скорости от размера сальтирующих частиц. Получены эмпирические аппроксимации зависимостей от скорости ветра суммарной счетной концентрации и дифференциальных концентраций алевритовых и песчаных частиц.

Ключевые слова: ветропесчаный поток, сальтирующие алевритовые частицы, квазинепрерывная сальтация, распределение алевритовых и песчаных частиц по размерам, алеврит-песчаная фракция, алевритовая фракция, зависимость пороговой скорости от размера частиц; windsand flux, saltating aleurite particles, quasi-continuous saltation, aleurite and sand particle size distribution, aleurite-sand mode, aleurite mode, threshold velocity dependence from the size particle.

Введение

С изменениями климата тесно связаны процессы опустынивания [1], обусловленные взаимодействием атмосферы с подстилающей поверхностью, которое на песчаных опустыненных территориях осуществляется главным образом через ветропесчаный поток (от поземки до песчаной бури) [2–8]. В ветропесчаном потоке основным процессом является сальтация (скачкообразное перемещение песчинок) [9–19], благодаря которой в атмосферу выносятся частицы минеральной пыли с размерами меньше ~10 мкм. Выделяют два режима сальтации и генерации аэрозоля на подстилающей поверхности [20–24]: всплесковый (intermittent) и квазинепрерывный (non-intermittent). В настоящее время много внимания уделяется исследованиям влияния турбулентности [25–28] и мелкомасштабных неоднородностей на подстилающей поверхности (рябь и мелкая рябь) [29–31], а также процессов электризации [32–36] на параметры сальтации, включая распределение сальтирующих частиц по размерам [37, 38].

При исследовании распределения сальтирующих частиц по размерам в ветропесчаном потоке на опустыненной территории вблизи р. Волги обнаружена алевритовая фракция частиц [37, 38]. Согласно геологическим классификациям [39, 40] песчаная фракция частиц (песок) размерами больше ~100 мкм относится, наряду с минеральной пылью, к обломочным породам [39]. Частицы размерами от 10 до 100 мкм относятся еще к одной обломочной породе – алеврит (aleurite или silt) [39, 40]. Распределение по размерам частиц алевритовой и песчаной фракций в ветропесчаном потоке на опустыненной территории измерялось с помощью четырехканального фотоэлектрического счетчика сальтирующих частиц [41] в диапазоне от 33 до 400 мкм. Программное обеспечение автоматизированного счетчика позволяло получить функцию распределения частиц по размерам с любым заданным разбиением по интервалам размеров.

В данной работе используется равномерное распределение интервалов по логарифмам размеров $\Delta \ln D = 0,1$, где D – размер частицы, что соответствует изменению D примерно на 10% в каждом интервале. Высокое разрешение по размерам дает возможность подробно изучать форму функции распределения сальтирующих алевритовых и песчаных частиц.

Форма функции распределения сальтирующих частиц может зависеть от состояния грунта (минералогический и гранулометрический состав, плотность,

* Геннадий Ильич Горчаков (gengor@ifaran.ru); Дмитрий Владимирович Бунтов (dbunt@mail.ru); Алексей Владимирович Карпов (karпов@ifaran.ru); Владимир Михайлович Копейкин (kopeikin@ifaran.ru); Сергей Фаритович Мирсаитов (msf_25@mail.ru); Роман Альбертович Гуштин (roma-max7@mail.ru); Олег Игоревич Даценко (datoleg@yandex.ru).

влажность и др.), высоты переноса частиц и скорости ветра в приземном слое атмосферы.

Цель нашей работы — исследование влияния вариаций скорости ветра в приземном слое атмосферы на суммарную концентрацию и на функцию распределения по размерам сальтирующих алевритовых и песчаных частиц в условиях квазинепрерывной (неперемежающейся) сальтации.

Сальтация и возникающая под ее воздействием генерация минерального аэрозоля на подстилающей поверхности являются нелинейными пороговыми процессами. Согласно данным экспериментальных и теоретических исследований пороговая скорость сальтации V_0 на высоте 1–2 м (по Багнольду [2], примерно 4 м/с) зависит от эффективного (среднего) размера частиц. В ряде исследований [8, 10, 15] показано, что V_0 также зависит от механизма инициирования сальтации. Однако более существенно влияние на V_0 мелкомасштабных неоднородностей (ряби и мелкой ряби) на подстилающей поверхности [10, 29–31].

Часто вместо средней скорости ветра на заданной высоте при исследовании процесса сальтации используется динамическая скорость, или скорость трения u_* [42], которая в условиях квазистационарной сальтации сравнительно тесно коррелирует со средней скоростью ветра [10].

Отметим, что динамика сальтации алевритовых частиц может заметно отличаться от динамики сальтации частиц песчаной фракции, что обусловлено зависимостью инерционности частиц от их размеров.

В настоящей работе кратко рассмотрены условия, при которых выполнялось исследование сальтации. По данным измерений на опустыненной территории получено распределение по размерам сальтирующих алевритовых и песчаных частиц. Предложена аппроксимация наблюдаемых распределений суммой двух логнормальных распределений (для алеврит-песчаной и алевритовой фракций). Даны оценки пороговой скорости ветра для суммарной счетной концентрации и дифференциальных счетных концентраций алевритовых и песчаных частиц. Получены зависимости дифференциальных счетных концентраций частиц алевритовой и песчаной фракций ветропесчаного потока от скорости ветра. Предложены линейные аппроксимации зависимостей дифференциальных счетных концентраций от скорости ветра.

Условия измерений

Измерения функции распределения сальтирующих частиц по размерам проводились на опустыненной территории в Астраханской обл. вблизи р. Волги с 15 по 24 августа 2011 г. В настоящей работе проанализированы результаты измерений в ветропесчаном потоке на высоте 6 см суммарной концентрации сальтирующих частиц N и дифференциальных счетных концентраций $g(D)$ (D — размер частицы в диапазоне от 33 до 330 мкм) 23 августа 2011 г. с 11:05 до 12:05 и с 15:06 до 16:06 (концентрации частиц с размерами больше 330 мкм оказались пренебрежимо малы).

На рис. 1, *a* представлены результаты измерений суммарной счетной концентрации N частиц с 15:06 до 16:06, когда она менялась в сравнительно широких пределах от 0 до 1500 дм^{-3} . Близкие к нулю значения N наблюдались в течение сравнительно коротких промежутков времени, что не позволило определить непосредственно по данным синхронных наблюдений концентрации и скорости ветра V (рис. 1, *б*) пороговую скорость ветра V_0 . Таким образом, в этом случае сальтацию можно считать квазинепрерывной. Аналогичная ситуация наблюдалась в период с 11:05 по 12:05.

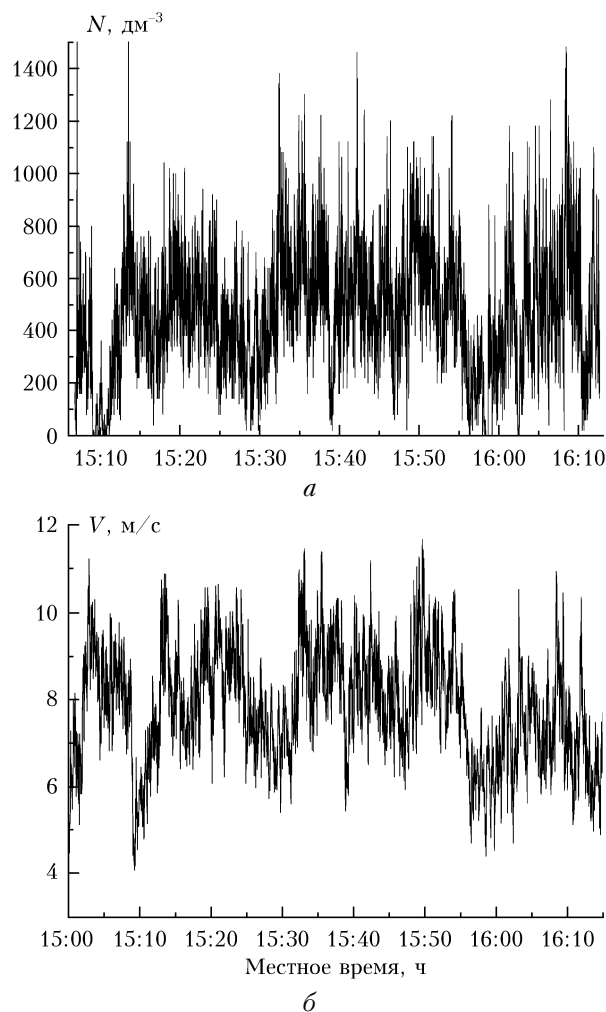


Рис. 1. Вариации суммарной счетной концентрации сальтирующих частиц на высоте 6 см (*a*) и скорости ветра на высоте 2 м (*б*) по данным измерений 23 августа 2011 г. с 15:06 по 16:06 на опустыненной территории вблизи р. Волги (временное разрешение 1 с)

Вариации счетной концентрации N отличаются сильной временной изменчивостью на масштабах от секунд до десятков минут, что обусловлено сильными вариациями скорости ветра (рис. 1, *б*). О вариациях счетной концентрации N и скорости ветра V с 11:05 по 12:05 и с 15:06 по 16:06 можно судить по соответствующим эмпирическим функциям распределения (ЭФР) (рис. 2). Были рассчитаны статисти-

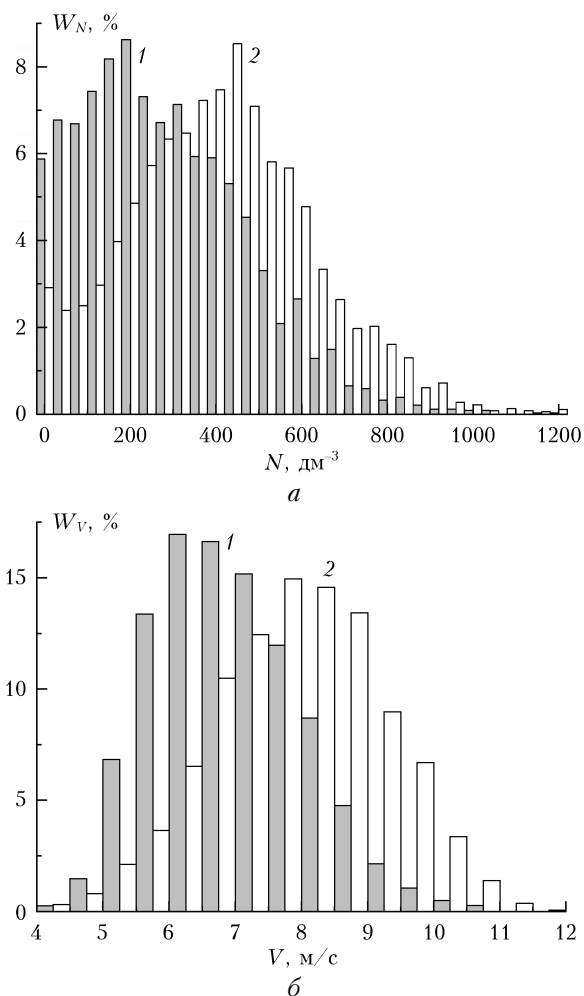


Рис. 2. Нормированные эмпирические функции распределения суммарной концентрации сальтирующих частиц (а) и скорости ветра (б) на пустынной территории Астраханской обл. по данным измерений 23 августа 2011 г.: 1 – с 11:05 по 12:05; 2 – 15:06 по 16:06

ческие характеристики вариаций N и V (табл. 1) для вышеуказанных периодов времени, включая средние значения, а также коэффициенты вариаций (отношение стандартного отклонения к соответствующему среднему значению), параметры асимметрии и эксцесса [43]. ЭФР скорости ветра отличаются малыми значениями эксцесса и сравнительно малой асимметрией, что свидетельствует об их близости к нормальным распределениям. ЭФР счетных концентраций частиц более асимметричны (рис. 2, а).

В табл. 1 приведены также максимальные значения N и V (при временном разрешении 1 с). В указанные выше периоды измерений температура воздуха достигала 42 °С, а относительная влажность воздуха не превышала 35%.

Распределение сальтирующих частиц по размерам

На рис. 3, 4 представлены результаты измерений функции распределения сальтирующих частиц $g(\ln D)$ в диапазоне размеров 33–330 мкм с разрешением $\Delta \ln D = 0,1$, проводившихся на пустынной территории вблизи р. Волги 23 августа 2011 г. с 15:18 по 15:25 и с 15:25 по 15:32. Суммарные счетные концентрации $N = 500$ и 320 дм^{-3} соответственно; средние скорости ветра были равны 8,8 и 7,25 м/с, а дисперсии скорости ветра – 0,93 и $0,50 \text{ м}^2/\text{с}^2$; максимальные значения дифференциальных счетных концентраций были равны 50 и 33 дм^{-3} .

На рис. 3 и 4 видно, что наряду с сальтирующими песчаными частицами ($D > 100 \text{ мкм}$) в ветропесчаном потоке содержится много алевритовых частиц ($D < 100 \text{ мкм}$).

Полученные распределения $g(\ln D)$ аппроксимируются суммой двух логнормальных распределений, которые можно рассматривать как распределение по размерам g_{as}^* частиц алеврит-песчаной фракции и распределение по размерам g_{al}^* частиц алевритовой фракции. Полное аппроксимирующее распределение $g_t^* = g_{as}^* + g_{al}^*$:

$$g_t^*(\ln D) = \sum_{k=1}^2 \frac{N_k}{\sqrt{2\pi}v_k} \exp\left\{-\frac{(\ln D - \ln D_k)^2}{2v_k^2}\right\},$$

где N_k – суммарные концентрации частиц алеврит-песчаной ($k = 1$) и алевритовой ($k = 2$) фракций; D_k и v_k – соответствующие модальные размеры и параметры, определяющие ширину аппроксимирующих логнормальных распределений.

Расчеты показали, что в рассматриваемые периоды времени модальные размеры D_1 для алеврит-песчаной фракции равны 104,5 и 94,5 мкм, а параметры $v_1 \sim 0,33$ в обоих случаях. Модальные диаметры D_2 для алевритовой фракции оказались равными 47 и 42,5 мкм, а значения параметра v_2 – 0,365 и 0,345 соответственно.

Таблица 1

Статистические характеристики вариаций скорости ветра и суммарной концентрации сальтирующих частиц

Время	Параметр	Статистические характеристики				
		среднее	максимум	коэффициент вариаций	асимметрия	эксцесс
11:05–12:05	$V, \text{ м/с}$	6,90	10,9	0,16	0,41	–0,01
15:06–16:06		7,95	11,7	0,16	–0,10	–0,28
11:05–12:05	$N, \text{ дм}^{-3}$	270	1180	0,71	0,72	0,34
15:06–16:06		400	1400	0,54	0,38	0,23

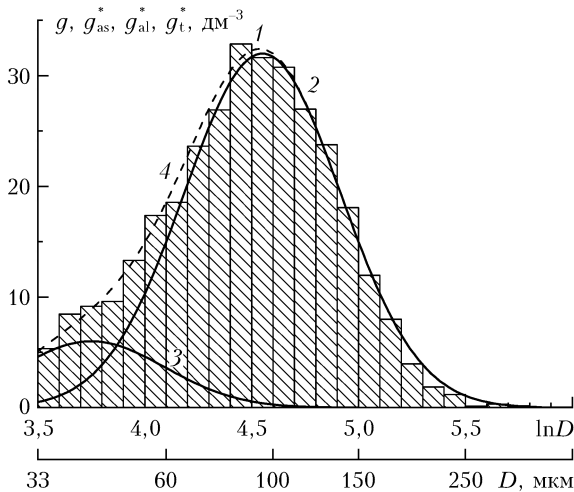


Рис. 3. Распределение сальтирующих частиц по размерам (1); аппроксимирующие логнормальные распределение для алеврит-песчаной (2) и алевритовой фракций (3); суммарное аппроксимирующее распределение (4) для периода измерения с 15:18 до 15:25 23 августа 2011 г.

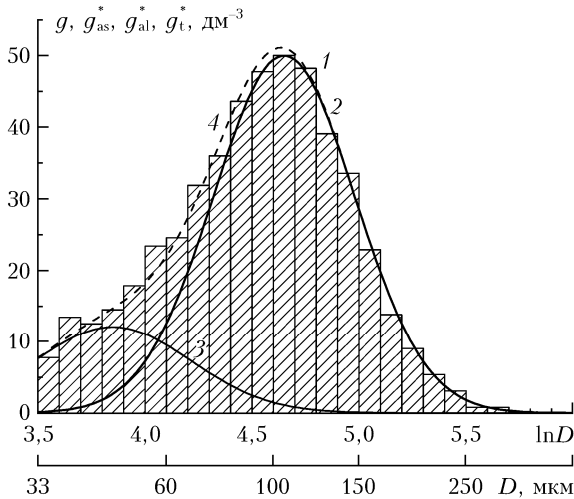


Рис. 4. Распределение сальтирующих частиц по размерам (1); аппроксимирующие логнормальные распределение для алеврит-песчаной (2) и алевритовой фракций (3); суммарное аппроксимирующее распределение (4) для периода измерения с 15:25 до 15:32 23 августа 2011 г.

Для первого периода времени полное аппроксимирующее распределение g_t^* можно представить в виде

$$g_t^*(\ln D) = 50 \exp[-4,59(\ln D - 4,65)^2] + 12 \exp[-3,75(\ln D - 3,85)^2],$$

а для второго периода

$$g_t^*(\ln D) = 32 \exp[-4,59(\ln D - 4,55)^2] + 60 \exp[-4,2(\ln D - 3,75)^2].$$

Из вышеизложенного следует (см. рис. 1–4), что скорость ветра заметно влияет на концентрации алевритовых и песчаных частиц.

Сальтирующие частицы с размерами меньше 100 мкм наблюдались в пустыне Такла-Макан [16], где проводились измерения функции распределения (на высотах 0,1; 0,2; 0,3 м) по размерам в диапазоне от 30 до 667 мкм, включая измерения дифференциальных счетных концентраций сальтирующих частиц средними размерами 39, 54 и 95 мкм.

Большая ширина интервалов размеров ($\Delta \ln D > 0,3$) не дает возможности детально описать форму функции распределения в диапазоне $D < 100$ мкм [16]. Вопрос об изменчивости параметров распределения по размерам частиц алевритовой фракции в [16] не обсуждается.

Интересно, что отношения концентраций частиц размерами 39 и 95 мкм заметно отличаются при сальтации над сухим и влажным грунтом [16].

Влияние ветра на концентрацию сальтирующих частиц

Из представленных на рис. 1–4 результатов следует, что суммарная счетная концентрация частиц существенно зависит от скорости ветра. Для анализа указанной статистической взаимосвязи в нашей работе использовались результаты синхронных измерений (с разрешением 1 с) суммарной счетной концентрации сальтирующих частиц N на высоте 6 см и скорости ветра V на высоте 2 м с 11:05 по 12:05 и с 15:06 по 16:06 23 августа 2011 г. Были рассчитаны средние значения N и V за 5-минутные интервалы времени (рис. 5, а). Статистическая связь между N и V в этом случае описывается линейной регрессией вида

$$N = K_5(V - V_0^{(5)}),$$

где $V_0^{(5)} = 5,05$ м/с – пороговая скорость сальтации. Согласно данным расчетов, $K_5 = 138$ $\text{дм}^{-3} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}$.

Поскольку обусловленные турбулентными пульсациями скорости ветра флуктуации счетной концентрации частиц велики, то коэффициенты регрессии, в частности V_0 , зависят от времени осреднения. На рис. 5, б показана корреляция между N и V для времени осреднения 1 мин. Коэффициенты регрессии в уравнении

$$N = K_1(V - V_0^{(1)})$$

при минутном осреднении равны $K_1 = 140$ $\text{дм}^{-3} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}$ и $V_0^{(1)} = 4,95$ м/с.

Анализ показал, что в рассматриваемом случае полученную линейную связь между N и V не нужно уточнять с помощью нелинейных поправок.

Влияние ветра на дифференциальные счетные концентрации сальтирующих частиц

Выше было показано, что функция распределения сальтирующих частиц по размерам меняется при изменении скорости ветра. Это означает, что

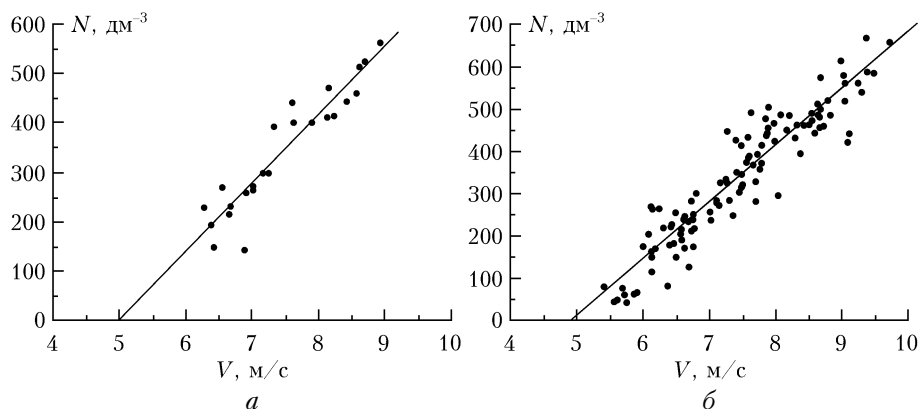


Рис. 5. Корреляционная связь суммарной счетной концентрации сальтирующих частиц со скоростью ветра по данным измерений 23 августа 2011 г. с 11:05 по 12:05 и с 15:06 по 16:06 со временем осреднения 5 (а) и 1 мин (б) (прямые – линейная регрессия)

дифференциальные счетные концентрации частиц разных размеров по-разному зависят от скорости ветра. В частности, могут различаться пороговые скорости ветра.

Были проанализированы статистические связи дифференциальных счетных концентраций сальтирующих частиц (значений функции распределения $g_i(\ln D_i)$, дм^{-3}) на высоте 6 см со скоростью ветра V в приземном слое атмосферы на высоте 2 м по данным измерений 23 августа 2011 г. с 11:05 по 12:05 и с 15:06 по 16:06. Примеры соответствующих корреляционных диаграмм для минутных средних показаны для алевритовых сальтирующих частиц (рис. 6) и для частиц песчаной фракции (рис. 7). Из рис. 6 и 7 следует, что статистические связи между g_i и V

с удовлетворительной точностью описываются линейными регрессиями

$$g_i = k_i(V - V_0^{(i)}).$$

Значения параметров регрессий k_i и $V_0^{(i)}$, а также соответствующие коэффициенты корреляции R_i между g_i и V приведены в табл. 2.

Из таблицы следует, что пороговая скорость ветра зависит от размеров сальтирующих частиц. Полученная зависимость качественно согласуется с результатами лабораторных исследований сальтации с фракциями песчаных и алевритовых частиц разных размеров [1, 10]. В нашем случае минимальное значение пороговой скорости ветра (4,43 м/с) наблюдалось для частиц размерами ~ 70 мкм.

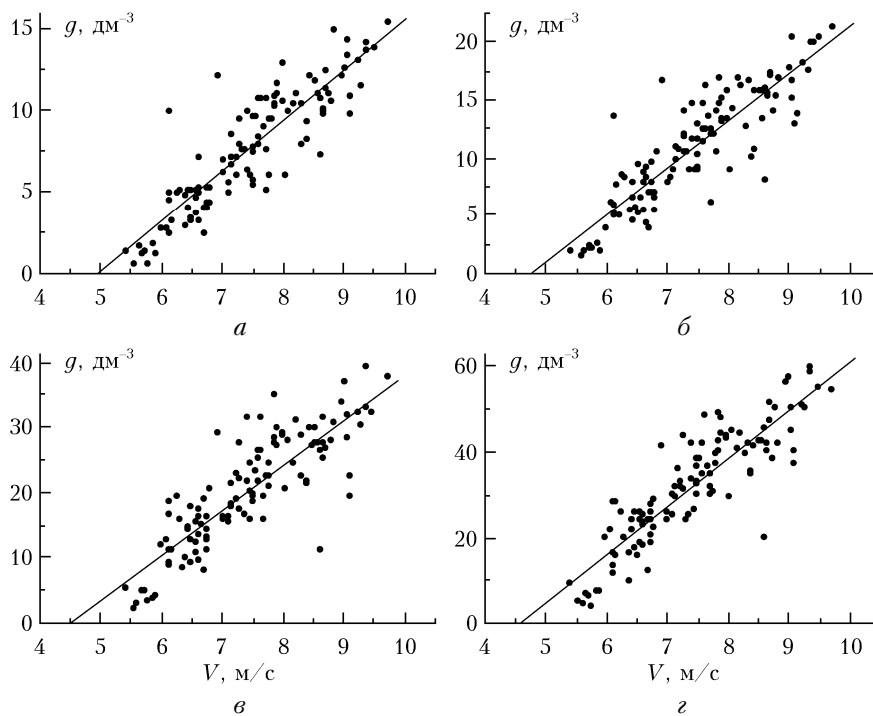


Рис. 6. Корреляционные связи со скоростью ветра дифференциальных счетных концентраций сальтирующих алевритовых частиц размерами 38,5 (а), 47,0 (б), 63,5 (в) и 85,6 мкм (г) со временем осреднения 1 мин (прямые – линейная регрессия)

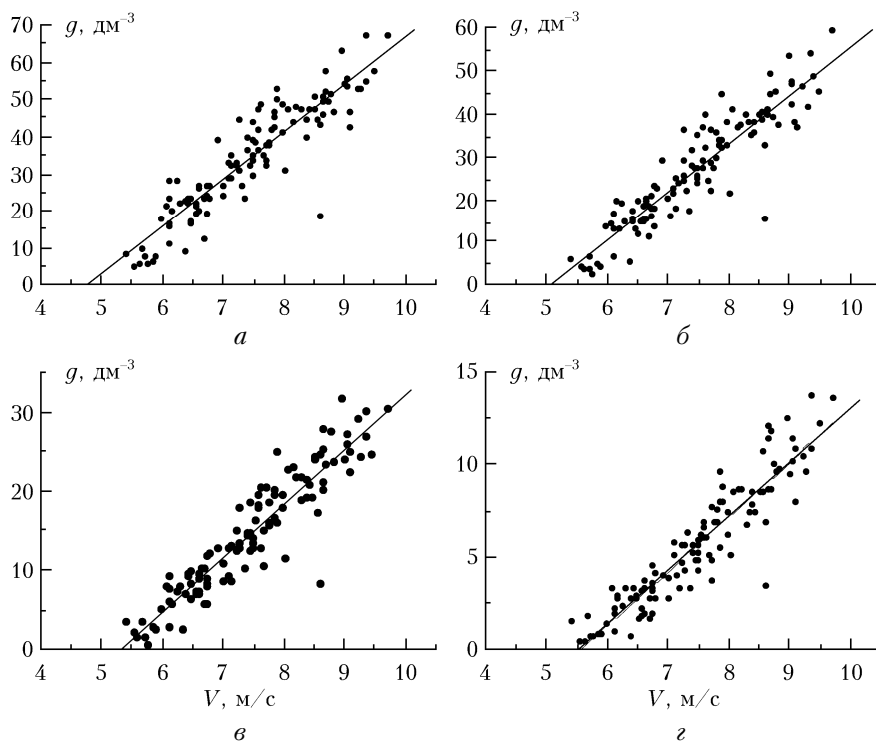


Рис. 7. Корреляционные связи со скоростью ветра дифференциальных счетных концентраций сальтирующих песчаных частиц размерами 105 (а), 128 (б), 156 (в) и 191 мкм (г) со временем осреднения 1 мин (прямые — линейная регрессия)

Таблица 2

Коэффициенты аппроксимаций статистических связей дифференциальных счетных концентраций сальтирующих частиц со скоростью ветра

Параметр	D_i , мкм								
	38,5	47,0	63,4	70,1	85,6	105	128	156	191
k_i , $\text{DM}^{-3} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{c}$	3,12	4,06	6,93	8,16	11,2	12,9	11,4	6,84	2,50
$V_0^{(i)}$, м/с	4,98	4,73	4,49	4,43	4,57	4,79	5,08	5,31	5,55
R_i	0,89	0,87	0,85	0,85	0,88	0,91	0,92	0,93	0,93

С использованием предложенных аппроксимаций были получены оценки процентного отношения η_{al} алевритовых частиц ($D < 100$ мкм) к суммарной счетной концентрации сальтирующих частиц. Оказалось, что при изменении средней скорости ветра от 6 до 10 м/с η_{al} уменьшается с 62,5 до 55%.

Заключение

Исследовано влияние скорости ветра на суммарную счетную концентрацию и дифференциальные концентрации частиц алевритовой и песчаной фракций ветропесчаного потока по данным измерений на опустыненной территории в условиях квазинепрерывной сальтации.

Расчитаны статистические характеристики вариаций суммарной счетной концентрации сальтирующих частиц и скорости ветра в приземном слое атмосферы.

В диапазоне размеров от 33 до 330 мкм измерены дифференциальные счетные концентрации сальтирующих алевритовых и песчаных частиц. Определены

параметры аппроксимации наблюдаемых распределений сальтирующих частиц по размерам суммой двух логнормальных распределений (алеврит-песчаная фракция с модальным диаметром ~ 100 мкм и алевритовая фракция с модальным диаметром ~ 45 мкм).

Определена пороговая скорость ветра для суммарной концентрации сальтирующих частиц (4,95 м/с). Обнаружена зависимость пороговой скорости от размера частиц. Минимальная пороговая скорость ветра в условиях квазинепрерывной сальтации (4,43 м/с) наблюдается для алевритовых частиц средним размером 70 мкм.

Предложены линейные аппроксимации зависимостей от скорости ветра суммарной счетной концентрации и дифференциальных счетных концентраций сальтирующих частиц размерами от 38,5 до 191 мкм.

Установлено, что при увеличении скорости ветра от 6 до 10 м/с вклад алевритовых частиц в суммарную счетную концентрацию уменьшается с 62,5 до 55%.

Авторы благодарят Г.С. Голицына за полезные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00758).

1. *Золотокрылин А.Н.* Климатическое опустынивание. М.: Наука, 2003. 247 с.
2. *Bagnold R.A.* The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen, 1941. 265 p.
3. *Shao Y.* Physics and Modeling of Wind Erosion. New York: Springer, 2000. 393 p.
4. *Zheng X.* Mechanics of Wind Blown Sand Movements. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 290 p.
5. *Горчаков Г.И., Титов А.А., Бунтов Д.В.* Параметры нижнего слоя сальтации на опустыненной территории // Докл. РАН. 2009. Т. 424, № 1. С. 102–106.
6. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Соколов А.В., Бунтов Д.В., Злобин И.А.* Экспериментальное и теоретическое исследование траекторий сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 501–506; *Gorchakov G.I., Karпов A.V., Sokolov A.V., Buntov D.V., Zlobin I.A.* Experimental and theoretical study of the trajectories of saltating sand particles over desert areas // Atmos. Ocean. Opt. 2012. V. 25, N 6. P. 423–428.
7. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Соколов А.В., Бунтов Д.В.* Влияние силы Сэфмана, подъемной силы и электрической силы на перенос частиц в ветропесчаном потоке // Докл. РАН. 2016. Т. 467, № 3. С. 336–341.
8. *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 106901. P. 1–119.
9. *Бютнер Э.К.* Динамика приповерхностного слоя воздуха. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 158 с.
10. *Семенов О.Е.* Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК, 2011. 580 с.
11. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Злобин И.А., Бунтов Д.В., Соколов А.В.* Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Докл. РАН. 2013. Т. 452, № 6. С. 669–676.
12. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Кузнецов Г.А., Бунтов Д.В.* Квазипериодическая сальтация в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 472–477; *Gorchakov G.I., Karпов A.V., Kuznetsov G.A., Buntov D.V.* Quasi-periodic saltation in the windsand flux over desertified areas // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, N 6. P. 501–506.
13. *Morsi S.A., Alexander A.Z.* An investigation of particle trajectories in two-phase flow systems // J. Fluid Mech. 1972. V. 55, N 2. P. 193–208.
14. *White B.R., Schulz J.C.* Magnus effect in saltation // J. Fluid Mech. 1977. V. 81, N 3. P. 497–512.
15. *Rasmussen K.R., Sorensen M.* Vertical variation of particle speed and flux in aeolian saltation: Measurement and modeling // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. N FO2S12. P. 1–12.
16. *Ishizuka M., Mikami M., Leys J.F., Yamada Y., Heidenreich S., Shao Y., McTainsh G.H.* Effects of soil moisture and dried raindrop crust on saltation and dust emission // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. N D24212. P. 1–15.
17. *Huang N., Wang C., Pan X.Y.* Simulation of aeolian sand saltation with rotational motion // J. Geophys. Res. 2010. V. 115, N D22211. P. 1–8.
18. *Leenders J., van Boxel J., Sterk G.* Wind forces and related saltation transport // Geomorphology. 2005. V. 71. N 3–4. P. 357–372.
19. *Creysse M., Dupont P., El Moctar A., Valance A., Cantat I., Jenkins J.T., Pasini J.M., Rasmussen K.R.* Saltating particles in a turbulent boundary layer: Experiment and theory // J. Fluid Mech. 2009. V. 625. P. 47–74.
20. *Горчаков Г.И., Шукуров К.А.* Флуктуации концентрации субмикронного аэрозоля в конвективных условиях // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2003. Т. 39, № 1. С. 85–97.
21. *Singh A., Fienberg K., Jerolmack D.J., Marr J., Foulou-Georgiou.* Experimental evidence for statistical scaling and intermittency in sediment transport rates // J. Geophys. Res. 2007. V. 114, N F01025. P. 1–16.
22. *Stout J., Zobeck T.M.* Intermittent saltation // Sedimentology. 1997. V. 44, N 5. P. 959–970.
23. *Dupont S., Bergamett G., Marticorena B., Simoëns S.* Modeling saltation intermittency // J. Geophys. Res.: Atmos. 2013. V. 118. P. 7109–7128.
24. *Карпов А.В.* Флуктуации микроструктуры грубодисперсного и субмикронного аэрозоля на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 10. С. 844–849.
25. *Li B., McKenna Neuman C.* Boundary-layer turbulence characteristics during aeolian saltation // Geophys. Res. Lett. 2012. V. 39, N L11402. P. 1–4.
26. *Martin R.L., Barchyn T.E., Hugenholtz C.H., Jerolmack D.J.* Timescale dependence of aeolian sand flux observation under atmospheric turbulence // J. Geophys. Res. 2013. V. 118, N 16. P. 9078–9092.
27. *Liu D., Ishizuka M., Mikami M., Shao Y.* Turbulent characteristics of saltation and uncertain of saltation model parameters // Atmos. Chem. Phys. 2018. V. 18. P. 7595–7606.
28. *Ma G.S., Zheng X.J.* The fluctuation property of blown sand particles and the wind-sand flow evolution studied by numerical method // Eur. Phys. J. E. 2011. V. 34, N 54. P. 1–11.
29. *Manukyan E., Prigozhin L.* Formation of aeolian ripples and sand sorting // Phys. Rev. E. 2009. V. 79, N 031303. P. 1–10.
30. *Tong D., Huang N.* Numerical simulation of saltating particles in atmospheric boundary layer over flat bed and sand ripples // J. Geophys. Res. 2012. V. 117, N D16205. P. 1–12.
31. *Gordon M., McKenna Neuman C.* A study of particle splash on developing ripple forms for two bed materials // Geomorphology. 2011. V. 129. P. 79–91.
32. *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.
33. *Kok J.F., Renno N.O.* Electrostatics in wind-blown sand // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100, N 01450L. P. 1–4.
34. *Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульянов А.В.* Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке // Докл. АН. 2006. Т. 410, № 2. С. 259–262.
35. *Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Бунтов Д.В., Соколов А.В.* Удельный заряд сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Докл. РАН. 2014. Т. 456, № 4. С. 476–480.
36. *Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Титов А.А., Бунтов Д.В., Кузнецов Г.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Серегин А.О., Соколов А.В.* Вариации удельного заряда сальтирующих песчинок в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 1. С. 31–39; *Gorchakov G.I., Kopeikin V.M., Karпов A.V., Titov A.A., Buntov D.V., Kuznetsov G.A., Gushchin R.A., Dazenko O.I.,*

- Kurbatov G.A., Seregin A.O., Sokolov A.V.* Variations in the specific charge of saltating sand in a windsand flux over a desertified area // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 3. P. 244–251.
37. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Бунтов Д.В., Тимов А.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Исследование процессов в ветропесчаном потоке на пустынных территориях // Междунар. конф. «Динамика атмосферы и климата»: сб. трудов. М.: Физматкнига, 2018. С. 328–332.
38. *Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Тимов А.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Алевритовая фракция ветропесчанного потока // XXIV Международ. Симпоз. «Оптика атмосф. и океана. Физика атмосферы»: тр. конф. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2018. С. С304–С307.
39. *Pettijohn F.G.* Sedimentary Roccs. New York: Harper, 1957. 526 p.
40. *Музафаров В.Г.* Определитель минералов, горных пород и окаменелостей. М.: Наука, 1979. 328 с.
41. *Бунтов Д.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Четырехканальный фотоэлектрический счетчик сальтирующих песчинок // *Оптика атмосф. и океана.* 2018. Т. 31, № 6. С. 485–488; *Buntov D.V., Gushchin R.A., Dazenko O.I.* Four-channel photoelectric counter of saltating sand particles // *Atmos. Ocean. Opt.* 2018. V. 31, N 5. P. 548–551.
42. *Обухов А.М.* Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 414 с.
43. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.* Краткий курс математической статистики для технических приложений. М.: Физматгиз, 1959. 436 с.

G.I. Gorchakov, D.V. Buntov, A.V. Karpov, V.M. Kopeikin, S.F. Mirsaitov, R.A. Gushchin, O.I. Datsenko. **Wind effect on saltating particle size distribution.**

Saltating aleurite and sand particle size distributions have been measured in a windsand flux over desertified area in Astrakhan oblast and approximated using lognormal distributions for aleurite – sand and aleurite modes. A wind velocity threshold for the total saltating particle concentration during non-intermittent saltation was determined. The threshold velocity dependence on the saltating particle size has been derived. Empirical dependences of the total particle concentration and differential number aleurite and sand particle concentrations on the wind velocity have been received.