ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 496, № 2, с. 137–142

РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

УДК 551.510

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ КОНЦЕНТРАЦИЙ САЛЬТИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

© 2021 г. Г. И. Горчаков[1,*], А. В. Карпов[1], Р. А. Гущин[1,2], О. И. Даценко[1,2], Д. В. Бунтов[1]

Представил академик РАН Г.С. Голицын 03.11.2020 г.
Поступило 03.11.2020 г.
После доработки 20.11.2020 г.
Принято к публикации 23.11.2020 г.

Построены вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц для диапазона изменения скорости ветра в приземном слое атмосферы от 5.5 до 10.5 м/с и профили концентрации алевритовых и песчаных частиц по данным измерений на опустыненной территории в Астраханской области в условиях квазинепрерывной сальтации. В слое сальтации от 0 до 15 см концентрация алевритовых частиц размером 47 мкм убывает в 2 раза медленнее концентрации песчаных частиц размером 156 мкм. В нижнем слое сальтации толщиной около 9 см логарифмический градиент суммарной концентрации не зависит от скорости ветра, а в верхнем слое сальтации изменяется от –0.40 до –0.21 см$^{-1}$ при увеличении скорости ветра в приземном слое атмосферы от 5.5 до 10.5 м/с. Показано, что в отличие от нижнего слоя сальтации на высотах 11 и 15 см зависимости концентрации частиц от скорости ветра оказались нелинейными. Для нижнего и верхнего слоев сальтации получены аппроксимации концентрации сальтирующих частиц как функции высоты, скорости ветра и пороговой скорости сальтации.

Ключевые слова: опустынивание, сальтация, концентрация сальтирующих частиц, песчаная фракция, алевритовая фракция, вертикальный профиль концентрации

DOI: 10.31857/S2686739721020067

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с потеплением климата много внимания уделяется теоретическим и экспериментальным исследованиям выноса в атмосферу пылевого аэрозоля с опустыненных территорий при воздействии ветропесчанного потока на подстилающую поверхность [1–3] и конвективно обусловленного выноса из аридных регионов [4–6], суммарная мощность которых сравнима по порядку величины [1]. Большой интерес представляют конвективные движения различных масштабов в турбулентной атмосфере, содержащей грубодисперсный аэрозоль и песчаную фракцию частиц [2–7].

С опустыненных территорий при воздействии на подстилающую поверхность ветропесчаного потока, в котором основным процессом является сальтация (скачкообразное перемещение песчинок), в атмосферу выносится большое количество пылевого аэрозоля [1, 8, 9]. Согласно данным измерений на опустыненной территории в Астраханской обл. функции распределения сальтирующих частиц по размерам [10] с помощью фотоэлектрического счетчика [11] в ветропесчаном потоке наряду с песчаной фракцией (размеры частиц больше 100 мкм) содержится много сальтирующих алевритовых частиц размером от 30 до 100 мкм. Следует отметить, что согласно геологической классификации алеврит (размеры частиц от 10 до 100 мкм) и минеральная пыль (размеры частиц меньше примерно 10 мкм) наряду с песчаной фракцией частиц относятся к обломочным породам [12]. В [13] по данным измерений на высоте 6 см показано, что концентрация сальтирующих частиц линейно зависит от скорости ветра в приземном слое атмосферы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы являются построение вертикальных профилей суммарной концентрации и концентраций алевритовых и песчаных сальтирующих частиц по данным измерений функции распределения сальтирующих частиц в диапазоне размеров от 30 до 400 мкм на опустыненной территории в Астраханской обл. в услови-

[1] *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия*
[2] *Российский технологический университет, Москва, Россия*
**e-mail: gengor@ifaran.ru*

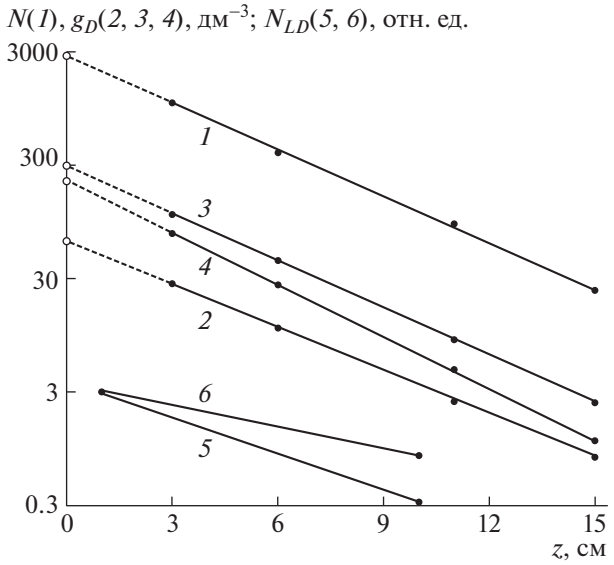

Рис. 1. Зависимость от высоты средней суммарной концентрации сальтирующих частиц (*1*) и дифференциальных счетных концентраций сальтирующих частиц размером 47 (*2*) 105 (*3*) и 156 мкм (*4*) по данным измерений 23.08.11 г. в период с 12:05 по 15:05 на опустыненной территории в Астраханской обл. Нормированные профили средней суммарной концентрации для диапазонов размеров частиц от 100 до 200 мкм (*5*) и от 500 до 600 мкм (*6*) по данным Лиу и Донга [16].

ях квазинепрерывной сальтации [14], аппроксимация полученных профилей, количественная характеристика влияния размера сальтирующих частиц и скорости ветра в приземном слое атмосферы на профили концентраций сальтирующих частиц, а также анализ влияния скорости ветра на концентрации сальтирующих частиц.

Использованы результаты измерений с временным разрешением 1 с функции распределения сальтирующих частиц по размерам, $g(D) = dN(D)/d\ln D$ где D – размер частицы и $N(D)$ – накопленная концентрация частиц, в диапазоне размеров от 33 до 400 мкм с разрешением по размерам $\Delta\ln D = 0.1$, что соответствует изменению D примерно на 10% в каждом интервале размеров, на высотах 3, 11 и 15 см с помощью фотоэлектрического счетчика сальтирующих частиц [11] на опустыненной территории в Астраханской обл. [10, 13] 23.08.2011 г. в период с 12:05 до 15:05, а также результаты измерений 01.09.2011 г. в период с 13:10 до 14:10. Погрешность привязки шкалы фотоэлектрического счетчика в абсолютных единицах (при $D = 100$ мкм) составляет примерно ± 5 мкм. Данные измерений 23.08.11 г. на высоте 7 см не использовались в связи с погрешностями в работе соответствующего канала фотоэлектрического счетчика. При восстановлении вертикальных профилей концентраций сальтирующих частиц 23.08.2011 г. использовались данные измерений в периоды времени с 11:05 до 12:05 и с 15:06 до 16:06, когда проводились синхронные измерения для всех каналов счетчика [11] на высоте 6 см [13]. Компоненты скорости ветра на высоте 2 м измерялись с помощью акустической метеостанции Метео-2 (Институт оптики атмосферы, г. Томск). Согласно данным измерений, среднее значение горизонтальной компоненты скорости ветра в приземном слое атмосферы на высоте 2 м было равно 7.55 м/с, а вероятность значений скорости ветра меньше 5.0 м/с не достигала 2%.

На рис. 1 показаны средние значения суммарной концентрации сальтирующих частиц (*1*) и дифференциальных счетных концентраций частиц 23.08.2011 г. размером 47 (*2*), 105 (*3*) и 156 мкм (*4*), а также соответствующие аппроксимации (прямые на рис. 1). Зависимость суммарной концентрации N от высоты z можно аппроксимировать экспонентой

$$N(z) = N_0 \exp\{-z/z_N\}, \qquad (1)$$

где z_N – масштаб высоты для сальтации и N_0 – концентрация частиц вблизи подстилающей поверхности. Пунктиром на рис. 1 показаны результаты экстраполяции (1) на диапазон высот от 0 до 3 см.

Экспоненциальная аппроксимация сравнительно часто используется для описания вертикальных профилей концентрации сальтирующих частиц на опустыненных территориях [14, 15] и ветровых каналах [16–18], в частности, в [16] для диапазона высот от 1 до 10 см и в [17] для диапазона от 0.5 до 5.0 см. Отметим, что (1) позволяет с удовлетворительной точностью аппроксимировать результаты скоростной видеосъемки вертикального распределения концентрации сальтирующих частиц на опустыненной территории в диапазоне высот от 0 до 38 мм с разрешением 2 мм [15]. Из вышесказанного следует, что аппроксимация (1) может использоваться в диапазоне высот от 0 до 15 см. Расчеты показали, что в рассматриваемом случае (23.08.2011 г.) $N_0 = 2725$ дм$^{-3}$ = = 2.73 см$^{-3}$, $z_N = 3.16$ см и логарифмический градиент концентрации (ЛГК) $\gamma_N = d\ln N(z)/dz = z_N^{-1} = -0.316$ см$^{-1}$. Из (1) также следует, что среднее содержание сальтирующих частиц $Q = \int N(z)dz = N_0 z_N = 8.5$ см$^{-2}$.

Дифференциальные счетные концентрации сальтирующих частиц размером 47, 105 и 156 мкм представляют собой значения функций распределения $g_D(z)$, которые по аналогии с (1) могут быть аппроксимированы экспонентами (рис. 1)

$$g_D(z) = g_0(D)\exp\{-z/z_D\} \qquad (2)$$

с соответствующими масштабами высоты z_D, логарифмическими градиентами γ_D и значениями

указанных функций распределения $g_0(D)$ на уровне подстилающей поверхности.

Для сальтирующих алевритовых частиц значение $g_{47} = g_0$ ($D = 47$ мкм) = 66.7 дм$^{-3}$ и соответствующий ЛГК $\gamma_{47} = -0.30$ см$^{-1}$. Логарифмический градиент для частиц размером 105 мкм $\gamma_{105} = -0.314$ см$^{-1}$ очень близок к логарифмическому градиенту для суммарной концентрации $\gamma_N = -0.316$ см$^{-1}$ ($g_{105} = 281$ дм$^{-3}$). Для частиц песчаной фракции размером 156 мкм ($g_{156} = 211$ дм$^{-3}$) ЛГК $\gamma_{156} = -0.347$ см$^{-1}$, что по абсолютной величине заметно больше, чем для вышеупомянутых алевритовых частиц. При одинаковых концентрациях частиц размером 47 и 156 мкм вблизи подстилающей поверхности на высоте 15 см концентрация алевритовых частиц размером 47 мкм в 2 раза больше концентрации песчаных частиц размером 156 мкм.

Анализ динамики алевритовых и песчаных частиц [18] показал, что наблюдаемая зависимость вертикального градиента концентрации от размера сальтирующих частиц обусловлена, главным образом, влиянием турбулентных пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра на траектории сальтирующих частиц [18, 19].

В [16] для пяти образцов песчаного грунта в ветровом канале были измерены вертикальные профили концентрации сальтирующих частиц для пяти диапазонов размеров частиц: 100–200, 200–300, 300–400, 400–500 и 500–600 мкм (средние значения 150, 250, 350, 450 и 550 мкм) и пяти значений скорости воздушного потока (СВП) в ветровом канале 10, 12, 14, 16 и 18 м/с для диапазона высот от 1.0 до 10.0 см. Профили концентраций в [16] показаны на рисунках и аппроксимированы экспонентами. Отметим, что для отдельных профилей наблюдаются заметные отклонения от полученных аппроксимаций. Среднее значение ЛГК с ростом среднего размера от 150 до 550 мкм монотонно увеличивается с –0.245 до –0.145 см$^{-1}$. На рис. 1 показаны соответствующие нормированные профили $N_{LD}(z)$ для средних размеров частиц 150 (*5*) и 550 мкм (*6*). В нашем случае средний размер сальтирующих частиц равен примерно 100 мкм, и поэтому в ветропесчаном потоке содержится много алевритовых частиц, динамика которых существенно отличается от динамики средних и крупных песчаных частиц [18].

В [13] по данным измерений 23.08.2011 г. на опустыненной территории в Астраханской обл. показано, что на высоте 6 см концентрация N_6 сальтирующих частиц пропорциональна $V–V_0$, где V – горизонтальная компонента скорости ветра в приземном слое атмосферы на высоте 2 м и V_0 – пороговая скорость сальтации. Анализ результатов измерений концентрации сальтирующих на высоте 3 см частиц в период с 12:05 до

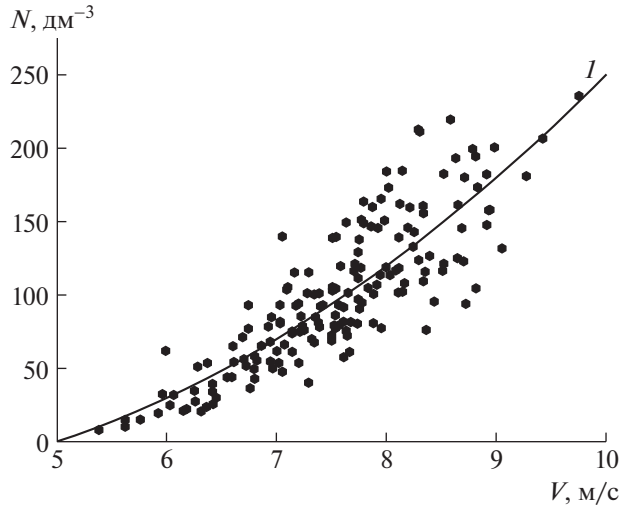

Рис. 2. Корреляционная связь суммарной концентрации сальтирующих частиц (время осреднения 1 мин) на высоте 11 см со скоростью ветра на высоте 2 м (*1* – линия регрессии) по данным измерений 23.08.2011 г. в период с 12:05 по 15:05 на опустыненной территории в Астраханской обл.

15:05 23.08.2011 г. показал, что N_3 также является линейной функцией скорости ветра V:

$$N_3 = K_3(V - V_0), \tag{3}$$

где $K_3 = 415$ дм$^{-3}$м$^{-1}$с и $V_0 = 5.0$ м/с (коэффициент корреляции между N_3 и V равен 0.83).

В отличие от (3) корреляционная связь (рис. 2) концентрации N_{11} сальтирующих на высоте 11 см частиц со скоростью ветра V (время осреднения 1 мин) оказалась нелинейной (кривая *1* на рис. 2):

$$N_{11} = K_{11}^{(1)}(V - V_0) + K_{11}^{(2)}(V - V_0)^2, \tag{4}$$

где $K_{11}^{(1)} = 23.9$ дм$^{-3}$м$^{-1}$с, $K_{11}^{(2)} = 3.5$ дм$^{-3}$ м$^{-2}$ с^2 и $V_0 = 5.0$ м/с.

Детальный анализ показал, что для 23.08.2011 корреляционная связь концентрации частиц N_{15} на высоте 15 см со скоростью ветра имеет вид:

$$N_{15} = K_{15}^{(1)}(V - V_0) + K_{15}^{(2)}(V - V_0)^3, \tag{5}$$

где $K_{15}^{(1)} = 5.2$ дм$^{-3}$ м$^{-1}$с, $K_{15}^{(2)} = 0.625$ дм$^{-3}$ м$^{-3}$ с^3 и $V_0 = 5.0$ м/с. Вклад в N_{15} нелинейной составляющей при $V = 9.0$ м/с достигает 65%. Отсюда следует, что в верхнем слое сальтации на высотах 11 и 15 см на траектории сальтирующих частиц сильно влияет турбулентность, и это влияние растет с увеличением высоты и скорости ветра, что может повлиять на профили концентрации сальтирующих частиц.

Выполнено исследование влияния вариаций скорости ветра V в приземном слое атмосферы на высоте 2 м на профиль суммарной концентрации

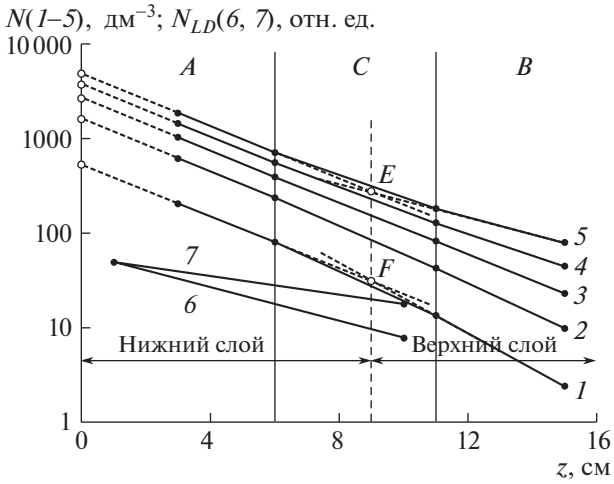

Рис. 3. Вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц для значений скорости ветра в приземном слое атмосферы 5.5 (*1*), 6.5 (*2*), 7.5 (*3*), 8.5 (*4*) и 9.5 м/с (*5*) по данным измерений 23.08.11 г. в период с 12:05 по 15:05 на опустыненной территории в Астраханской обл. (*E* и *F* – точки пересечения экстраполяций вертикальных профилей концентрации в слоях *A* и *B* для значений скорости ветра 9.5 и 5.5 м/с). Нормированные вертикальные профили концентрации частиц крупного песка размером 400–500 мкм для значений скорости воздушного потока 10 (*6*) и 18 м/с (*7*) по данным измерений в ветровом канале [16].

сальтирующих частиц. На рис. 3 показаны вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц 23.08.2011 г. при значениях скорости ветра 5.5 (*1*), 6.5 (*2*), 7.5 (*3*), 8.5 (*4*) и 9.5 м/с (*5*). Пунктиром показаны результаты экстраполяции профилей в слое сальтации от 0 до 3 см.

На рис. 3 выделены диапазоны высот (слои) от 0 до 6 см (*A*), от 11 до 15 см (*B*) и, соответственно, от 6 до 11 см (*C*). Оказалось, что в слое от 0 до 6 см логарифмический градиент концентрации $\gamma_A = -0.315$ см$^{-1}$ не зависит от скорости ветра, что согласуется с результатами измерений [17] для нескольких значений скорости трения или динамической скорости в ветровом канале [20].

Поэтому для слоя сальтации *A* имеем:

$$N_A(z,V) = K_A(V - V_0)\exp\{\gamma_A z\}, \quad (6)$$

где $K_A = 1070$ дм$^{-3}$м$^{-1}$с, $V_0 = 5.0$ м/с и $\gamma_A = -0.315$ см$^{-1}$. При V, близких к $\bar{V} = 7.55$ м/с и, в частности, при $V = 7.5$ м/с аппроксимация (6) применима до $z = 15$ см.

В слое B от 11 до 15 см ЛГК γ_B зависит от скорости ветра

$$N_B(z,V) = K_B(V)\exp\{\gamma_B(V)z\}. \quad (7)$$

В частности, при значениях скоростей ветра 5.5, 7.5 и 9.5 м/с 23.08.2011 г. логарифмический градиент концентрации γ_B оказался равным –0.39, –0.315 и –0.208 см$^{-1}$, соответственно.

Для количественной характеристики влияния скорости ветра на профили N концентрации сальтирующих частиц в слое от 0 до 15 см предлагается использовать кусочно-экспоненциальную аппроксимацию: для нижнего слоя сальтации толщиной H_{lw} ЛГК $\gamma_{lw} = \gamma_A = -0.315$ см$^{-1}$; в верхнем слое сальтации ($z > H_{lw}$) используются зависящие от скорости ветра значения $\gamma_{up} = \gamma_B$.

На рис. 3 в качестве примера для значений скорости ветра 5.5 м/с (кривая *1*) и 9.5 м/с (кривая *5*) пунктиром показаны результаты экстраполяции профилей $N_A(z)$ и $N_B(z)$ в слое C. Указанные зависимости $N(z)$ пересекаются в точках E и F (рис. 3), где $z = H_{lw} = 9$ см.

Из вышеизложенного следует, что в верхнем слое сальтации ($z > 9$ см) профили суммарной концентрации сальтирующих частиц можно восстанавливать с помощью соотношения

$$N_{up}(z,V) = K_A(V - V_0)\exp(9\gamma_A)\exp\{\gamma_B(z - 9)\}. \quad (8)$$

Для $V \geq 6$ м/с можно воспользоваться эмпирической аппроксимацией

$$\gamma_{up} = \gamma_B = -0.465 + 0.056(V - V_0) + 0.035(V - V_0)^{-2}. \quad (9)$$

Таким образом, по данным измерений 23.08.2011 г. получена кусочно-экспоненциальная аппроксимация зависимости от высоты и скорости ветра в приземном слое атмосферы суммарной концентрации частиц для верхнего слоя сальтации.

В упомянутой выше работе [17] показано, что в слое сальтации от 0.5 до 5.0 см ЛГК (по данным измерений в ветровом канале) не зависит от динамической скорости или скорости трения [20] и, следовательно, от скорости воздушного потока. Этот вывод согласуется с нашими результатами для нижнего слоя сальтации. К сожалению, в [17] вертикальные профили измерялись в сравнительно узком диапазоне высот.

Представляют интерес результаты определения ЛГК в работе [16]. Для средних размеров 150 и 250 мкм ЛГК варьирует в сравнительно узких пределах –0.245 ± 0.010 и –0.206 ± 0.012. Из-за погрешностей измерений из указанных диапазонов выпадают данные измерений при СВП 12 м/с для размера 150 мкм и 10 м/с для размера 250 мкм.

Для крупного песка (средние размеры 450 и 550 мкм) наблюдаются монотонные изменения ЛГК от –0.115 до –0.204 см$^{-1}$ и –0.100 до –0.185 см$^{-1}$, соответственно, при увеличении СВП от 10 до 18 м/с. На рис. 3 показаны нормированные профили концентрации сальтирующих частиц (из

работы [16]) для средних размеров 150 мкм (*5* на рис. 1) и 550 мкм (*6* на рис. 1).

В [14] показано, что параметры сальтации являются случайными величинами. С целью оценки изменчивости указанных параметров в условиях квазинепрерывной сальтации нами построены вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц для значений скорости ветра от 5.5 до 10.5 м/с по данным измерений на высотах 3, 7, 11 и 15 см 01.09.2011 г. в период с 13:10 до 14:10 на опустыненной территории в Астраханской обл. (рис. 4). В целом профили концентраций сальтирующих частиц 01.09.2011 г. подобны профилям концентраций 23.08.2011 г. (рис. 3). Получена описываемая формулой (9) кусочно-экспоненциальная аппроксимация вертикальных профилей концентрации сальтирующих частиц с параметрами $K_A = 788$ дм$^{-3}$ м$^{-1}$ с, $V_0 = 5.1$ м/с и $\gamma_A = -0.328$ см$^{-1}$. Толщина нижнего слоя сальтации $H_{lw} = 8.5–9.0$ см. Логарифмический градиент концентрации в верхнем слое сальтации γ_B по данным измерений 01.09.2011 г. меняется от –0.40 до –0.19 см$^{-1}$ при изменении скорости ветра в приземном слое атмосферы от 5.5 до 10.5 м/с.

Используя приведенную выше формулу для определения общего содержания частиц в слое сальтации $Q = N_0 z_N$, нетрудно оценить долю частиц δ_{up} в верхнем слое сальтации. В частности, при средней скорости ветра (примерно 7.5 м/с) $\delta_{up} = N(z = 9\text{ см})/N_0 = \exp[-0.316\text{ см}^{-1} \times 9.0\text{ см}] \cong$ $\cong 0.06$, т.е. в этом случае доля частиц в верхнем слое сальтации составляет около 6%.

На рис. 4 показаны экспоненциальные аппроксимации [16] профилей концентрации частиц крупного песка с средним размером 550 мкм для значений СВП 10 м/с (*7*) и 18 м/с (*8*) (логарифмические градиенты концентрации равны –0.100 и –0.185 см$^{-1}$ соответственно). Зависимость ЛГК от СВП в диапазоне размеров 500–600 мкм аналогично указанной зависимости в диапазоне 400–500 мкм (рис. 3).

В целом сопоставление наших результатов с результатами [16] позволило выявить закономерности изменения вертикальных распределений концентрации частиц от крупного песка размером 500–600 мкм до алеврит-песчаной смеси (30–150 мкм) сальтирующих частиц.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным измерений функции распределения сальтирующих частиц по размерам на высотах 3, 6, 11 и 15 см на опустыненной территории в Астраханской обл. 23.08.2011 г. в период с 11:05 до 16:06 восстановлены вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц и вертикальные профили частиц размером 47, 105 и

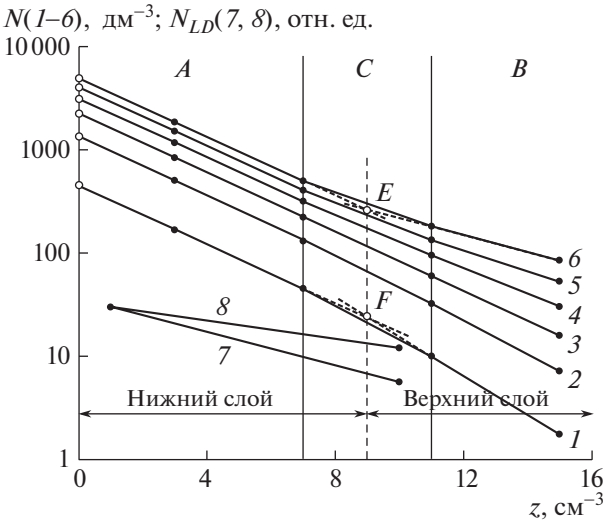

Рис. 4. Вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц для значений скорости ветра в приземном слое атмосферы 5.5 (*1*), 6.5 (*2*), 7.5 (*3*), 8.5 (*4*), 9.5 (*5*) и 10.5 м/с (*6*) по данным измерений 01.09.2011 г. в период с 13:10 по 14:10 на опустыненной территории в Астраханской обл. (*E* и *F* – точки пересечения экстраполяций вертикальных профилей концентрации в слоях *A* и *B* для значений скорости ветра 10.5 и 5.5 м/с). Нормированные вертикальные профили концентрации частиц крупного песка размером 500–600 мкм для значений скорости воздушного потока 10 (*7*) и 18 м/с (*8*) по данным измерений в ветровом канале [16].

156 мкм. Предложены экспоненциальные аппроксимации указанных профилей в диапазоне высот от 0 до 15 см. Определены логарифмические градиенты концентраций сальтирующих частиц. Установлено, что при увеличении высоты от 0 до 15 см относительная концентрация алевритовых частиц размером 47 мкм в 2 раза больше концентрации песчаных частиц размером 156 мкм.

Показано, что в верхнем слое сальтации в отличие от нижнего концентрация сальтирующих частиц нелинейно зависит от скорости ветра в приземном слое атмосферы. Получены зависимости суммарной концентрации сальтирующих частиц на высотах 3, 11 и 15 см от скорости ветра в приземном слое атмосферы.

Построены вертикальные профили суммарной концентрации сальтирующих частиц на опустыненной территории в слое от 0 до 15 см в условиях квазинепрерывной сальтации для диапазона изменения скорости ветра в приземном слое атмосферы от 5.5 до 9.5 м/с 23 августа 2011 г. и для диапазона от 5.5 до 10.5 м/с 1 сентября 2011 г. Предложена кусочно-экспоненциальная аппроксимация вертикальных профилей суммарной концентрации сальтирующих частиц. Определена толщина нижнего слоя сальтации (9 см). Показано, что на опустыненной территории в нижнем

слое сальтации логарифмический градиент концентрации не зависит от скорости ветра. Для верхнего слоя сальтации получена эмпирическая аппроксимация логарифмического градиента концентрации от скорости ветра. Получена аналитическая аппроксимация зависимостей суммарной концентрации частиц в нижнем и верхнем слоях сальтации от высоты, скорости ветра и пороговой скорости сальтации. Выявлены различия вертикальных распределений концентрации крупного песка и алеврит-песчаной смеси в ветропесчаном потоке.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят академика РАН Г.С. Голицына за полезные советы.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ju T., et al.* // Atmospheric Environment. 2018. V. 176. P. 82–90.
2. *Wang G., Gu H., Zheng X.* // Physics Fluids. 2020. V. 32. 106604.
3. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гущин Р.А.* // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 494, № 2. С. 53–57.
4. *Klose M., Shao Y.* // Atmos. Chem. Phys. 2012. V. 12. P. 7309–7320.
5. *Вазаева Н.В., Чхетиани О.Г., Максименков Л.О.* // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 2. С. 17–31.
6. *Малиновская Е.А., Чхетиани О.Г.* // Вычислительная механика сплошных сред. 2020. Т. 13. № 2. С. 175–188.
7. *Kok J.F., Parteli E.J., Michaels T.I., Karam D.B.* // Rep. Prog. Phys. 2012. 75 (10).106901.
8. *Alfaro S.C., Gaudichet A., Gomes L., Maille M.* // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № D10. P. 11239–11249.
9. *Mikami M., et al.* // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D18S02.
10. *Горчаков Г.И. и др.* // ДАН. 2019. Т. 488. № 2. С. 75–78.
11. *Бунтов Д.В., Гущин Р.А., Даценко О.И.* // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 6. С. 485–488.
12. *Pettijohn F.G.* Sedimentary Rocs. New York: Harper, 1957. 526 p.
13. *Горчаков Г.И. и др.* // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 10. С. 484–855.
14. *Liu D., Ishizuka M., Mikami M., Shao Y.* // Atmos. Chem. Phys. 2018. V. 18. P. 7595–7606.
15. *Горчаков Г.И. и др.* // ДАН. 2013. Т. 452. № 6. С. 669–676.
16. *Liu X., Dong Z.* // Geomorphology. 2004. V. 60. P. 371–381.
17. *Creyssels M., et al.* // J. Fluid Mech. 2009. V. 625. P. 47–74.
18. *Karpov A.V., Gorchakov G.I., Gushchin R.A., Datsenko O.I.* // Proc. SPIE. 2019. 11208Y.
19. *Kok J.F., Renno N.O.* // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. D17204.
20. *Обухов А.М.* Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 414 с.

VERTICAL PROFILES OF THE SALTATING PARTICLE CONCERTATION ON THE DESERTIFIED AREA

G. I. Gorchakov[a,#], A. V. Karpov[a], R. A. Gushchin[a,b], O. I. Datsenko[a,b], and D. V. Buntov[a]

[a] *Obukhov Institute of the Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[b] *Russian Technological University, Moscow, Russian Federation*

[#]*e-mail: gengor@ifaran.ru*

Presented by Academician of the RAS G.S. Golitsyn November 3, 2020

Vertical profiles of the saltating particle concertation for values of the wind velocity from 5.5 to 10.5 m/s and the vertical profiles of the aleurite and the sand particle concentrations on the desertified area in Astrachan oblast under the quasicontinuous saltation conditions have been constructed. In the saltation layer from 0 to 15 cm the sand particle concentration with a size of 156 mcm reduces at a twofold rate than the aleurite particle concentration with a size of 47 mcm. In the lower layer of the saltation 9 cm thickness the logarithmic gradient of the total concertation do not depend on the wind velocity and in the upper layer the gradient changes from –0.39 to –0.23 cm^{-1} as the wind velocity in the surface layer of the atmosphere increase from 6.0 to 9.0 m/s and from –0.40 to –0.19 cm^{-1} as the wind velocity increase from 5.5 to 10.5 m/s. It is shown that at the heights 11 and 15 cm the particle concentration dependences of the wind velocity turned out nonlinear. Saltating particle concertation approximations as functions of the height, the wind velocity and the threshold velocity have been received for the lower- and upper-layer saltation layers.

Keywords: desertification, saltation, saltating particle concertation, sand mode, aleurite mode, vertical profile of concertation