

## Вертикальное распределение сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке

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

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

Поступила в редакцию 01.08.2023;  
после доработки 16.08.2023;  
принята к печати 16.09.2023

На основе результатов экспериментальных исследований на опустыненной территории и в ветровом канале установлены закономерности вертикального распределения сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке, которые необходимы для понимания динамических и электрических процессов, происходящих в нем. Исследовано влияние вариаций скорости ветра в приземном слое атмосферы на вертикальное распределение сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории в условиях квазистационарной сальтации. Предложена кусочно-экспоненциальная аппроксимация вертикальных профилей концентрации частиц с независимым от скорости ветра масштабом высоты и логарифмическим градиентом концентрации в нижнем слое сальтации. По данным измерений профилей потока сальтирующих частиц в ветровом канале получены зависимости толщины нижнего слоя сальтации и масштаба высоты для массового потока частиц в нижнем слое сальтации от размера частиц (диапазон размеров 100–800 мкм). Установлено, что масштаб высоты пропорционален размеру сальтирующих частиц. Показано, что результаты определения параметров ветропесчанного потока на опустыненной территории и в ветровом канале согласуются друг с другом. Результаты настоящей работы представляют интерес при построении моделей динамики ветропесчанного потока.

**Ключевые слова:** ветропесчаный поток, сальтация, концентрация сальтирующих частиц, массовый поток частиц, вертикальный профиль, кусочно-экспоненциальная аппроксимация, масштаб высоты, толщина нижнего слоя сальтации; windsand flux, saltation, concentration of saltating particles, mass flux of particles, vertical profile, piecewise exponential approximation, height scale, thickness of the lower layer of saltation.

### Введение

Процессы опустынивания и аридизации, в первую очередь процессы, происходящие в ветропесчаном потоке, его структура и свойства изучены недостаточно [1–17]. В работах [18, 19] показано, что в динамике ветропесчаного потока, в значительной степени определяющей опустынивание, существенную роль играет его электризация. В [20–23] представлены результаты исследований вертикального распределения сальтирующих алевритовых и песчаных частиц размерами примерно от 30 до 300 мкм в ветропесчаном потоке в условиях квазинепрерывной (almost non-intermittent) сальтации (сальтация — скачкообразное перемещение песчинок). Предложены аппроксимации профилей концентрации алевритовых [24, 25] и песчаных [2–5] сальтирующих частиц и параметров распределения

сальтирующих частиц по размерам. На опустыненных территориях размеры песчаных частиц меняются в широких пределах, вплоть до 1000–2000 мкм. В нашей работе динамика ветропесчанного потока с крупными песчаными частицами анализируется на основе результатов измерений в ветровом канале — сооружении для исследования ветропесчанного потока в лабораторных условиях [26].

Цели работы — исследование вертикального распределения алевритовых и песчаных частиц в ветропесчаном потоке для различных скоростей ветра в приземном слое атмосферы, параметризация профилей концентрации частиц с использованием кусочно-экспоненциальных аппроксимаций, сопоставление вертикальных распределений сальтирующих частиц на опустыненной территории и в ветровом канале, анализ влияния размеров сальтирующих частиц на масштаб высоты и толщину нижнего слоя сальтации.

### Материалы и методы

В работе использованы результаты исследования вариаций концентрации сальтирующих частиц

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

в ветропесчаном потоке на опустыненной территории [20, 21] и массового потока частиц размерами от 100 до 800 мкм в ветровом канале [26]. Значительная часть работ выполнялась в ветровых каналах. В большинстве случаев при измерении потоков сальтирующих частиц в ветровых каналах мы применяли ловушки сальтирующих частиц, позволяющие измерять массовые потоки частиц [27–32]  $F(z) = M(z)V_p(z)$ , где  $M(z)$  – массовая концентрация на высоте  $z$ ;  $V_p$  – средняя скорость сальтирующих частиц. В [33] профиль счетной концентрации сальтирующих частиц определялся методом скоростной видеосъемки. В большинстве случаев для описания вертикальных распределений сальтирующих частиц мы использовали экспоненциальную аппроксимацию

$$F(z) = F_0 \exp\left\{-\frac{z}{z_f}\right\} = F_0 \exp(\gamma_f z), \quad (1)$$

где  $z_f$  – масштаб высоты для экспоненциального профиля  $F(z)$ ;  $\gamma_f = -1/z_f$  – логарифмический градиент массового потока частиц; параметр  $F_0$  определяется экстраполяцией  $F(z)$  к  $z = 0$ .

Вблизи подстилающей поверхности ( $z < 3$  м) и в верхнем слое сальтации наблюдаются отклонения от параметризации (1). Поэтому для лучшего согласия с данными наблюдений часто используются другие профили [31]. В [32] показано, что экспоненциальная аппроксимация в слое от 5 до 35 см лучше согласуется с результатами натурных измерений, чем логарифмическая и степенная.

## Результаты и обсуждение

### *Вертикальное распределение сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории*

В наших более ранних работах [20, 21, 23] представлены результаты измерений в условиях квазинепрерывной сальтации концентрации сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории в слое от 3 до 15 см с помощью четырехканального фотоэлектрического счетчика [34]. Погрешность измерения счетной концентрации сальтирующих частиц, включая систематическую, составляет около 30%, а погрешность измерения горизонтальных потоков частиц ( $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ) – примерно 35%.

В [20, 21, 25] были построены средние вертикальные профили концентраций алевритовых и песчаных частиц и восстановлены вертикальные профили концентрации для различных скоростей ветра в приземном слое атмосферы. Вертикальные распределения концентрации частиц в ветропесчаном потоке исследовались нами на основе результатов измерений на опустыненных песчаных территориях в 2008–2012, 2014–2016 и 2021 гг. В работах [21, 22] использованы данные 2011 г. как

наиболее представительные. Исследования проводились 19, 20, 22, 23, 28 и 31.08, а также 01 и 02.09.2011 г., когда скорость ветра в приземном слое атмосферы заметно превосходила пороговую скорость сальтации, на опустыненной территории (площадка размерами 1,5 км × 0,6 км) вблизи р. Волги, на расстоянии около 40 км от г. Ахтубинска. Площадка отличалась относительно ровной поверхностью с высотой неоднородностей не более 10–20 см и горизонтальными размерами 10 м и более.

В настоящей работе для иллюстрации полученных закономерностей используются вертикальные распределения, построенные по данным измерений 23.08 и 01.09.2011 г. [20, 21].

Нами установлено [20, 21], что с данными измерений на опустыненной территории хорошо согласуется кусочно-экспоненциальная аппроксимация профилей. В нижнем слое сальтации с учетом зависимостей концентрации частиц от скорости ветра  $N(z) = K(z)(V - V_0)$ , где  $K(z)$  – эмпирическая функция,  $V_0$  – пороговая скорость сальтации [1],  $z$  – высота, получаем аппроксимацию

$$N_{lw}(z) = K_0(V - V_0) \exp(\gamma_{lw} z), \quad (2)$$

где  $\gamma_{lw}$  – логарифмический градиент концентраций для нижнего слоя сальтации, который не зависит от скорости ветра,  $K_0$  – коэффициент. Этот результат согласуется с результатами исследования вертикального распределения в ветровом канале [35].

Анализ вертикальных профилей  $N(z)$ , измеренных на опустыненной территории в Астраханской области в условиях квазинепрерывной сальтации, показал, что в верхнем слое сальтации также применима экспоненциальная аппроксимация. При этом зависимость логарифмического градиента концентрации от скорости ветра  $V$  оказалась линейной [20, 21]:

$$\gamma(z) = \gamma_0 + K_\gamma(V - V_0) \quad (3)$$

( $\gamma_0$ ,  $K_\gamma$  – параметры аппроксимации).

По восстановленным вертикальным профилям  $N(z)$  23.08.2011 г. для пяти скоростей ветра 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 и 10,0 м/с и 01.09.2011 г. для шести скоростей – от 6,0 до 11,0 м/с предложенные нами аппроксимации были экстраполированы до точек пересечения, что позволило получить «веер» (рис. 1) кусочно-экспоненциальных аппроксимаций профилей концентрации в слое от 0 до 15 см.

Из представленных в [20, 21] результатов и рис. 1 следует, что существует такая скорость ветра  $V^*$ , при которой значения логарифмических градиентов концентрации (и масштабов высоты) в нижнем и верхнем слоях сальтации равны. В наших случаях указанная скорость ветра близка к средней, и поэтому наблюдаемые средние профили концентрации сальтирующих частиц с удовлетворительной

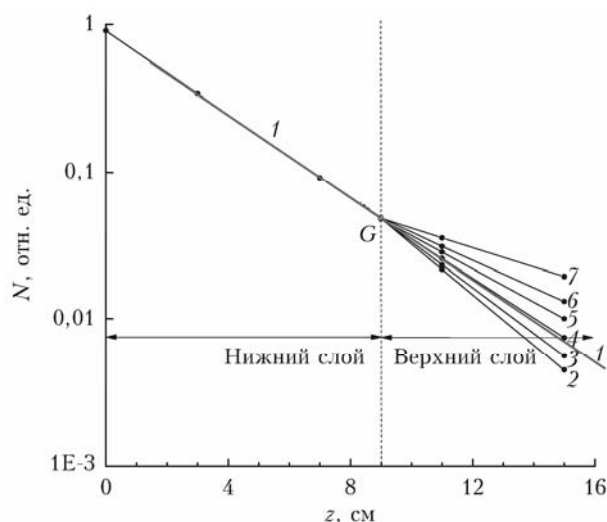


Рис. 1. Нормированные вертикальные распределения концентрации сальтирующих частиц в нижнем (1) и верхнем слое сальтации (2–7) при скоростях ветра в приземном слое атмосферы от 6,0 до 11,0 м/с ( $G$  — точка ветвления профилей)

точностью аппроксимируются экспоненциальными функциями в широком диапазоне высот.

### Вертикальные профили потока сальтирующих частиц по данным измерений в ветровом канале

В [26] представлены результаты измерений вертикальных профилей потоков для сальтирующих частиц разных размеров в ветровом канале. Измерения были выполнены для девяти фракций частиц, диаметрами 100–150, 150–200, 200–250, 250–400, 400–500, 500–560, 560–630, 630–800 и 800–1000 мкм.

На рис. 2 показана рассчитанная нами кусочно-экспоненциальная аппроксимация полученных в [26] высотных профилей нормированных потоков частиц диаметром от 400 до 500 мкм, где  $q(z)$  — вертикальный профиль потока;  $Q$  — определяемая экстраполяцией величина потока при  $z = 0$ . По вертикальной оси отложена относительная высота  $z/Z$ , где  $Z = 60$  см — максимальная высота измерений. Измерения потоков сальтирующих частиц выполнены при скоростях воздушного потока на оси ветрового канала  $U = 10, 12, 14, 16, 18, 20$  и  $22$  м/с [26] (все профили для скоростей не удалось разместить на рис. 2). Прямая 1 на рис. 2 — построенная нами экспоненциальная аппроксимация профиля массового потока частиц для нижнего слоя сальтации. Этой аппроксимации соответствует определенное значение масштаба высоты в слое сальтации в целом и, в частности, в нижнем слое сальтации. Прямые 2–5 представляют собой аппроксимации профилей в верхнем слое сальтации при других значениях скорости.

Таким образом, для данных измерений в ветровом канале применима кусочно-экспоненциальная

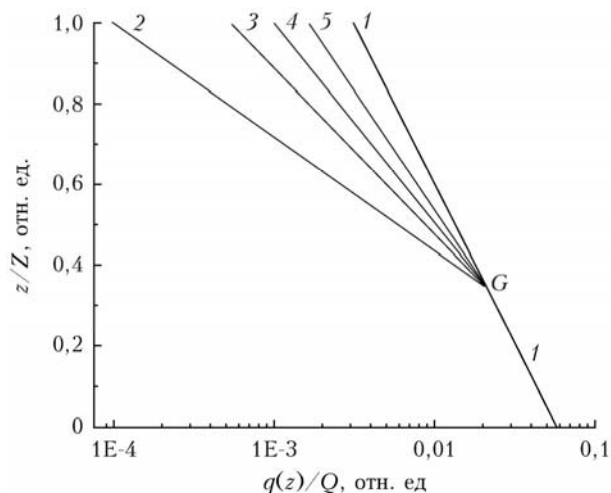


Рис. 2. Нормированные вертикальные профили массового потока сальтирующих частиц размерами 400–500 мкм для различных скоростей воздушного потока  $U$  на оси ветрового канала: 1 — профиль в нижнем слое сальтации и его продолжение в верхнем слое при  $U \approx 20$  м/с; 2–5 — ветви профилей в верхнем слое сальтации при  $U = 10, 12, 14$  и  $16$  м/с

аппроксимация вертикального распределения сальтирующих частиц.

### Зависимость толщины нижнего слоя сальтации от размера сальтирующих частиц

Анализ полученных в работе [26] данных показал, что толщина нижнего слоя сальтации  $H_1$ , см, зависит от среднего диаметра сальтирующих частиц  $\bar{D}$ , мкм. На рис. 3 показана корреляционная связь  $H_1$  и  $\bar{D}$ . В логарифмических координатах указанная связь близка к линейной, которая может быть аппроксимирована соотношением

$$\ln H_1 = k_H \ln \bar{D} - b_H, \quad (4)$$

где  $k_H = 0,88 \pm 0,02$  и  $b_H = -(1,82 \pm 0,10)$ .

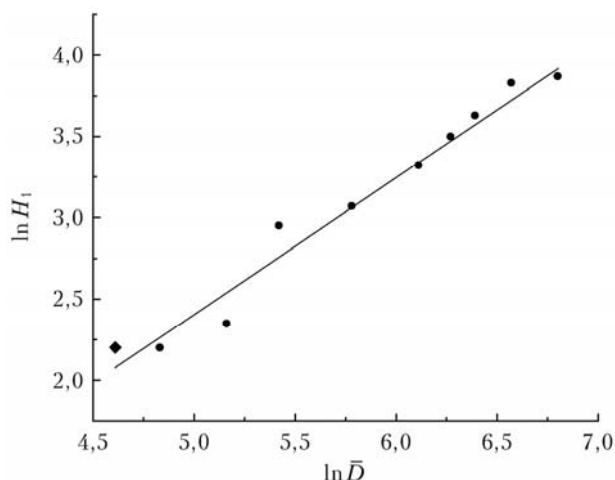


Рис. 3. Зависимость толщины нижнего слоя сальтации от размера сальтирующих песчинок: данные работ [26] (точки) и [20, 21] (ромб) и их аппроксимация (прямая)

В нашем случае (ромб на рис. 3) средний размер сальтирующих частиц равен примерно 100 мкм, а толщина слоя составляет 9 см. Согласно аппроксимации (4) при изменении среднего размера частиц от 100 до 800 мкм толщина нижнего слоя сальтации увеличивается с 9,3 до 58 см.

Видно, что результаты определения толщины нижнего слоя сальтации по измерениям в ветровом канале удовлетворительно согласуются с данными полевых измерений.

### **Зависимость масштаба высоты от размера сальтирующих частиц**

Анализируемая нами корреляционная связь между логарифмом масштаба высоты  $z_f$ , см, для массового потока сальтирующих частиц в нижнем слое сальтации [26] и логарифмом среднего размера частиц оказалась линейной (рис. 4):

$$\ln z_f = k_f \ln \bar{D} + b_f, \quad (5)$$

где коэффициент  $k_f = 1,00 \pm 0,03$  и  $b_f = -(3,1 \pm 0,17)$ . Из (5) следует, что при увеличении среднего размера сальтирующих частиц от 100 до 800 мкм масштаб высоты для нижнего слоя сальтации повышается от 4,5 до 36 см.

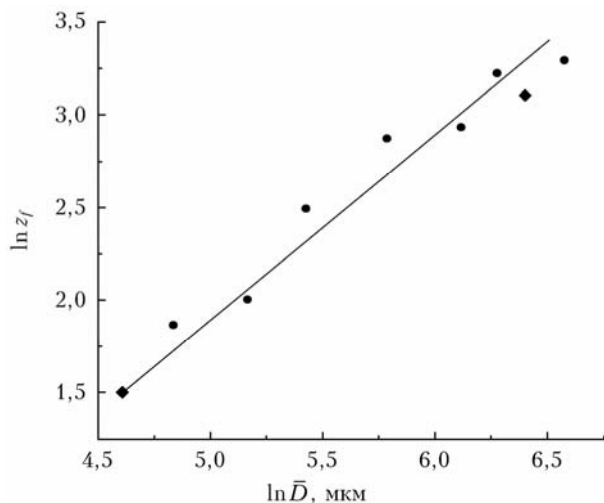


Рис. 4. Зависимость масштаба высоты для массового потока частиц от их размера: данные работ [26] (точки) и [20, 21] (ромбы) и их аппроксимация (прямая)

Соотношение (5) допускает, что  $k_f$  может быть равен 1,0, и в этом случае мы приходим к соотношению (данные измерений  $z_f$  и  $\bar{D}$  в одних и тех же единицах):

$$\chi = \frac{z_f}{\bar{D}} \cong 450 \pm 15. \quad (6)$$

В наших работах [21, 22]  $z_f$  для профиля концентрации сальтирующих частиц средним диаметром  $\sim 100$  мкм [20–22] оказался равным 3,0–3,2 см.

С использованием данных измерений в ветровом канале [36] установлено соотношение между масштабом высоты  $z_f$  и масштабом высоты для концентрации сальтирующих частиц  $z_N$ :

$$\ln z_f = 2 \ln z_N - 0,74. \quad (7)$$

Из (7) следует, что  $z_f = 4,3–4,9$  см ( $\ln z_f = 1,46–1,59$ ) при  $z_N = 3,0–3,2$  см. Это удовлетворительно согласуется с полученной нами аппроксимацией зависимости  $z_f$  от  $\bar{D}$  по данным измерений в ветровом канале ( $\ln z_f = 1,51$ ).

Вопрос о связи среднего размера сальтирующих частиц с масштабом высоты экспоненциального профиля сальтирующих частиц еще слабо изучен. Согласно данным измерений [35] вертикальных распределений сальтирующих частиц в ветровом канале в слое 1–10 см  $z_f = 1$  см. Авторы статьи [35] показали, что в рассматриваемом случае масштаб высоты для концентрации сальтирующих частиц  $z_n = 40\bar{D}$ .

В нашей работе [33], согласно данным скоростной видеосъемки в слое от 2 до 38 мм (с разрешением по высоте 2 мм), масштаб высоты, который характеризует наряду с логарифмическим градиентом скорость убывания с высотой (см. формулу (1)) концентрации (или потока) сальтирующих частиц, равен 0,7 см, что по порядку величины близко к данным [35]. Следует отметить, что скоростная видеосъемка выполнялась при сравнительно малых концентрациях, когда средняя скорость ветра не намного превышала пороговую скорость сальтации.

Наблюдаемые различия соотношений между масштабом высоты и средним размером сальтирующих частиц, на наш взгляд, определяются различием режимов сальтации.

### **Заключение**

По данным измерений в полевых условиях и ветровом канале изучено влияние вариаций скорости ветра в приземном слое атмосферы на параметры вертикального распределения сальтирующих частиц. Показано, что в диапазоне изменения скорости ветра примерно от 5,5 до 11 м/с в приземном слое атмосферы применима кусочно-экспоненциальная аппроксимация вертикальных профилей концентраций сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке. В нижнем слое сальтации масштаб высоты и логарифмический градиент концентрации не зависят от скорости ветра. Для верхнего слоя сальтации предложена аппроксимация зависимости логарифмического градиента концентрации от скорости ветра линейной функцией.

Анализ данных измерений нормированных профилей потока сальтирующих частиц в ветровом канале показал, что кусочно-экспоненциальная аппроксимация применима в широком диапазоне размеров частиц.

Получены зависимости толщины нижнего слоя сальтации от среднего диаметра сальтирующих частиц. Толщина нижнего слоя сальтации изменяется

от 9,3 до 58 см при увеличении среднего диаметра частиц от 100 до 800 мкм, а масштаб высоты в этом слое — от 4,5 до 36 см. Полученные зависимости согласуются с результатами определения указанных параметров в ветропесчаном потоке на опустыненной территории в наших предыдущих работах.

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

## Список литературы

1. *Bagnold R.A.* The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen, 1941. 265 p.
2. *Бютнер Э.К.* Динамика приповерхностного слоя воздуха. Л.: Гидрометеониздат, 1978. 158 с.
3. *Shao Y.* Physics and Modeling of Wind Erosion. New York: Springer, 2000. 393 p.
4. *Zheng X.Y.* Mechanics of Windblown Sand Movements. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 290 p.
5. *Семенов О.Е.* Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК, 2011. 580 с.
6. *Pye K., Tsoar H.* Aeolian Sand and Sand Dunes. Berlin: Springer, 2009. 456 p.
7. *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.
8. *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 Research. 2014. V. 15. P. 53–71.
9. *Гледзер Е.Б., Гранберг И.Г., Чхетиани О.Г.* Динамика воздуха вблизи поверхности почвы и конвективный вынос аэрозоля // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2010. Т. 46, № 1. С. 35–47.
10. *Chkhetiani O.G., Gledzer E.B., Artamonova M.S., Iordanskii M.* Dust resuspension under weak wind conditions: Direct observations and model // Atmos. Chem. Phys. 2012. V. 12, N 11. P. 5147–5162.
11. *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 F2. P. F02S12.
12. *Huang Y., Kok J.F., Martin R.L., Swet N., Ktra I., Gill T.E., Reynolds R.L., Freire L.S.* Fine dust emissions from active sands at coastal Oceano Dunes, California // Atmos. Chem. Phys. 2019. V. 19, N 5. P. 2947–2964.
13. *Jiang C.W., Parteli E.J., Dong Z.B., Zhang Z.C., Qian G.Q., Luo W.Y., Lu J.F., Xiao F.J., Mei F.M.* Wind-tunnel experiments of Aeolian sand transport reveal a bimodal probability distribution function for the particle lift-off velocities // Catena. 2022. V. 217. P. 106496.
14. *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.
15. *Klose M., Shao Y.* Stochastic parameterization of dust emission and application to convective atmospheric conditions // Atmos. Chem. Phys. 2012. V. 12, N 16. P. 7309–7320.
16. *Martin K.L., Kok J.F.* Wind-invariant saltation heights imply linear scaling of Aeolian saltation flux with shear stress // Sci. Adv. 2017. V. 3, N 6. P. e1602569.
17. *Ju T., Li X., Zhang H., Cai X., Song Y.* Comparison of two different dust emission mechanisms over the Horqin Sandy Land area: Aerosol's contribution and size distributions // Atmos. Environ. 2018. V. 176. P. 82–90.
18. *Горчаков Г.И., Конейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В.* Электризация ветропесчанного потока на опустыненных территориях // Докл. РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 505, № 1. С. 88–93.
19. *Горчаков Г.И., Конейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В.* Пылевая плазма ветропесчанного потока на опустыненных территориях // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2022. № 5. С. 543–553.
20. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В.* Вертикальные профили концентраций сальтирующих частиц на опустыненной территории // Докл. РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496, № 2. С. 137–142.
21. *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. атмосф. и океана. 2021. Т. 57, № 5. С. 555–564.
22. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В.* Стратификация распределения алевритовых и песчаных частиц по размерам в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 6. С. 425–429; *Gorchakov G.I., Karpov A.V., Gushchin R.A., Datsenko O.I., Buntov D.V.* Stratification of aleurite and sand particle size distribution in windsand flux over desertified areas // Atmos. Ocean. Opt. 2021. V. 34, N 5. P. 438–442.
23. *Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Конейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Влияние ветра на распределение сальтирующих частиц по размерам // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 848–855; *Gorchakov G.I., Buntov D.V., Karpov A.V., Kopeikin V.M., Mirsaitov S.F., Gushchin R.A., Datsenko O.I.* Wind effect on the size distribution of saltating particles // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 2. P. 198–205.
24. *Pettijohn F.G.* Sedimentary Rocks. New York: Harper, 1957. 526 p.
25. *Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Конейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Алевритовая фракция сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Докл. РАН. 2019. Т. 488, № 2. С. 193–196.
26. *Dong Z., Qian G.* Characterizing the height profile of the flux of wind-eroded sediment // Environ. Geol. 2007. V. 51, N 5. P. 835–845.
27. *Williams G.* Some aspects of the eolian saltation load // Sedimentology. 1964. V. 3, N 4. P. 257–287.
28. *Sharp R.P.* Wind-driven sand in Coachella Valley, California // Geol. Soc. Am. Bull. 1964. V. 75. P. 785–864.
29. *Nickling W.G.* Eolian sediment transport during dust storms: Slims River Valley, Yukon Territory // Can. J. Earth Sci. 1978. V. 15, N 7. P. 1069–1084.
30. *Greeley R., Blumberg D.G., Williams S.H.* Field measurement of the flux and speed of wind-blown sand // Sedimentology. 1996. V. 43, N 1. P. 41–52.
31. *Ni J., Li Z.S., Mendoza C.* Vertical profiles of aeolian sand mass flux // Geomorphology. 2002. V. 49, N 3, 4. P. 205–218.
32. *Namikas S.* Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach // Sedimentology. 2003. V. 50, N 2. P. 303–326.

33. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Конейкин 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.
34. 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., Datsenko O.I. Four-channel photoelectric counter of saltating sand particles // Atmos. Ocean. Opt. 2018. V. 31, N 5. P. 548–551.
35. Creyssels M., Dupont P., El Moutar 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.
36. Liu X., Dong Z. Experimental investigation of the concentration profile of a blowing sand cloud // Geomorphology. 2004. V. 60, N 3. P. 371–381.

**R.A. Gushchin, G.I. Gorchakov, A.V. Karpov, O.I. Datsenko. Vertical distribution of saltating particles in a windsand flux.**

Using data from experimental studies in a desertified area and in a wind channel, patterns of vertical distribution of saltating particles in a wind-sand flux have been established, which are necessary for understanding the dynamic and electrical processes in a wind-sand flux. Investigation of the influence of wind velocity in the surface air layer on the vertical distribution of saltating particles in a windsand flux in a desertified area has been carried out. A piecewise exponential approximation of vertical particle concentration profiles with a wind speed-independent height scale and a logarithmic concentration gradient in the lower saltation layer is proposed. Using measurements in the wind channel of saltation particle flux profiles, the dependences of the thickness of the lower saltation layer and the height scale for the mass flux of particles in the lower saltation layer on the size of the saltation particles in the range from 100 to 800  $\mu\text{m}$  are obtained. It is shown that the results of determining the parameters of the windsand flux in the desertified area and in the wind channel are consistent with each other. Our results can be used for modeling the dynamics of wind-sand flux.