

УДК 551.515:532.5.18

Канд. техн. наук И.Г. Гуршев\*

**О ВЕРТИКАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЧАСТИЦ ПЕСКА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ***ПЕСЧАНАЯ БУРЯ, РАЗМЕР ЧАСТИЦ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ВЫСОТЕ*

*Анализ полученных ранее формул, описывающих вертикальное распределение концентрации частиц с высотой переноса во время бурь, показал преобладание мелких частиц песка над более крупными частицами на верхней границе приземного слоя атмосферы.*

Во время песчаной бури, в случае безразличной стратификации атмосферы, концентрация песка  $c(z)$  в приземном слое ветропесчаного потока описывается функцией

$$c(z) = c_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^{-\beta} \quad (\text{а}), \quad \text{или} \quad c^* = \frac{1}{z^{*\beta}} \quad (\text{б}), \quad (1)$$

где  $c_1$  – концентрация песка на высоте  $z_1 = 1$  м,  $z$  – величина вертикальной координаты по оси  $OZ$ , начало которой находится на поверхности верхнего слоя частиц,  $z^* = z/z_1$  – безразмерное значение координаты  $z$ ,  $c^* = c/c_1$  – безразмерная величина концентрации песка,  $\beta$  – экспериментально определяемая величина [1, 2, 3, 4, 8].

Как показано в работах [1, 2, 3, 8], величина  $\beta$  является функцией отношения  $w_g/u_*$ . Прандтль в работе [3] получил показатель степени  $\beta$  в следующем виде

$$\beta = \frac{w_g}{bu_*} = \lambda w_g, \quad \lambda = \frac{1}{bu_*}, \quad (2)$$

где  $u_*$  – динамическая скорость потока,  $w_g$  – скорость свободного гравитационного падения частиц песка,  $b$  – безразмерная постоянная. По оценке Прандтля постоянная  $b$  имеет значения  $b = 0,55 \dots 0,65$  [3].

Для развитых пыльных бурь в условиях стационарного во времени и однородного в пространстве потока с мелкими взвешенными монодисперсными частицами пыли размером порядка мкм Баренблатт и Голицын [1, 2, 8] теоретически получили следующее выражение для профиля объемной концентрации

---

\* АО Жасыл Даму МОСВР РК, г. Алматы

$$s(z) = s_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^{-\frac{w_g}{\alpha_0 \cdot \kappa \cdot u_*}}, \quad (3)$$

здесь  $\alpha_0 = k_m / k_\tau$  – отношение коэффициентов обмена массы и импульса,  $\kappa = 0,4$  – постоянная Кармана.

Показатель степени  $\beta$  имеет следующий вид  $\beta = w_g / \alpha_0 \kappa u_*$ . Значит, величина  $c^*$  является также функцией скорости падения частиц песка  $w_g$ , а не только функцией переменной  $z^*$ .

Согласно работам [6, 7], величина  $w_g$  связана со средним геометрическим размером  $x_0$  песчаных частиц. Используя эмпирическую зависимость между  $w_g$  и  $x_0$ , полученную Шаповым [7], можно определить средний геометрический размер частиц  $x_0$ . Таким образом, величина концентрации песка на произвольно заданной высоте  $z = h$  также определяется значением  $x_0$ .

Равенство (16) можно представить таким образом

$$c^* = \frac{1}{h_1^{\lambda w_g}}, \quad h_1 = \frac{h}{z_1}. \quad (4)$$

В работе [5] показано, что на высоте  $h = 16$  м функция распределения частиц по размерам имеет максимум при значении переменной  $x_0 = 50$  мкм, т.е. на этой высоте частицы песка с такими размерами преобладают над частицами других размеров. Ниже приводится возможное объяснение такому положению. Используя равенство (16), получим следующие соотношения для концентрации частиц песка с произвольными скоростями падения  $w_{g1}$  и  $w_{g2}$  ( $w_{g1} \neq w_{g2}$ ) на произвольной высоте  $h_2$

$$c_{11}^* = h_2^{-\beta_1} \quad (\text{а}), \quad \text{и} \quad c_{22}^* = h_2^{-\beta_2} \quad (\text{б}), \quad (5)$$

где  $c_{11}^*$ ,  $c_{22}^*$  – соответственно безразмерные концентрации песка со скоростями  $w_{g1}$  и  $w_{g2}$ . Предположим, для определенности, что  $w_{g1} > w_{g2}$ , т.е. выполняется неравенство  $\beta_1 > \beta_2$ . Поделив равенство (5б) на равенство (5а), получим

$$\frac{c_{22}^*}{c_{11}^*} = \frac{h_2^{-\beta_2}}{h_2^{-\beta_1}} = h_2^{-\beta_2 - (-\beta_1)} = h_2^{\beta_1 - \beta_2}. \quad (6)$$

Так как  $\beta_1 > \beta_2$ , то  $\beta_3 = \beta_1 - \beta_2 > 0$ . Поэтому функция  $c_{22}^* = c_{11}^* h_2^{\beta_3}$  является возрастающей функцией, и  $c_{22}^* > c_{11}^*$ . Последнее неравенство показыва-

ет, что частиц песка размером  $x_{02}$  больше, чем частиц с размером  $x_{01}$ , так как величина  $w_g$  зависит от величины  $x_0$  [6, 7]. Если принять  $h_2$  равной величине высоты приземного слоя атмосферы, то в этом случае получаем, что на верхней границе приземного слоя преобладают частицы песка с небольшими размерами. Такие частицы легко проникают в пограничный слой атмосферы и увеличивают его загрязнение твердым аэрозодем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренблатт Г.И., Голицын Г.С. Локальная структура развитых пыльных бурь. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 44 с.
2. Баренблатт Г.И. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке // Прикладная математика и механика. – 1953. – Т. 17, Вып. 3 – С. 261-274.
3. Прандтль Л. Гидроаэромеханика /Пер. с нем. – 2-ое изд. – М.: Изд-во иностр. лит., 1951 – 575 с.
4. Семёнов О.Е. О массовой концентрации частиц в пограничном слое ветропесчаного потока // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 2. – С. 7–27.
5. Семёнов О.Е. Об ускорении потока во время сильных песчаных и пылевых бурь // Гидрометеорология и экология. – 2000. – № 3-4. – С. 23 – 48.
6. Семёнов О.Е. О физическом содержании параметров профилей массовой концентрации частиц в пограничном слое ветропесчаного потока // Гидрометеорология и экология. – 2010 – №1. – С. 11-21.
7. Шапов А.П. Определение гидродинамической крупности частиц реального песка // Гидрометеорологические проблемы Приаралья. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 154-157.
8. Barenblatt G.I., Golitsyn G.S., Local structure of Mature Dust Storms // Journal of the Atmospheric Sciences, – 1974. – V. 31, No 7, – P. 1917-1933.

Поступила 4.09.2013

Техн. ғылымд. канд. И.Г. Гуршев

#### **АТМОСФЕРАНЫҢ ЖЕР БЕТІ ҚАБАТЫНДА ҚҰМ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ТІГІНЕН ТАРАЛУЫ**

*Дауыл уақытындағы бөлшектер концентрациясының тасымалдануын тігінен таралуын суреттейтін, бұрын алынған формулалар талдау барысында атмосфераның, ауаның жер беті қабатының жоғарғы шекарасындағы құм бөлшектерінің майдасы ірі бөлшектерден көп болатынын көрсетті.*