

В.Г. Моношкина, И.А. Суторихин

**ОПАСНАЯ РЕСПИРАБЕЛЬНАЯ ФРАКЦИЯ ЧАСТИЦ  
ПРИЗЕМНОГО АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ**

Обсуждаются различные аспекты влияния микрофизических характеристик приземного аэрозоля на дыхательную систему человека.

Рассматривая экологический аспект исследования микрофизических параметров приземного аэрозоля в промышленных центрах, в первую очередь следует иметь в виду следующие характеристики: химический (элементный) состав частиц, их спектр размеров, а также счетную и массовую концентрации.

Основными критериями качества атмосферного воздуха по концентрации примеси являются предельно допустимые концентрации (ПДК) для населенных мест, которые подразделяются на два типа: максимально разовые (ПДК<sub>раз</sub>) и среднесуточные (ПДК<sub>сут</sub>). Первая относится к 20÷30-минутному интервалу усреднения, вторая определяет длительное время воздействия без строгого фиксирования его продолжительности [1].

Например, значение ПДК<sub>раз</sub> для пыли (твердые вещества) составляет 0,5, а для сажи 0,15 мг/м<sup>3</sup> [2]. Методика их нахождения сводится к определению массы аэрозольных фильтров типа АФА до и после экспонирования и отнесению ее к объему прокачанного воздуха.

В то же время известно, что степень риска возникновения заболеваний от поступления в человеческий организм вдыхаемых частиц аэрозолей определяется той областью органов дыхания, в которой они задерживаются [3, 4]. Экспериментальная работа [5] показала зависимость между размерами задержанных частиц и отделами дыхательной системы, а именно: по мере перехода к более глубоким частям дыхательной системы размер частиц уменьшается и значительная часть их осаждается у разветвлений и поворотов дыхательных путей. Это дало основание предполагать, что основную роль при задержке частиц аэрозолей играет механизм инерционного осаждения.

Проверка этого предположения с помощью построения простейшей теоретической модели была предпринята Финдейзенем в 1931 г. [5]. В своих расчетах он использовал данные об основных характеристиках дыхательной системы человека (табл. 1) и показал, что в плане спектров размеров наибольшую опасность для человека представляют частицы размером 0,3÷5 мкм (т.к. большая их часть задерживается в альвеолярных отделах легких и, растворяясь, поступает в кровь). Поэтому данный интервал размеров и получил название опасной респирательной фракции (ОРФ).

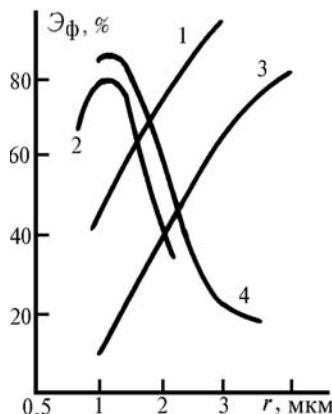
Таблица 1

Отделы дыхательной системы	$N$	$R$ , см	$L$ , см	$S$ , см <sup>2</sup>	$U$ , см·с <sup>-1</sup>
Трахея	1	0,65	11	1,3	150
Главные бронхи	2	0,37	6,5	1,1	180
Бронхи 1-го порядка	12	0,20	3,0	1,5	130
Бронхи 2-го порядка	100	0,10	1,5	3,1	65
Бронхи 3-го порядка	770	0,075	0,5	14	14
Бронхиолы концевые	$5,4 \cdot 10^4$	0,030	0,3	150	1,3
Бронхиолы альвеолярные	$1,1 \cdot 10^5$	0,025	0,15	220	0,9
Альвеолярные ходы	$2,6 \cdot 10^7$	0,010	0,02	8220	0,025
Альвеолы	$5,2 \cdot 10^7$	0,015	—	$1,47 \cdot 10^5$	0

Примечание.  $N$  – число;  $R$  – радиус;  $L$  – длина;  $S$  – площадь поперечного сечения;  $U$  – скорость воздуха.

Учитывая инерционный механизм задержки частиц в дыхательных органах, что, по сути, сходно с действием такого прибора для изучения дисперсности аэрозоля, как импактор, нами был рассчитан и создан 4-ступенчатый импактор, распределение частиц на ступенях которого соответствует таковому от носовой полости до альвеолярных отделов легких. Калибровка импактора была проведена с применением полидисперсного водного аэрозоля с  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Время прокачки 0,5 мин, скорость прокачки 2 м<sup>3</sup>/ч. На рисунке приведены результаты нашего эксперимента в сопоставлении с данными работы [3].

Кроме того, нами отмечена возможность использования результатов эксперимента для оценки диапазона плотности частиц реальных аэрозолей. А именно: сравнивая кривые распределения для аэрозолей с известной плотностью и для атмосферных аэрозолей, можно реально оценить диапазон плотности последних. Значения плотности аэрозольного вещества в атмосфере, полученные нами, находятся в диапазоне  $\rho = (1\div 3,5) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .



Эффективность задержки частиц разных размеров: 1 – в носовой полости человека; 2 – в альвеолах; 3, 4 – на 3-й и 4-й ступенях импактора соответственно

Имея банк данных о функциях распределения частиц в различных населенных пунктах Алтайского края, полученных с использованием фотоэлектрического счетчика ПКЗВ-906, и данных о массовой концентрации на фильтрах АФА, был проанализирован вклад ОРФ в массовую концентрацию всех частиц на фильтре. В табл. 2 приведены для сравнения результаты измерений для п. Быстрянка (сентябрь 1994 г.) и для г. Барнаула (июль 1992 г.). Средний диаметр ОРФ определен как средний поверхностный диаметр, т.е. диаметр частицы, произведение площади поверхности которой на число частиц в единице объема аэрозоля равно общей площади поверхности частиц, содержащихся в единице объема аэрозоля. Из приведенных данных видно, что вклад ОРФ в массовую концентрацию всех частиц составляет 0,8–3% для Быстрянки и 2–7,2% для Барнаула, подавляющая же часть массы приходится на частицы грубодисперсной фракции, в то время как наибольшее значение для организма представляет ОРФ.

Т а б л и ц а 2

Диапазон	$n$	1	2	3	4	5
Размеры частиц в диапазоне, $\cdot 10^{-6}$ , м		0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–1	1–2	2–5
Средний диаметр диапазона, $\cdot 10^{-6}$ , м	$D_n$	0,35	0,45	0,75	1,5	3,5
Число частиц в диапазоне*, $\cdot 10^{-3}$ , м	$v_n$	657	713	574	62	38
Поверхность диапазона*, $\cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup>	$S_n = \pi D_n^2 v_n$	15058	17386	8977	442	388
Поверхность ОРФ*, $\cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup>	$S_{орф} = \sum_{n=1}^5 S_n$	25,29	45,34	101,37	438	138,7
		579	1105	1586	309	1494
Средний диаметр ОРФ*, $\cdot 10^{-6}$ , м	$D_{орф} = \sqrt{\frac{S_{орф}}{\pi \sum v_n}}$	315,08				
		5075				
Массовая концентрация ОРФ*, $\cdot 10^{-4}$ , мг/м <sup>3</sup>	$C_{орф} = \frac{\pi D_{орф}^3 \rho \sum v_n}{6V}$	0,7		0,616		
		3,5÷12		при $\rho = (1\div 3,5) \cdot 10^9$ , мг/м <sup>3</sup>		
		49÷166				
Массовая концентрация всех частиц на фильтре*, мг/м <sup>3</sup>	$C_\phi$					0,04
						0,23

\* Верхняя строка цифр – п. Быстрянка, нижняя строка – г. Барнаул.

Таким образом, для более эффективной оценки качества атмосферного воздуха при расчете ПДК необходимо учитывать фракции аэрозоля, в особенности ОРФ, а также плотность вещества аэрозольных частиц.

1. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 510 с.
2. Сборник законодательных нормативных и методических документов для экспертизы воздуха охранных мероприятий. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 320 с.
3. Бр им бл к ум б П. // Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 352 с.
4. В и г д о р ч и к Е. А. // Задержка аэрозолей при дыхании. Л.: Изд-во ЛИОТ, 1948. 370 с.
5. Ф у к с Н. А. // Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 520 с.

НИИ экологического мониторинга при АГУ,  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

Поступила в редакцию  
26 января 1996 г.

**V.G. Monoshkina, I.A. Sutorikhin. Dangerous Respirable Fraction of Particles of Nearground Atmospheric Aerosol.**

Various aspects of the effect of microphysical parameters of the nearground aerosol on human respiratory system are discussed in this paper.