

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_{раз}) и среднесуточные (ПДК_{сут}). Первая относится к 20÷30-минутному интервалу усреднения, вторая определяет длительное время воздействия без строгого фиксирования его продолжительности [1].

Например, значение ПДК_{раз} для пыли (твердые вещества) составляет 0,5, а для сажи 0,15 мг/м³ [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).

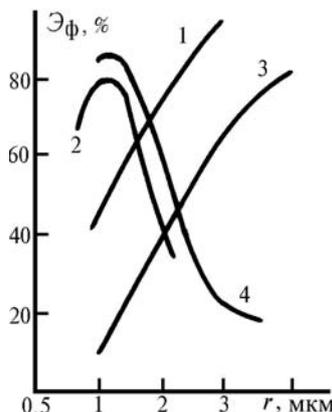
Таблица 1

Отделы дыхательной системы	N	R , см	L , см	S , см ²	U , см·с ⁻¹
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/м³. Время прокачки 0,5 мин, скорость прокачки 2 м³/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 ²	$S_n = \pi D_n^2 v_n$	15058	17386	8977	442	388
Поверхность ОРФ*, $\cdot 10^{-8}$, м ²	$S_{орф} = \sum_{n=1}^5 S_n$	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 ³	$C_{орф} = \frac{\pi D_{орф}^3 \rho \sum v_n}{6V}$	0,7		0,616		
		3,5÷12		при $\rho = (1\div 3,5) \cdot 10^9$, мг/м ³		
		49÷166				
Массовая концентрация всех частиц на фильтре*, мг/м ³	C_ϕ					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.