

## Практическая работа № 2

### Дисперсные системы в атмосфере

Дисперсные системы, состоящие из твердых или жидких частиц, распределенных в газовой фазе, называются *аэрозолями*.

Условия существования устойчивого аэрозоля:

- маленькая скорость седиментации частиц;
- отношение сил инерции к силам вязкости мало;
- система обладает высокой удельной поверхностью;
- в системе реализуется активное броуновское движение частиц.

Время жизни частиц в атмосфере определяется скоростью ее седиментации.

$$W_g = 2r^2 \rho_p g / (9\mu)$$

– уравнение Стокса при условии, что радиус частицы больше величины среднего свободного пробега молекулы, где  $r$  и  $\rho$  – радиус и плотность частицы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\mu$  – динамическая вязкость газа ( для воздуха при 298 К  $\mu = 1,81 \cdot 10^{-4}$  Па·с).

В атмосфере скорость седиментации зависит от высоты над уровнем моря.

Скорость броуновского движения увеличивается с размером частиц и обычно принимается во внимание, если  $r < 0,5$  мкм.

Важным следствием броуновского движения является столкновении частиц и их последующая коагуляция. Скорость коагуляции описывается уравнением:

$$-dN/dt = 8\pi D r N^2,$$

где  $N$  – число частиц в единице объёма;  $t$  – время;  $D$  – коэффициент диффузии частиц:

$$D = kT (1 + AL/t) / (6\pi\mu r),$$

где  $k$  – константа Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $A$  – поправочный коэффициент Стокса –Кунихема;  $L$  – средняя длина свободного пробега молекул газа ( $L = 65,3$  нм при нормальных условиях).

Коэффициент  $A$  описывается уравнением:

$$A = 1,257 + 0,400 \exp(-1,10r/L).$$

Тогда

$$-dN/dt = 4kt (1 + AL/t) N^2 / (3\mu).$$

Из этого уравнения следует, что скорость выведения частиц из атмосферы в результате их коагуляции пропорциональна квадрату концентрации и обратно пропорциональна радиусу частиц.

Аэрозоли обычно подразделяются на две большие группы по происхождению и по размерам частиц - микро и макрочастицы. Микрочастицы (радиус меньше 0,5 -1,0 мкм) образуются в процессах коагуляции и конденсации, тогда как макрочастицы (радиус > 1,0 мкм) возникают в основном при дезинтеграции поверхности Земли.

### Примеры решения типовых задач

**Пример 1.** Сколько частиц пыли присутствует в каждом кубическом метре воздуха рабочей зоны при концентрации равной ПДК (р.з.) = 6 мг/м<sup>3</sup> диаметр частиц 0,5 мкм, все частицы сферической формы.

**Решение.** В каждом кубическом метре воздуха содержится 6 мг пыли, состоящей из одинаковых сферических частиц. Тогда количество частиц пыли в одном метре кубическом будет равно массе пыли в 1 м<sup>3</sup> деленной на массу одной частицы пыли. Массу одной частицы можно найти, зная объём частицы  $V$  и плотность пыли  $\rho$ :  $m(\text{ч}) = V \cdot \rho$ . Для частиц сферической формы  $V = \pi d^3/6$ , где  $d$  – диаметр частицы;  
 $m(\text{ч}) = 3,14 (0,5 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 4 \cdot 10^6 / 6 = 0,26 \cdot 10^{-12} \text{ (г)} = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ (мг)}$ .

Количество частиц пыли в 1 м<sup>3</sup> воздуха составляет:

$n(\text{ч}) = C(\text{пыли})/m(\text{ч})$ , где  $C$  – концентрация частиц пыли, мг/м<sup>3</sup> (по условию задачи,  $C = \text{ПДК(р.з.)} = 6 \text{ мг/м}^3$ );

$$n(\text{ч}) = 6 / (2,6 \cdot 10^{-10}) = 2,3 \cdot 10^{10} \text{ (частиц/м}^3\text{)}.$$

**Ответ:** в кубическом метре воздуха рабочей зоны содержится  $2,3 \cdot 10^{10}$  частиц пыли.

**Пример 2.** В контейнер, площадь внутренней поверхности стенок которого равна 1 м<sup>2</sup>, поместили пробу загрязненного воздуха объёмом 50 л. Концентрация однородных аэрозольных частиц сферической формы в пробе воздуха составляла  $2,3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ . Какую часть поверхности контейнера могли бы покрыть частицы, если их средний диаметр равен 0,5 мкм?

**Решение.** Площадь, занимаемая одной частицей сферической формы равна площади сечения, проходящего через центр сферы:

$$S(\text{ч}) = \pi d^2/4,$$

где  $d$  – диаметр частицы ( $d = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ );

$$S(\text{ч}) = 3,14 \cdot (0,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 4 = 1,96 \cdot 10^{-13} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площадь, занимаемая всеми частицами:

$$S = S(\text{ч})NV,$$

где  $N$  – концентрация частиц в пробе воздуха в кубическом метре;  $V$  – объём пробы воздуха, м<sup>3</sup>;

$$S = 1,96 \cdot 10^{-13} \cdot 2,310^{10} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Доля площади стенок контейнера, занимаемая частицами, составит:

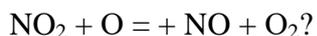
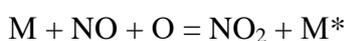
$$\alpha = S/S(\text{контейнера}) = 2,2 \cdot 10^{-4} / 1 = 2,2 \cdot 10^{-4}.$$



1	3	1	4	1	5	2	3
2	2	2	3	2	4	3	10
3	4	3	5	3	2	4	5
4	5	2	2	2	5	5	10
5	2	4	4	4	3	2	2
6	4	6	3	1	4	4	12
7	3	5	4	2	1	1	10
8	2	1	3	2,5	3,5	2	12
9	6	3	2	1,5	3	5	15
10	1	2	3	4	5	3	3

### Контрольные задачи

1. В каждом кубическом сантиметре воздуха присутствует  $2 \cdot 10^6$  частиц сферической формы, средний диаметр, которых составляет 1 мкм. Плотность частиц равна  $4 \text{ г/см}^3$ . Превышается ли значение ПДК для воздуха рабочей зоны, равное  $6 \text{ мг/м}^3$ ?
2. Сравните скорость оседания аэрозолей с размерами частиц  $r = 2,5 \text{ мкм}$ , если их плотность составляет 2 и  $5 \text{ г/см}^3$ . За какое время эти частицы могут быть полностью выведены из атмосферы с высоты 15 м?
3. В контейнер, площадь внутренней поверхности которого равна  $4 \text{ м}^2$ , поместили 50 л загрязненного воздуха, в котором концентрация однородных аэрозольных частиц сферической формы составляла  $10^6 \text{ см}^{-3}$ . Какую часть поверхности покрыв бы этот аэрозоль, если бы частицы распределились в виде мономолекулярного слоя, а диаметр частиц составлял  $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ? Выразите концентрацию частиц в пробе загрязненного воздуха в  $\text{мг/м}^3$ , если их плотность равна  $1 \text{ г/см}^3$ .
4. Какое было бы отношение концентраций NO и NO<sub>2</sub> в равновесной системе на высоте 11 км, если их взаимную трансформацию можно было бы ограничить следующими реакциями:



Константы скорости реакций (1) и (2) на этой высоте равны соответственно:  $k_1 = 8 \cdot 10^{-32} \text{ см}^6 \cdot \text{с}^{-1}$ , если M — молекулы кислорода;  $k_2 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

20. Какой из фреонов а)  $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$ ; б)  $\text{CF}_3\text{CHCl}_2$  более опасен для озонового слоя?