

Структурные параметры атмосферы

Уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

Соотношение связи структурных параметров:

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

Уравнение гидростатики:

$$dp = -\rho g dz$$

Плотность воздуха:

$$\rho = -\frac{1}{g} \frac{dp}{dz}$$

Уравнение состояния для идеального газа:

$$p = nkT$$

Температурная стратификация атмосферы

| Слой | Высота | Переходный слой |
|--------------------|---------------|------------------------|
| Слой перемешивания | 300-500 м | |
| Тропосфера | 0 – 11 км | Тропопауза |
| Стратосфера | 11 – 50 км | Стратопауза |
| Мезосфера | 50 – 90 км | Мезопауза |
| Термосфера | Выше 90 км | Термопауза |
| Экзосфера | Выше 450 км | |

Барометрические формулы

$$\rho = -\frac{1}{g} \frac{dp}{dz} \quad p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\mu g p}{RT}$$

$$p(z) = p(0) \exp\left\{-\frac{1}{R} \int_0^z \frac{\mu(z) g(z)}{T(z)} dz\right\}$$

$$p(z) = p(0) \exp\left(-\frac{\mu^* g^*}{RT^*} z\right)$$

$$\frac{\mu^* g^*}{RT^*} = \frac{1}{H}$$

$$p(z) = p(0) \exp\left(-\frac{z}{H}\right)$$

Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты

$$p \cdot V^\gamma = const$$

Где p - давление газа, V - его объем, $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ - показатель адиабаты. Для идеального

газа $\gamma = \frac{i+2}{i}$. Где i - число степеней свободы молекулы.

C_p, C_V - теплоемкости газа соответственно при постоянном давлении и постоянном объеме.

$$T \cdot p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = const$$

Для двух разных высот тропосферы с давлениями $p_1 > p_2$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Наименования и главные характеристики сфер и переходных слоев

| Сфера | Высота нижней и верхней границы, км | Характер изменения температуры с высотой | Переходный слой |
|---------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|
| Тропосфера | От поверхности земли до 8—17 | Понижение | Тропопауза |
| Стратосфера | От 8—17 до 50—55 | Повышение | Стратопауза |
| Мезосфера | От 50—55 до 80 | Понижение | Мезопауза |
| Термосфера | От 80 до 800 | Повышение | Термопауза |
| Экзосфера (внешняя сфера) | Выше 800 | — | — |

Характеристика слоев

| Слой | $T_{Н}, ^\circ\text{C}^*$ | $T_{В}, ^\circ\text{C}^{**}$ | Градиент температур, $^\circ\text{C}$ | Высота, км |
|-------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------|
| Тропосфера | 15 | -56 | -6,45 | 0-11 |
| Стратосфера | -56 | -2 | +1,38 | 11-50 |
| Мезосфера | -2 | -92 | -2,56 | 50-85 |
| Термосфера | -92 | 1200 | +3,11 | 85-500 |

Состав воздуха

| Основные газовые составляющие | % |
|--------------------------------------|---|
| Азот, N ₂ | 78.084% |
| Кислород, O ₂ | 20.946% |
| Аргон, Ar | 0.934% |
| Водяной пар, H ₂ O | переменная составляющая; примерно 0.1 % - 1% |
| Малые газовые составляющие | ppm |
| Углекислый газ, CO ₂ | 383 |
| Неон, Ne | 18.18 |
| Гелий, He | 5.24 |
| Метан, CH ₄ | 1.7 |
| Криптон, Kr | 1.14 |
| Водород, H ₂ | 0.55 |

Состав первичной и современной атмосферы Земли

| Газы | Состав земной атмосферы | |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------|
| | При образовании* | В настоящее время |
| Азот N ₂ | 1,5 | 78 |
| Кислород O ₂ | 0 | 21 |
| Озон O ₃ | - | 10 ⁻⁵ |
| Углекислый газ CO ₂ | 98 | 0,03 |
| Оксид углерода CO | - | 10 ⁻⁴ |
| Водяной пар | 0,4 | 0,1 |
| Аргон Ar | 0,19 | 0,93 |

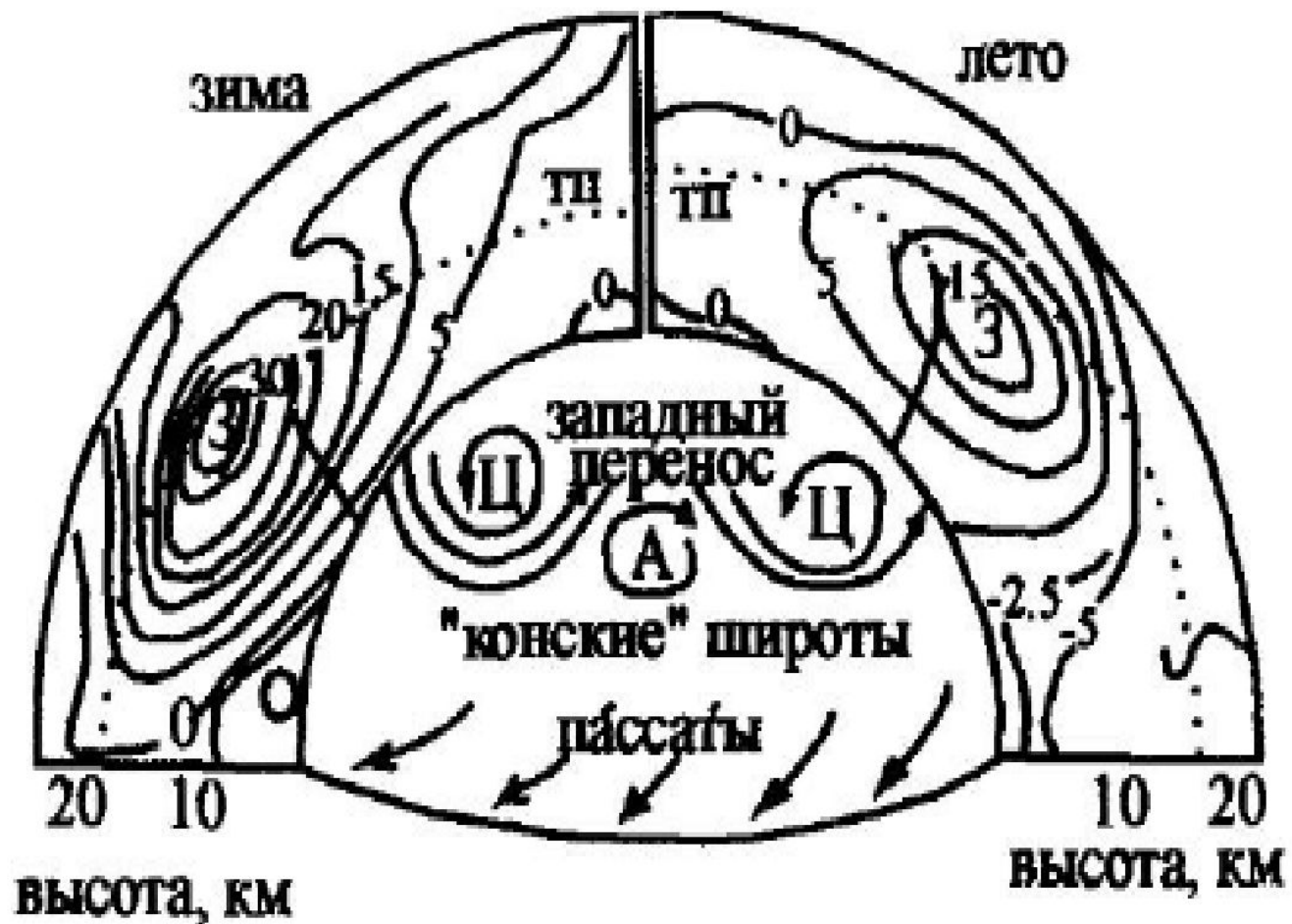


Рис. 1. Основные зональные течения северного полушария зимой (левая часть) и летом (правая часть): изолинии на вертикальных разрезах – значения зональной составляющей скорости ветра; тп – тропопауза.

Закон Фика

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \nabla^2 C$$

где K – коэффициент обмена, ∇^2 – оператор Лапласа.

Средний (крупномасштабный) перенос

$$t_{trans} = \frac{d}{\bar{U}}$$

Турбулентный перенос

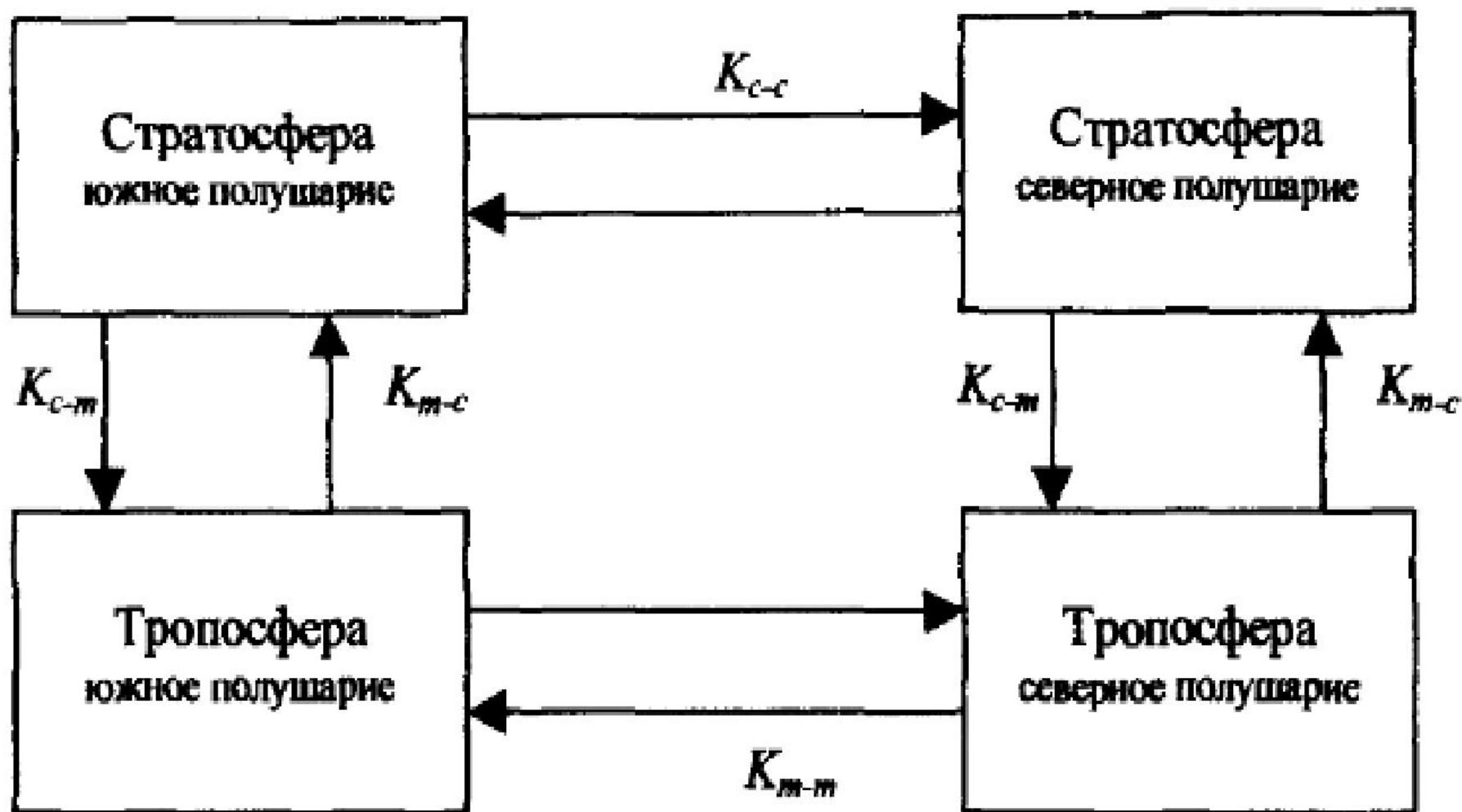
$$t_{trans} = \pi d^2 / 4K_d$$

Здесь d – расстояние, \bar{U} – меридиональная или вертикальная составляющая скорости, K_d – коэффициент турбулентного обмена в соответствующем направлении.

Характеристики горизонтального меридионального и вертикального переноса примеси крупномасштабными и турбулентными движениями

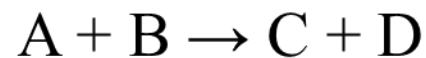
| | <i>Горизонтальный перенос</i> | | | <i>Вертикальный перенос</i> | | |
|-------------|--|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------|-----------------------|
| | Крупномасштабный, l_{trans} , мес | Турбулентный, l_{turb} , мес | K_{yy} , $\times 10^6$, m^2/c | Крупномасштабный, l_{trans} , мес | Турбулентный, l_{turb} , мес | K_{zz} , m^2/c |
| Тропосфера | 6-25 | 1,8-6,6 | 0,5-1,8 | 20 | 1,2 | 1-25 |
| Стратосфера | 6-10 | 1,1-5,5 | 0,6-3,0 | 19 | 27 | 0,1-3,6 |

Схема атмосферной бокс-модели, состоящей из четырех резервуаров



Скорости химических реакций

Для бимолекулярной реакции:



$$R = k [A] [B],$$

где k – коэффициент пропорциональности между скоростью реакции R и произведением концентраций реагирующих веществ. Скорости изменения концентрации веществ в реакции:

$$R = -\frac{d[A]}{dt}, R = -\frac{d[B]}{dt}, R = \frac{d[C]}{dt}, R = \frac{d[D]}{dt}.$$

Единицы измерения скорости реакции – [молекул/(см³·с)]. Размерность константы скорости k - [см³/(молекул · с)].

Для реакций типа $A \rightarrow B + C$ размерность k будет [1/с], скорость реакции:

$$R = -\frac{d[A]}{dt} = \frac{d[B]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} = k[A]$$

Для реакций с участием молекул трех соединений $A + B + M \rightarrow C + M$ скорость рассчитывается:

$$R = -\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} = k[A][B][M]$$

Размерность k - $[\text{см}^6/\text{молекул}^2]$. M – третье тело, которое участвует в реакции, принимая на себя избыток энергии, но его концентрация при этом не меняется.