

# 2 февраля 2008 года

- **повторяем** «Подъёмную силу крыла»
- **слушаем** «Введение в физику атмосферы»:
  - как устроена атмосфера,
  - как меняются её характеристики с высотой
  - как атмосфера стала такой, как она есть
  - почему дуют ветры и
  - как вращение Земли влияет на их направление
  - откуда ураганы берут свою энергию

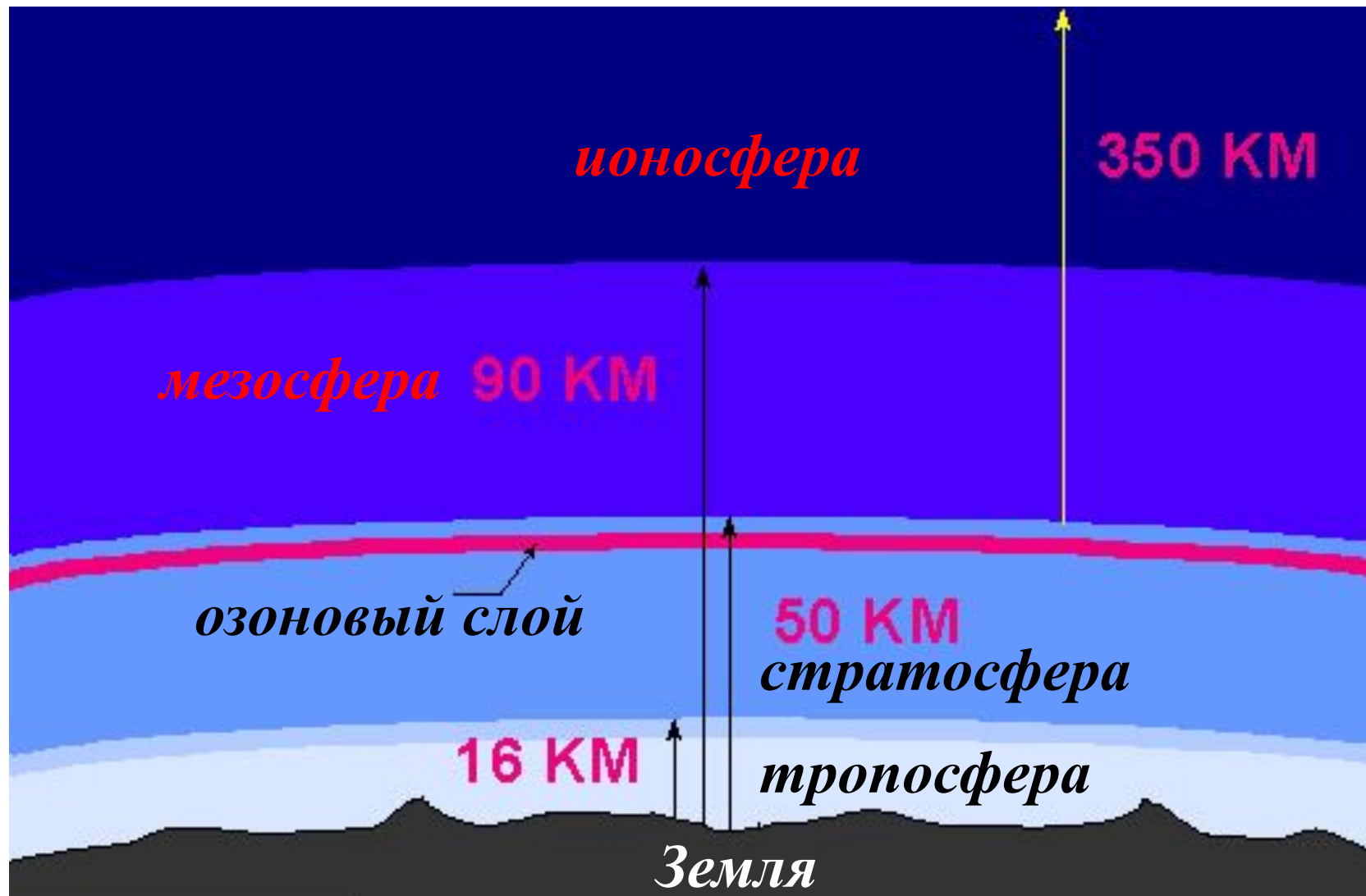
## Вопросы для повторения:

- Кто, когда и где совершил первый полёт на самолёте, сколько он длился?
- Почему воздух, обтекающий крыло, создаёт подъёмную силу?
- Как зависит подъёмная сила крыла от угла атаки?
- Как зависит подъёмная сила крыла от его площади, плотности воздуха и его скорости?
- Как закон Бернулли позволяет определить направление подъёмной силы у закрученного мяча?
- Что играет роль движущей силы у планера?

# Атмосфера - воздушное одеало Земли



# Слои атмосферы



# Слои атмосферы

## *тропосфера*

**Тропосфера** - (от греческого *τροπος* - поворот, движение) - слой атмосферы, где

- находится больше 90 % всех газов атмосферы, необходимых для жизни и почти отсутствует ионизирующее излучение,
- происходят все явления, определяющие погоду,
- температура падает на 6,5 градусов с подъёмом на каждый км (с +17 до -52°C), а давление до 1/10 от давления на уровне моря,
- воздушные массы могут двигаться вверх и вниз; в более высоких слоях слои атмосферы двигаются только горизонтально,
- сверху тропосферы находится тонкий (1-2 км) слой, где всегда дуют ветры на восток

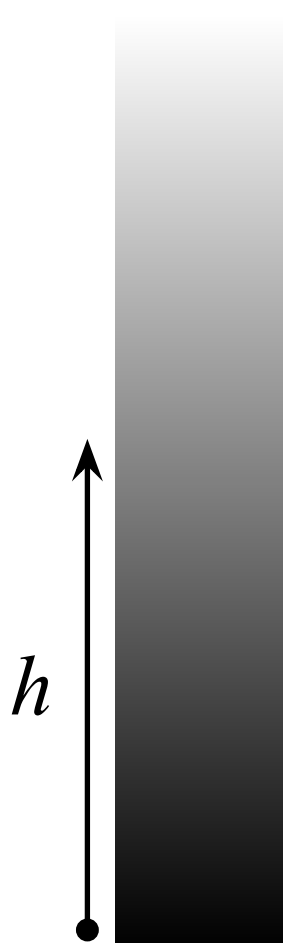
***Почему*** тропосфера кончается на высоте 15 км?

# Как изменяется давление воздуха с высотой ?

**Ответ:** уменьшается. А почему?

**Ответ:** газ притягивается к Земле.

По какому закону уменьшается давление с высотой?



$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h},$$

где  $p(h)$  – давление на высоте  $h$ ,

$p(0)$  – давление на уровне моря,

$g$  – ускорение свободного падения,

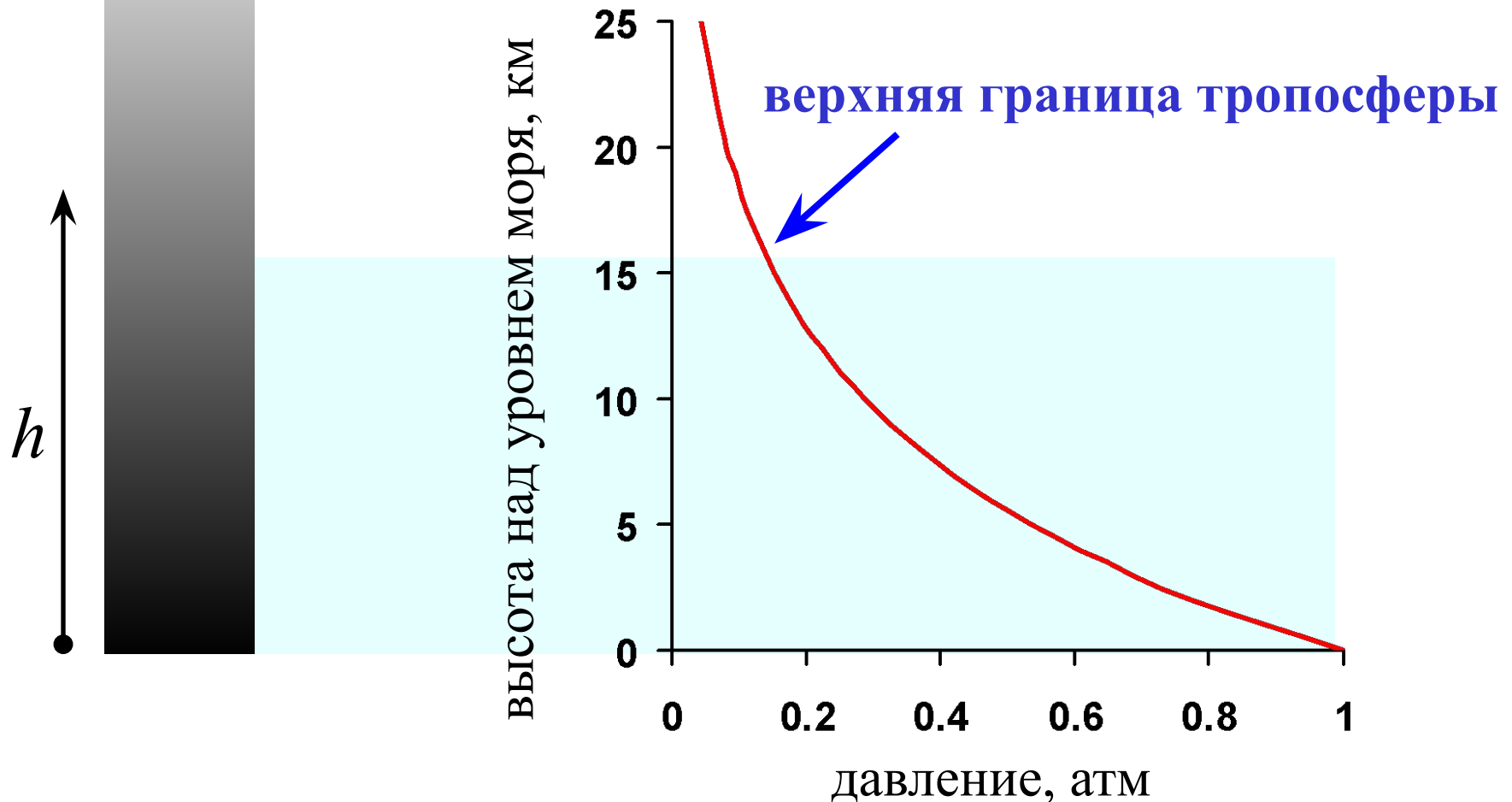
$\mu$  – молярная масса,

$R$  – газовая постоянная,

$T$  – абсолютная температура

# Как уменьшается давление воздуха с высотой ?

$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h} = p(0) \cdot e^{-\frac{h}{8 \text{ км}}}$$



# Как распределены в атмосфере лёгкие и тяжёлые газы

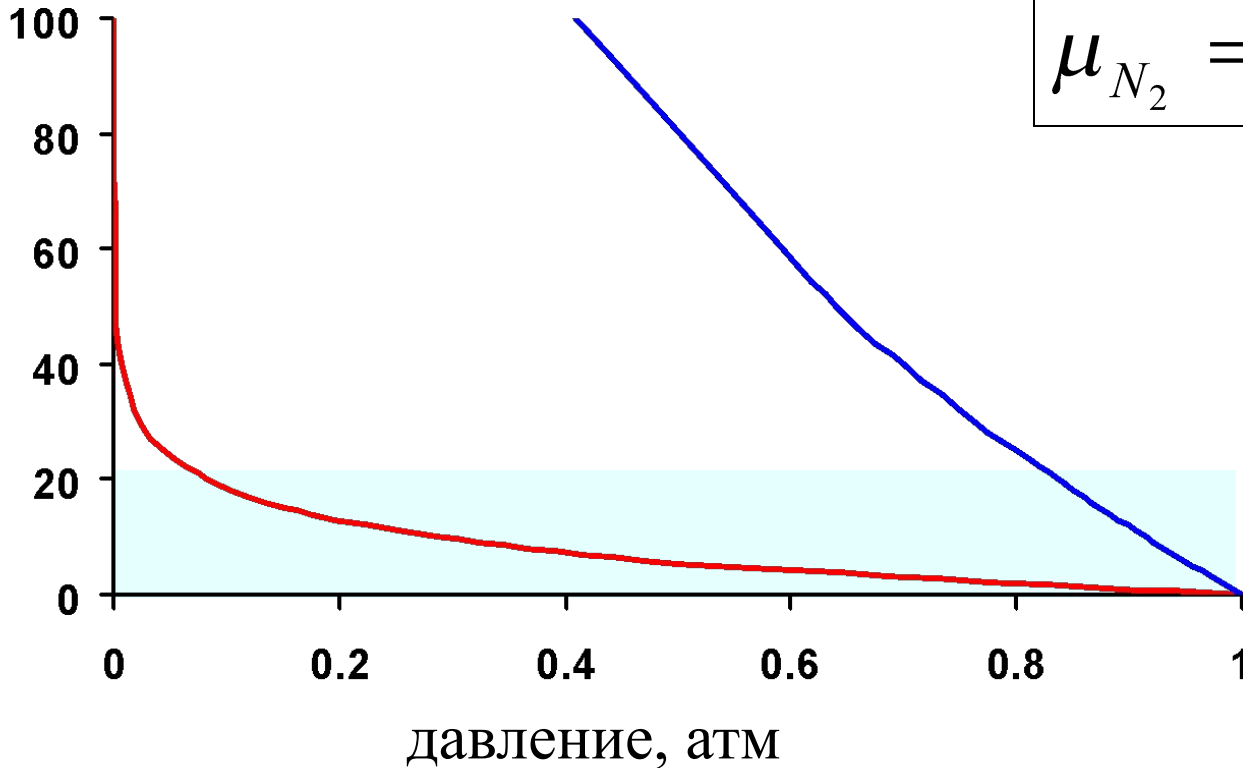
Сравним водород и азот

$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h}$$

$$\mu_{H_2} = 0,002 \text{ кг}$$

$$\mu_{N_2} = 0,028 \text{ кг}$$

высота над уровнем моря, км



**Лёгкие** газы со временем покидают тропосферу



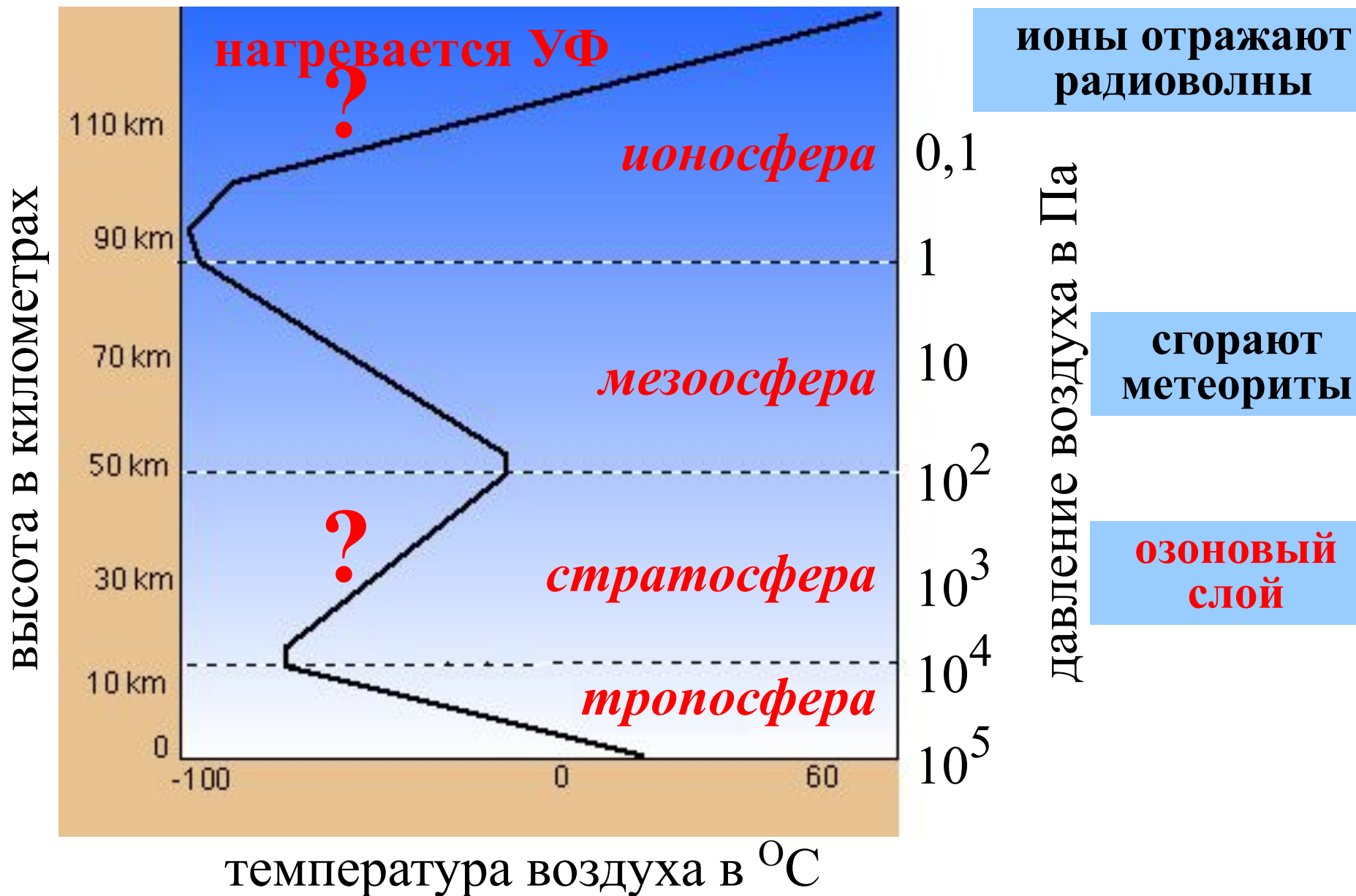
# Как изменяется температура воздуха с высотой ?

**Ответ:** понижается до  $-52^{\circ}\text{C}$  при подъёме на высоту 15 км.

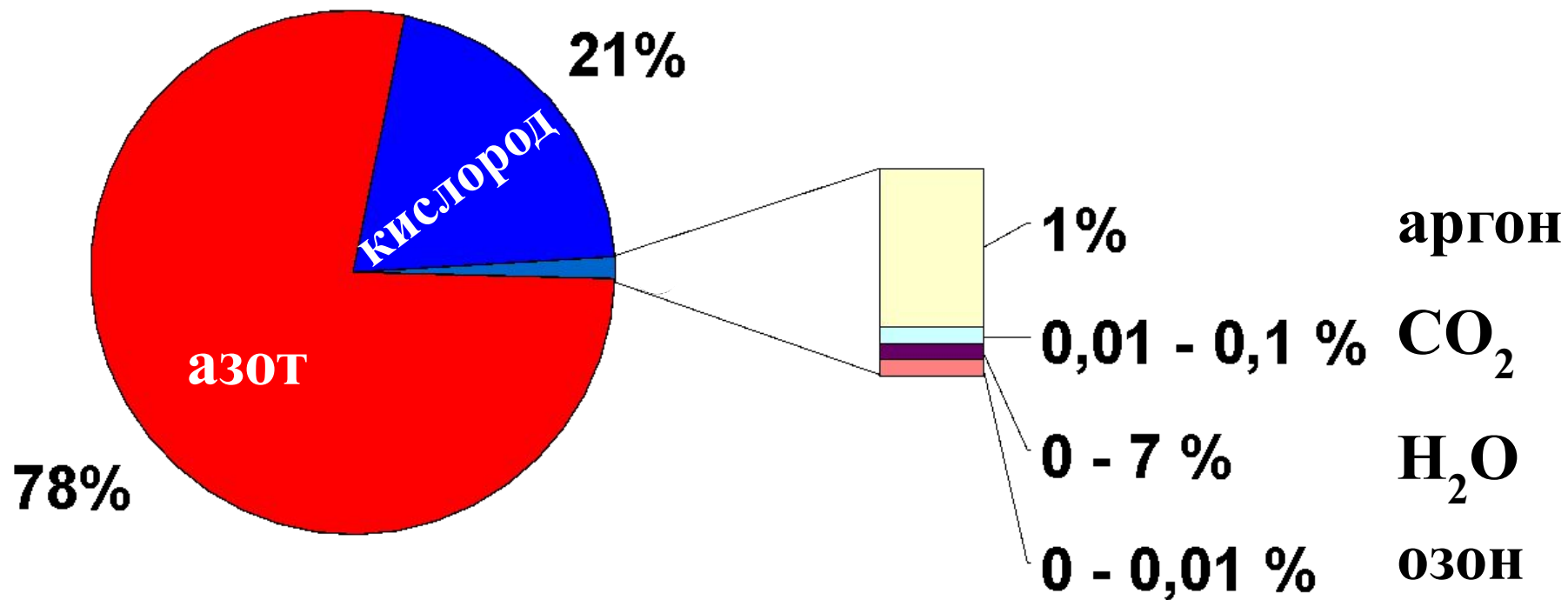
А почему? Ведь к Солнцу-то ближе!

**Ответ:** мы находимся под влиянием двух источников теплоты - Солнца и Земли. Приближение к Солнцу на 10 км не увеличивает падающего на нас потока тепла, так как расстояние до него очень велико, а такое же удаление от Земли - значительно уменьшает поток тепла от Земли.

# Как изменяется температура воздуха с высотой ?



# Газовый состав атмосферы Земли



**Всегда ли состав атмосферы был таким?**

# Как атмосфера стала такой, какой она есть?



- Земля образовалась 5 миллиардов лет тому назад
- в течение первых 500 миллионов лет из глубин остывающей Земли извергались газы:

$H_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  и пары воды.

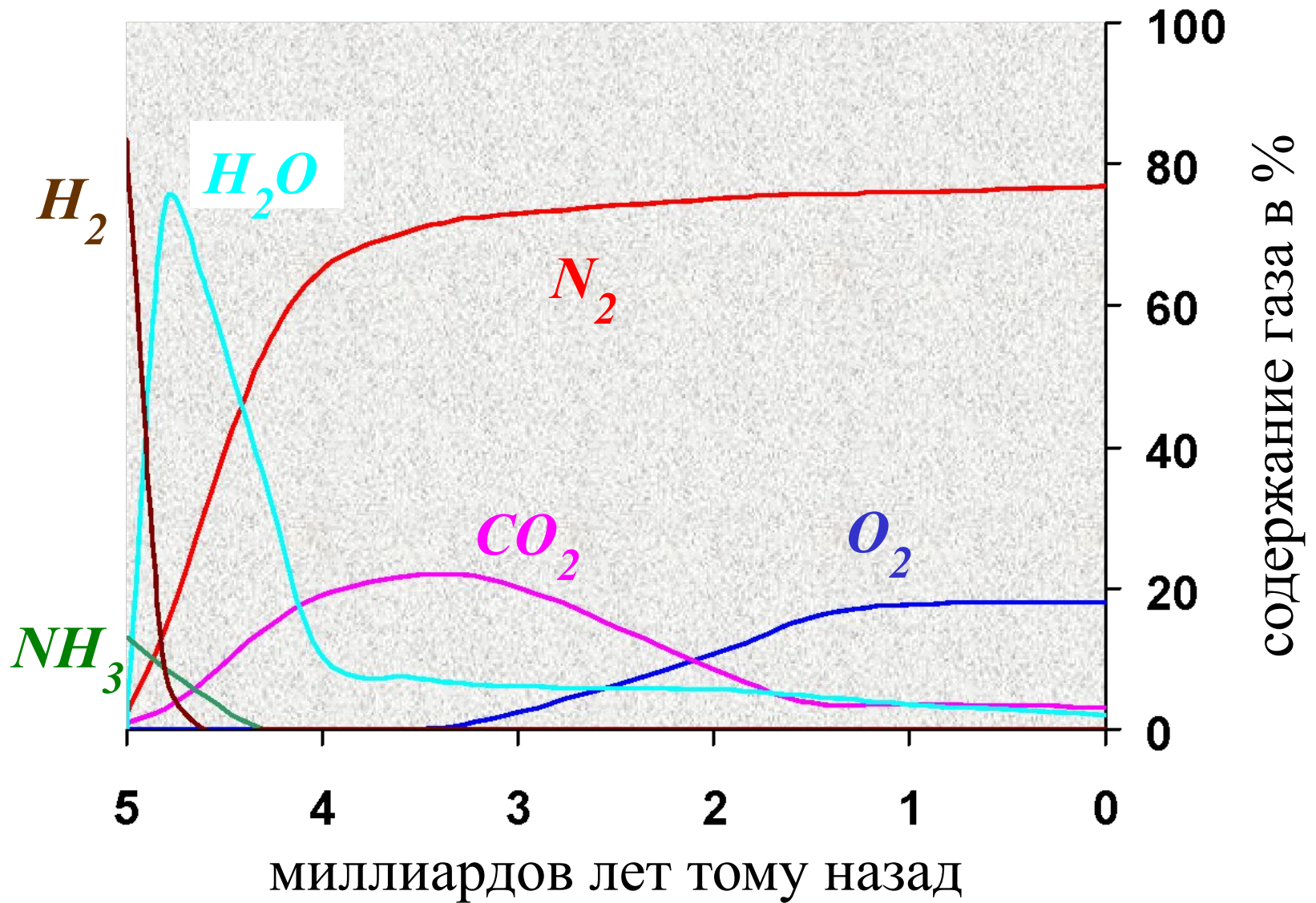
- **кислорода** в первоначальной атмосфере Земли  
**не было**

# Как атмосфера стала такой, какой она есть?

- 4 миллиарда лет тому назад Земля стала остывать, а пары воды - конденсироваться в водоёмы
- 3,5 миллиарда лет тому назад первые фотосинтезирующие (сине-зелёные) водоросли стали производить *кислород* из воды и  $CO_2$
- под действием излучения Солнца из кислорода образовывался озон  $O_3$ , который стал УФ-щитом Земли
- концентрация кислорода в атмосфере стала расти, а  $CO_2$  и водяных паров - падать
- легкие газы ( $H_2$ ,  $CH_4$  и  $NH_3$ ) улетучились в космос

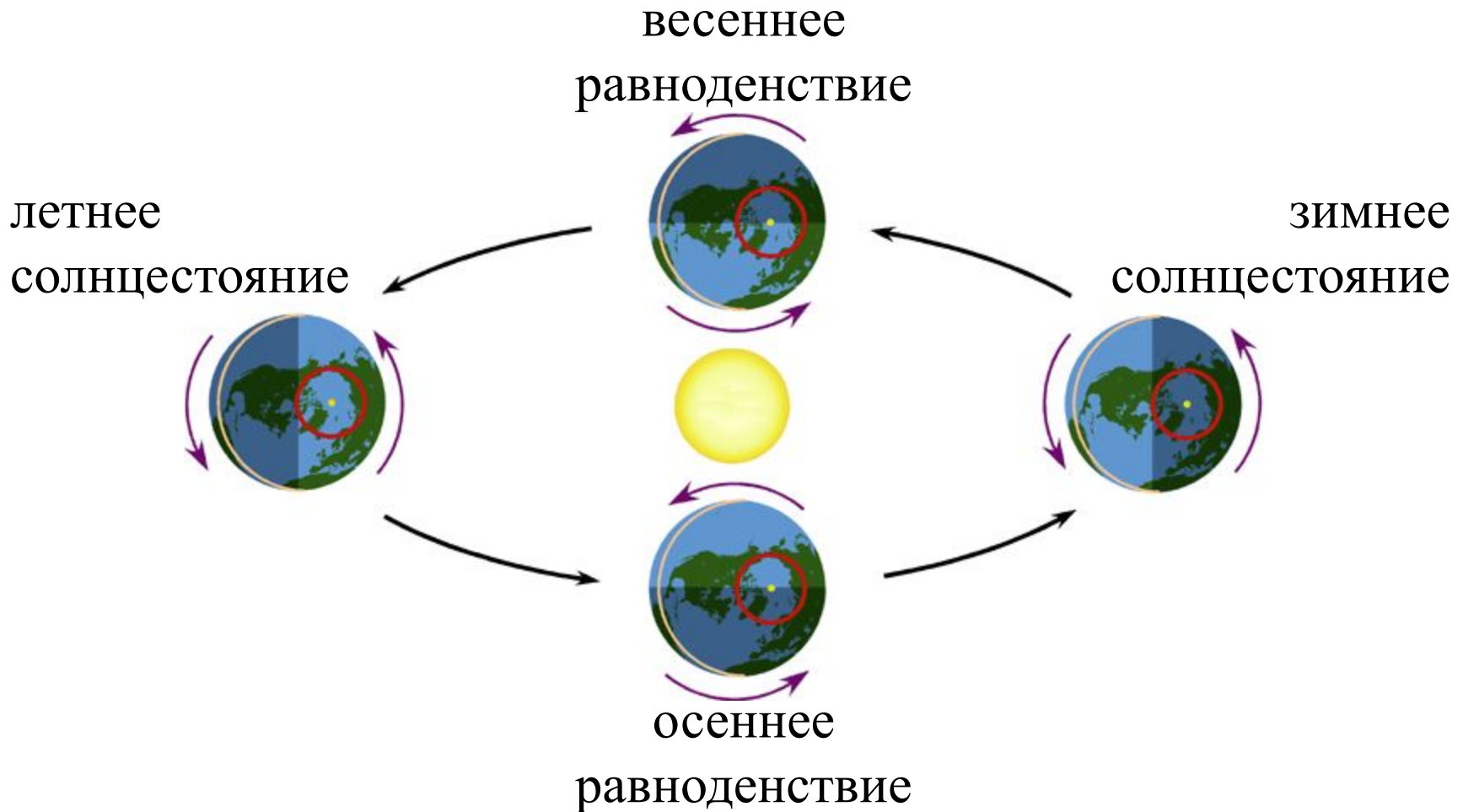


# Как атмосфера стала такой, какой она есть?



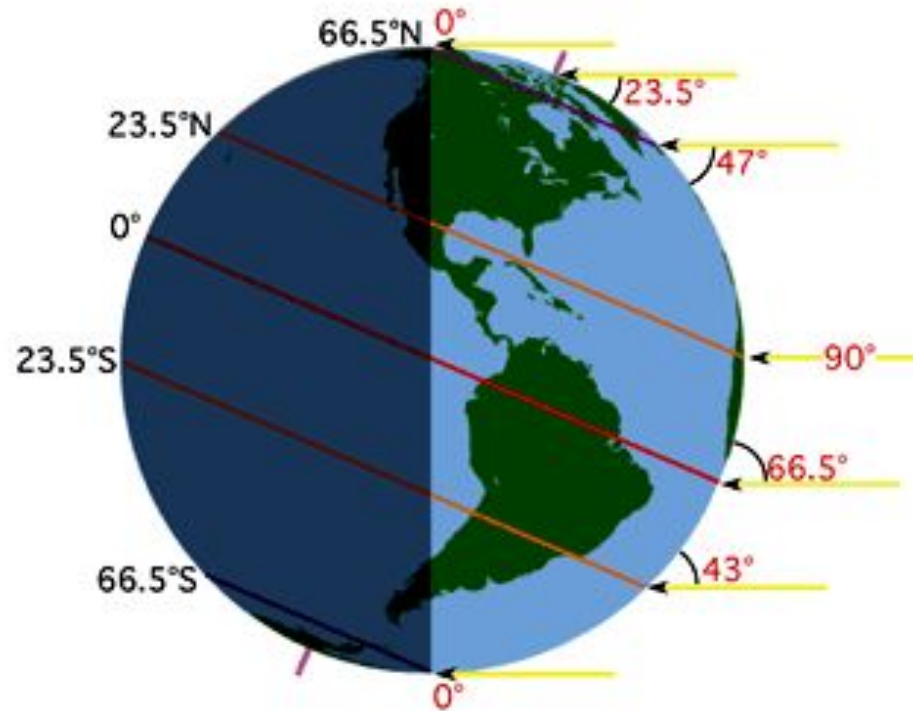
# Почему дуют ветры?

## *Как Земля движется вокруг Солнца*



Как называются положения Земли на орбите, показанные на рисунке (начиная с крайне правого)?

# Почему дуют ветры?

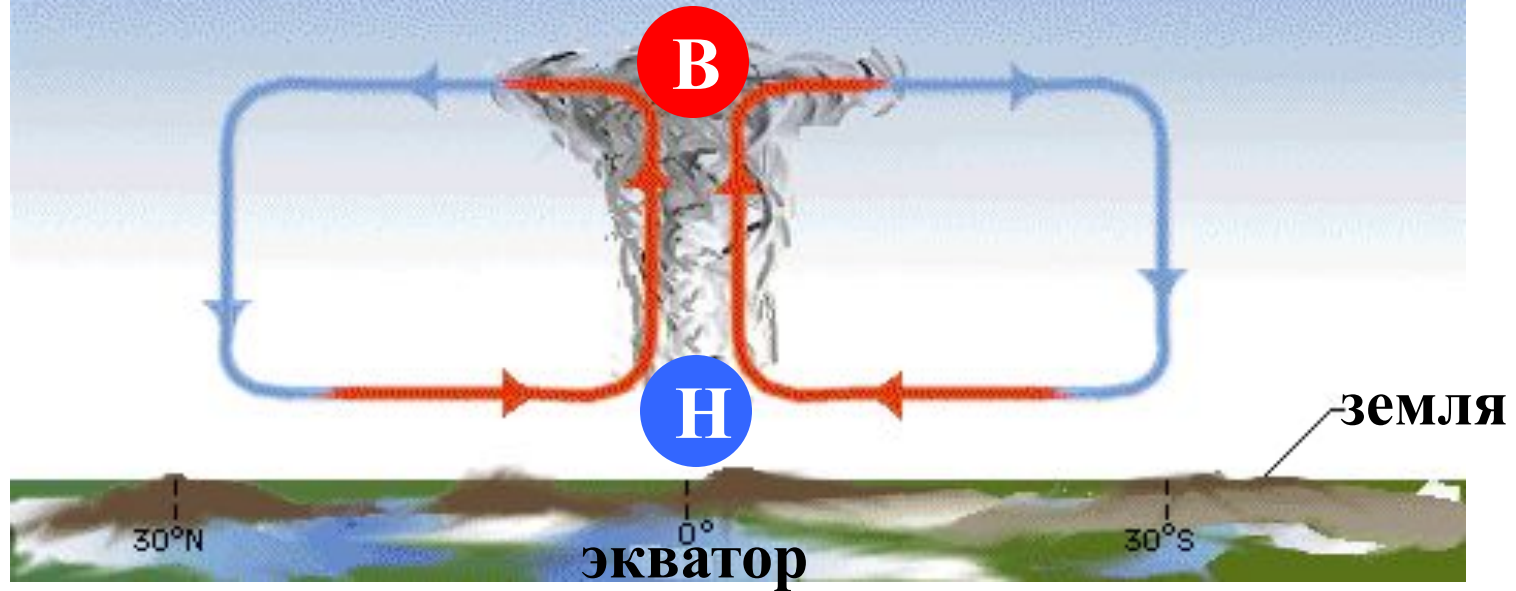


**Ответ:** потому что поверхность Земли *неодинаково* нагревается Солнцем.

- приполярные области излучают тепла в космос больше, чем получают от Солнца, а
- экваториальные излучают меньше, чем получают, становясь источниками энергии ветров, дующих от экватора к полюсу.



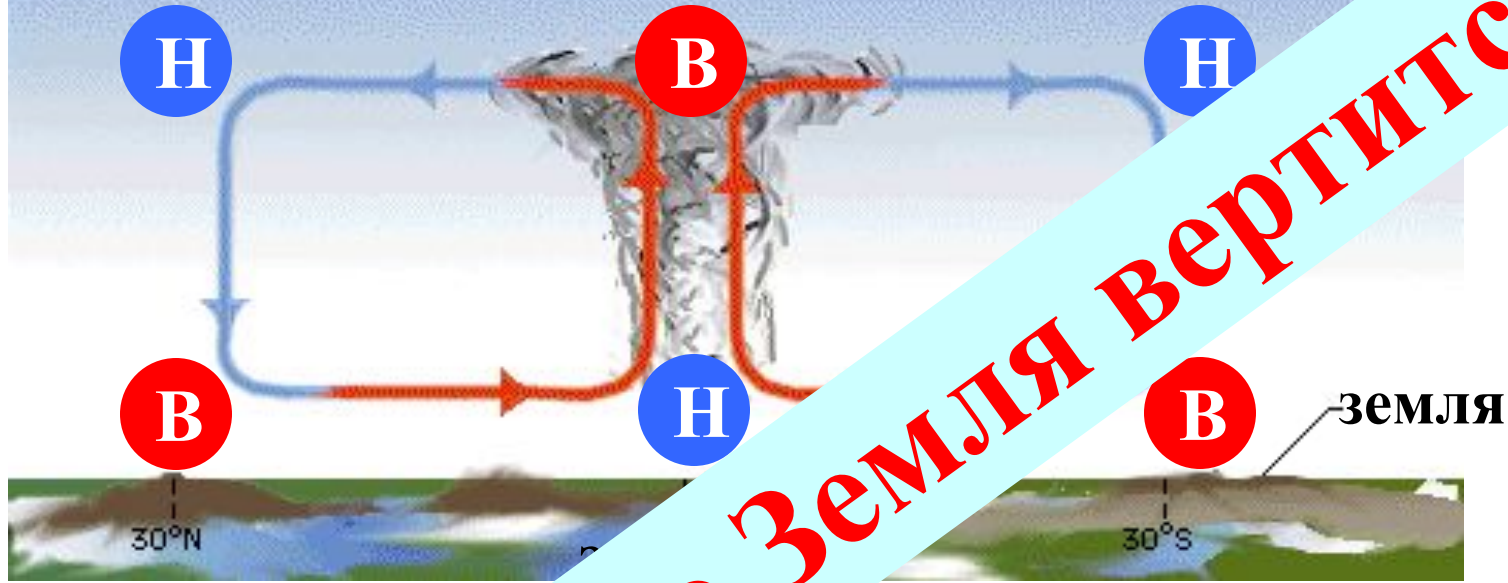
# Почему дуют ветры?



- тёплый воздух над экватором поднимается вверх,
- поднимаясь, воздух охлаждается,
- начинается конденсация водяных паров,
- воздух опять начинает нагреваться и подниматься,
- **НАВЕРХУ** образуется область **ВЫСОКОГО** давления

ячейка Хэдли (1735)

## Почему дуют ветры (продолжение)?



- **НАВЕРХУ** образует область **ВЫСОКОГО** давления,
- поднявшийся воздух движется к **ХОЛОДНЫМ ПОЛЮСАМ**,
- охлаждаясь, становится тяжелее и опускается,
- начинает двигаться вдоль земли к экватору.

**Мы забыли, ветры могут дуть только вдоль меридиан?**

# Как дуют ветры на **вращающейся** Земле



*Закон сохранения момента импульса*

Что произойдёт, если вращающийся на диске опустит руки?

**Ответ:** станет вращаться быстрее

Куда “потянет” человека, стоящего в центре **большого** вращающегося диска, если он направится к его краю?

**Ответ:** сила инерции станет его толкать в сторону, противоположную вращению диска и

называется эта сила -

силой *Кориолиса*

**самобразование: закон сохранения момента импульса  
(параграф 7.6-7.9 “Механика”, Мякишев)**

# Как дуют ветры на **вращающейся** Земле



**Куда** будут толкать силы инерции вращающейся Земли воздушные массы,двигающиеся от **северного** тропика к экватору в нижних слоях атмосферы?

**Ответ:** на запад, и мы называем эти ветры северо-восточными пассатами (от нем. *Passat* - ветер)

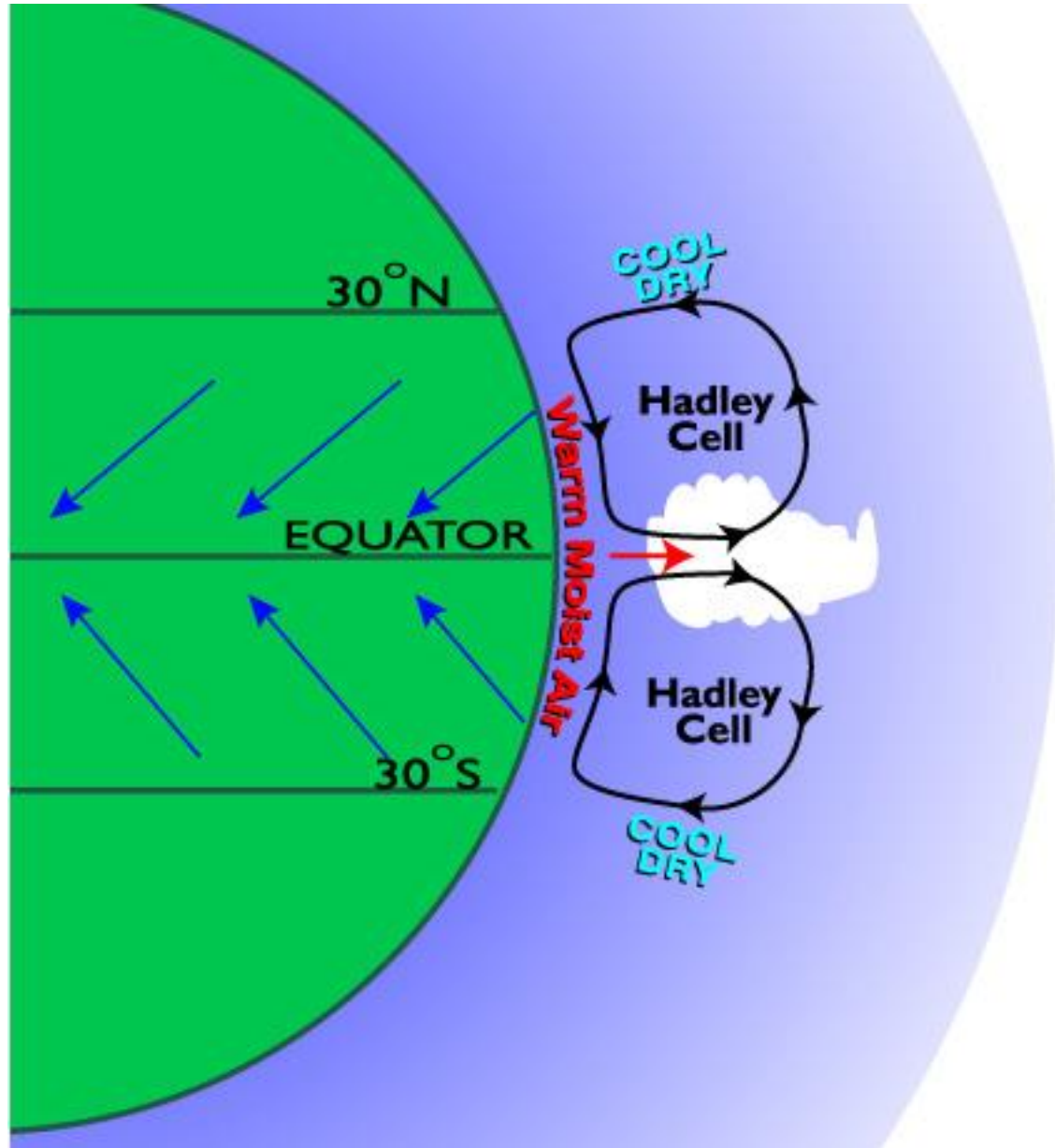
Воздушные массы,двигающиеся от **южного** тропика к экватору будут отклоняться...

**Ответ:** тоже на запад, и называются юго-восточными пассатами

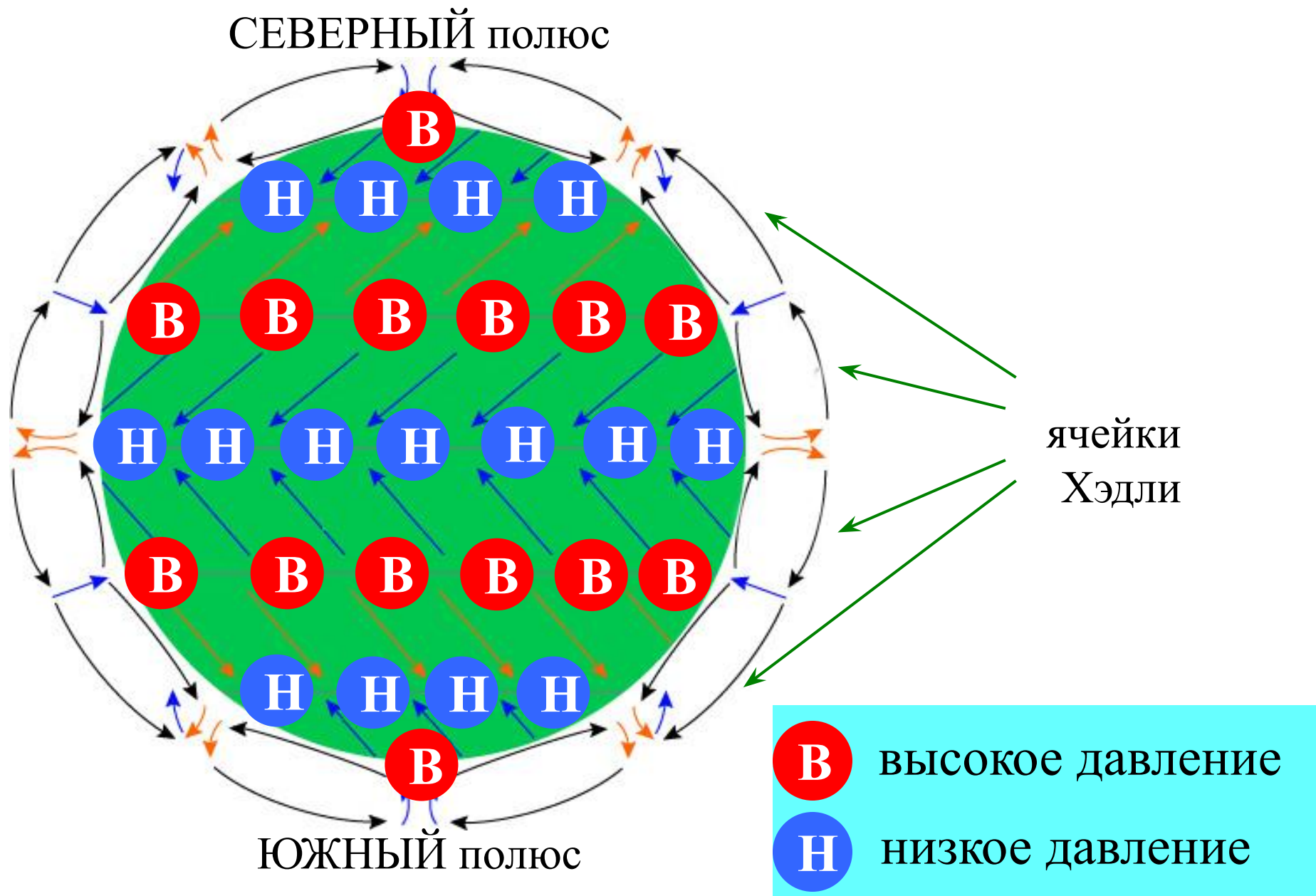
# Как дуют ветры на **вращающейся** Земле, вблизи экватора

↙  
направление пассатов

Англичане называют  
эти ветры “trade winds”  
- торговыми ветрами

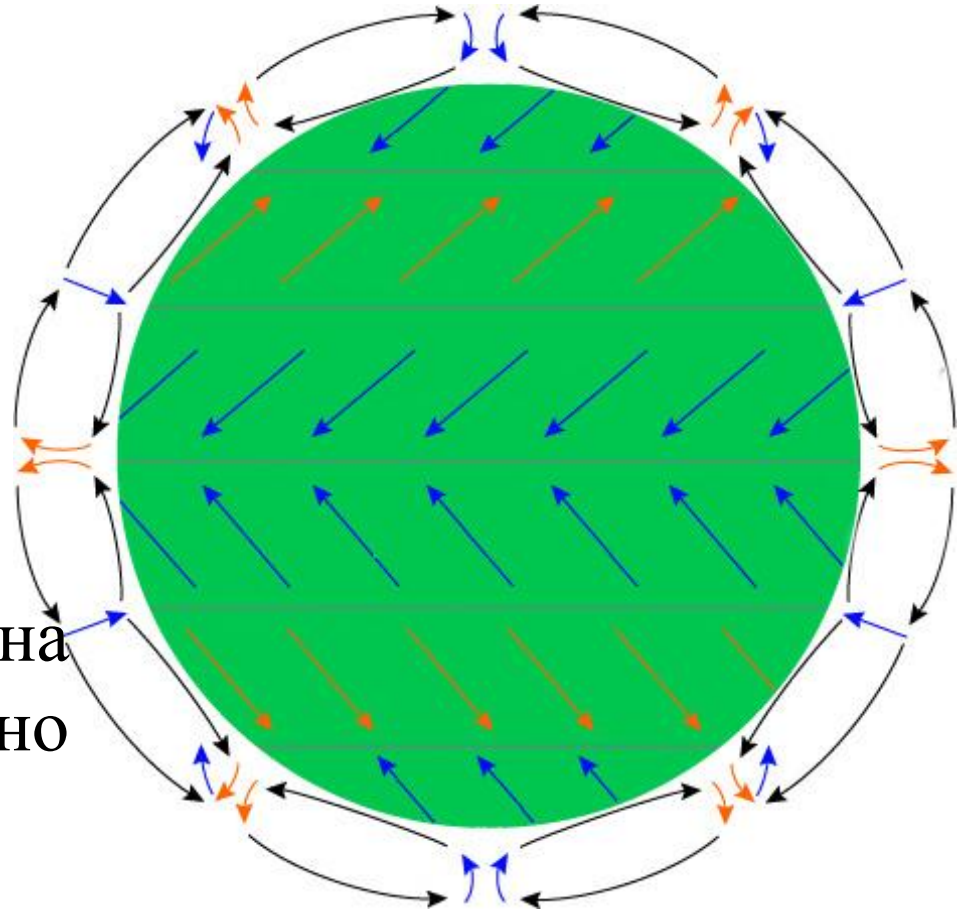


# Как дуют ветры на **вращающейся** Земле

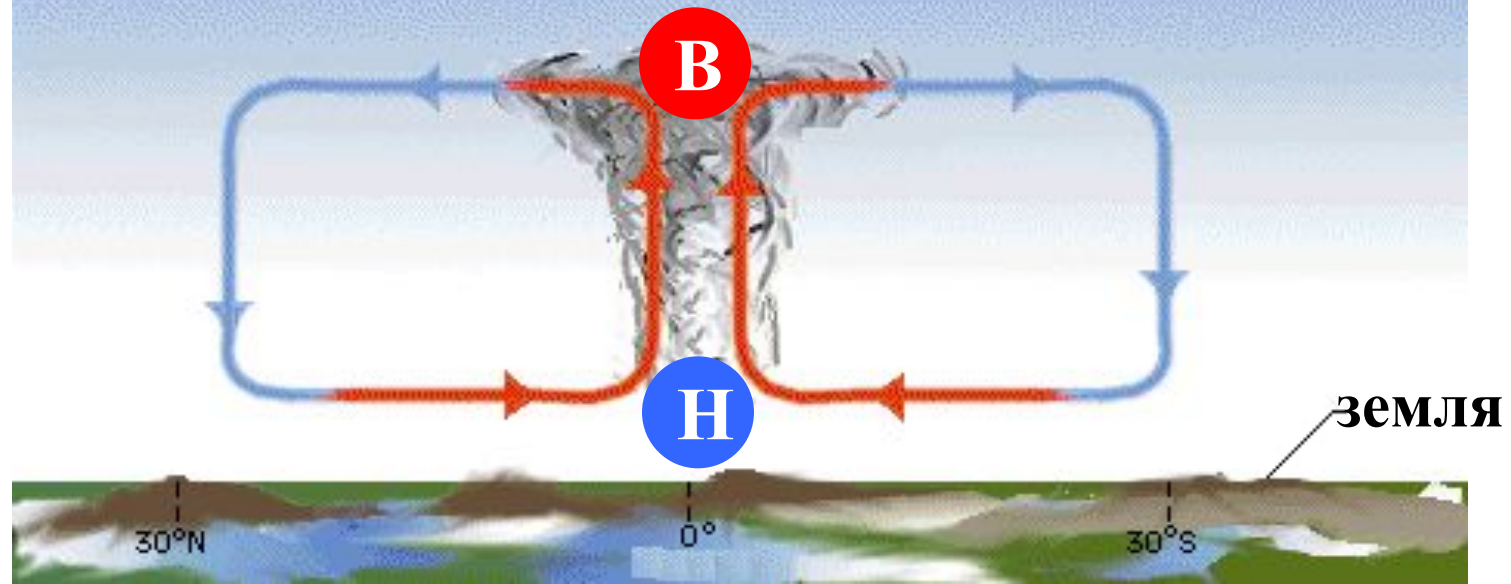


# В *верхних* слоях тропосферы (10 км) ветры дуют:

- на восток в Северном полушарии и
- в Южном,
- поэтому из Москвы в Новосибирск лететь на час меньше, чем обратно



# Откуда берётся энергия дующих ветров?



**Ответ:** из тепла, которое выделяется при конденсации пара, поднимающегося на высоту.

Откуда берётся пар в воздухе?

**Ответ:** Солнце превращает часть воды на Земле в пар.

**Вывод:** пар служит громадным запасником энергии на Земле, конденсация которого определяет погоду на ней.



# Сколько энергии появляется при конденсации водяного пара?

**Ответ:** 2,26 МДж/кг (удельная теплота парообразования)

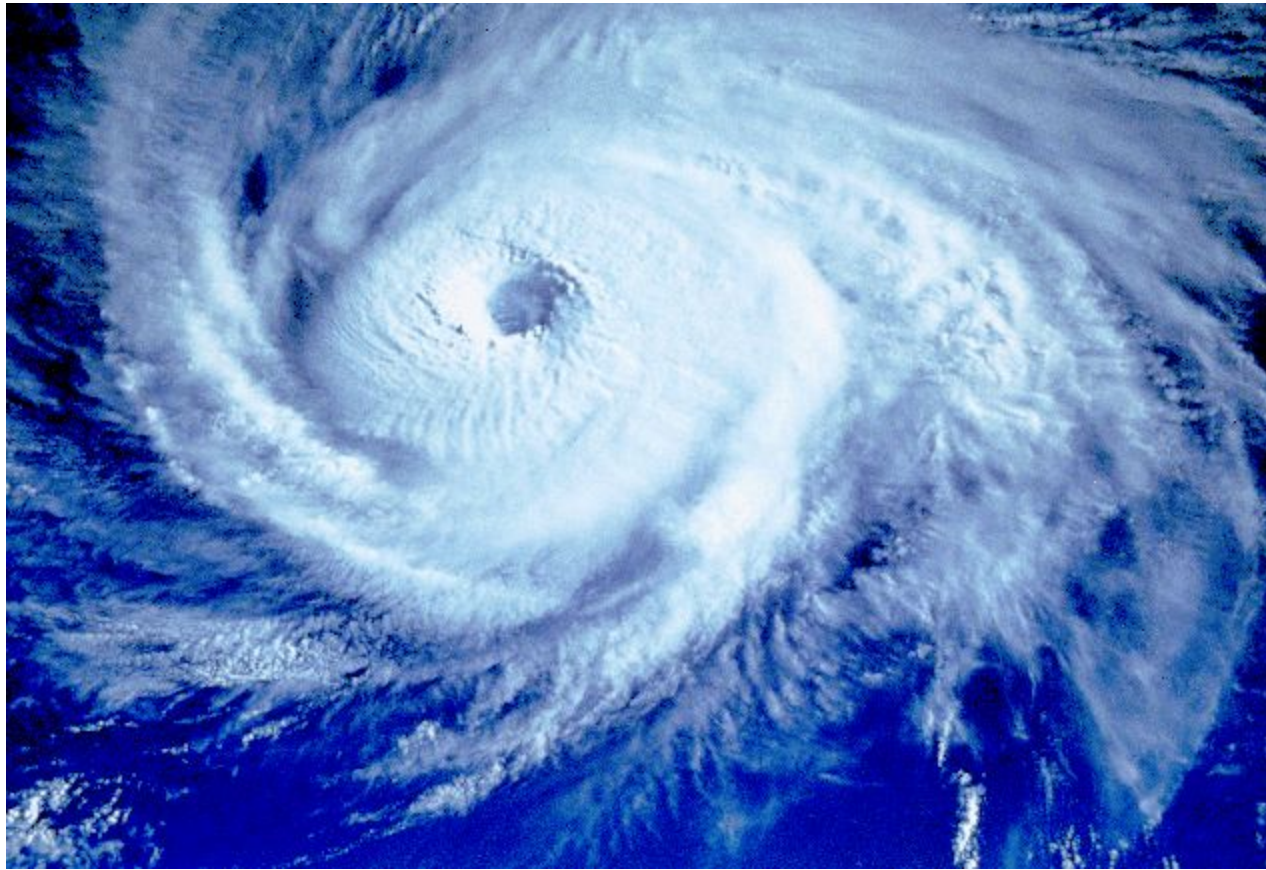
Много это или мало?

**Посчитайте**, сколько выделится тепла при конденсации пара, содержащегося в 1 кубическом километре воздуха, если его парциальное давление составляет 5 % ( $R=8,3$  Дж/моль/°К;  $T=300$  °К,  $P=100000$  Па).

**Ответ:**  $0,8 \cdot 10^{14}$  Дж -

половина энергии **АТОМНОЙ БОМБЫ**, сброшенной на Хиросиму!!!

# Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



Закручены против часовой стрелки в Северном  
полушарии и по часовой - в Южном

# Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



ураган Эндрю 23-25 августа 1992 года



вблизи  
“глаза”

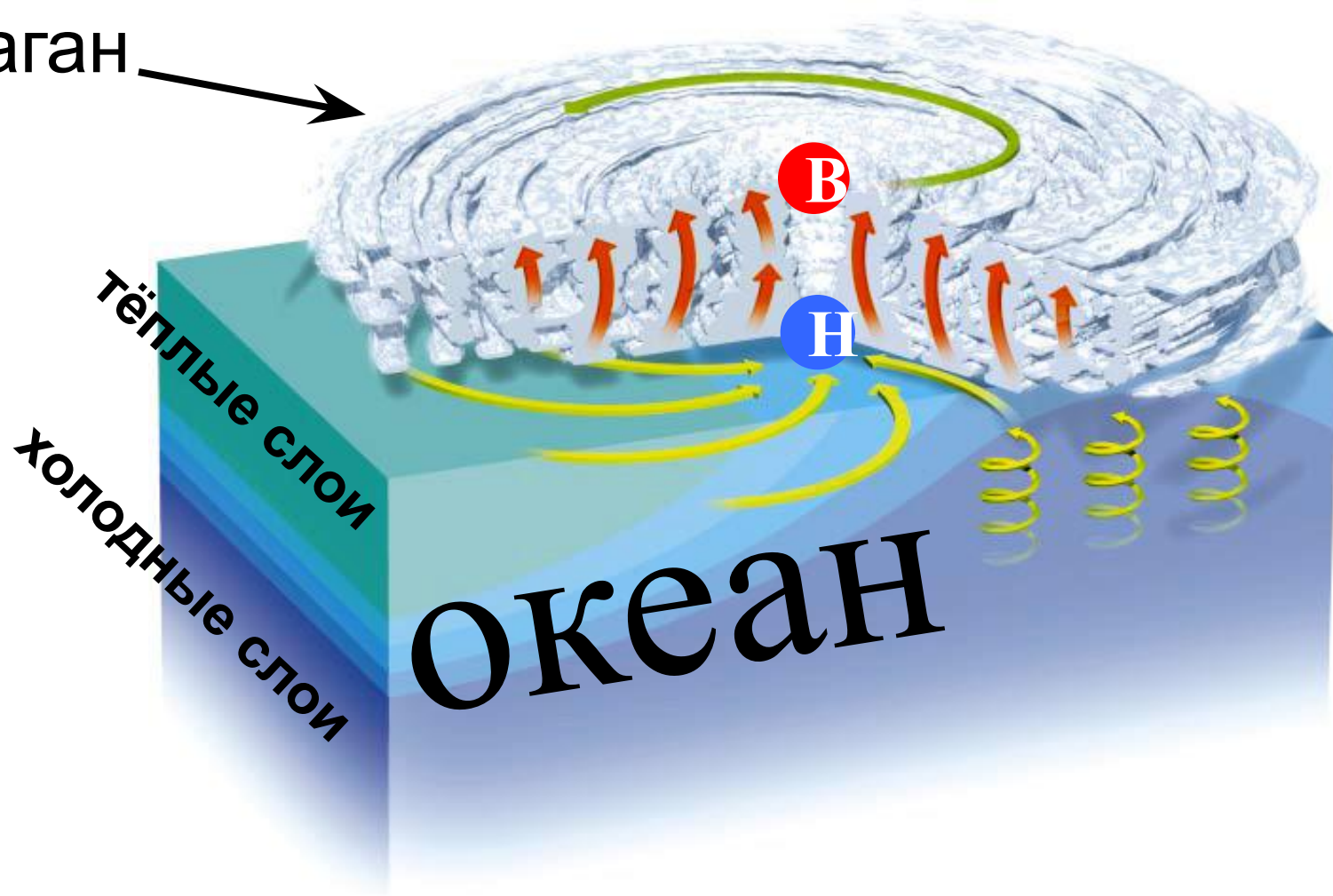
# Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



Размеры ураганов могут достигать тысяч километров, а скорость воздуха в них - 300 км/час

# Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле

ураган



# Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



последствия ураганов

**Как бороться с засухой?**



**Как бороться с засухой?**

## **Чтобы вызвать дождь из проплывающих мимо облаков:**

- надо в облаках, насыщенных парами воды, создавать “ядра” конденсации**
- ядра конденсации - это микрочастицы, к которым “прилипают” находящиеся рядом молекулы воды**
- когда размеры капель увеличиваются до 1 мм, они выпадают на землю в виде дождя, преодолевая движение восходящих потоков теплого воздуха**



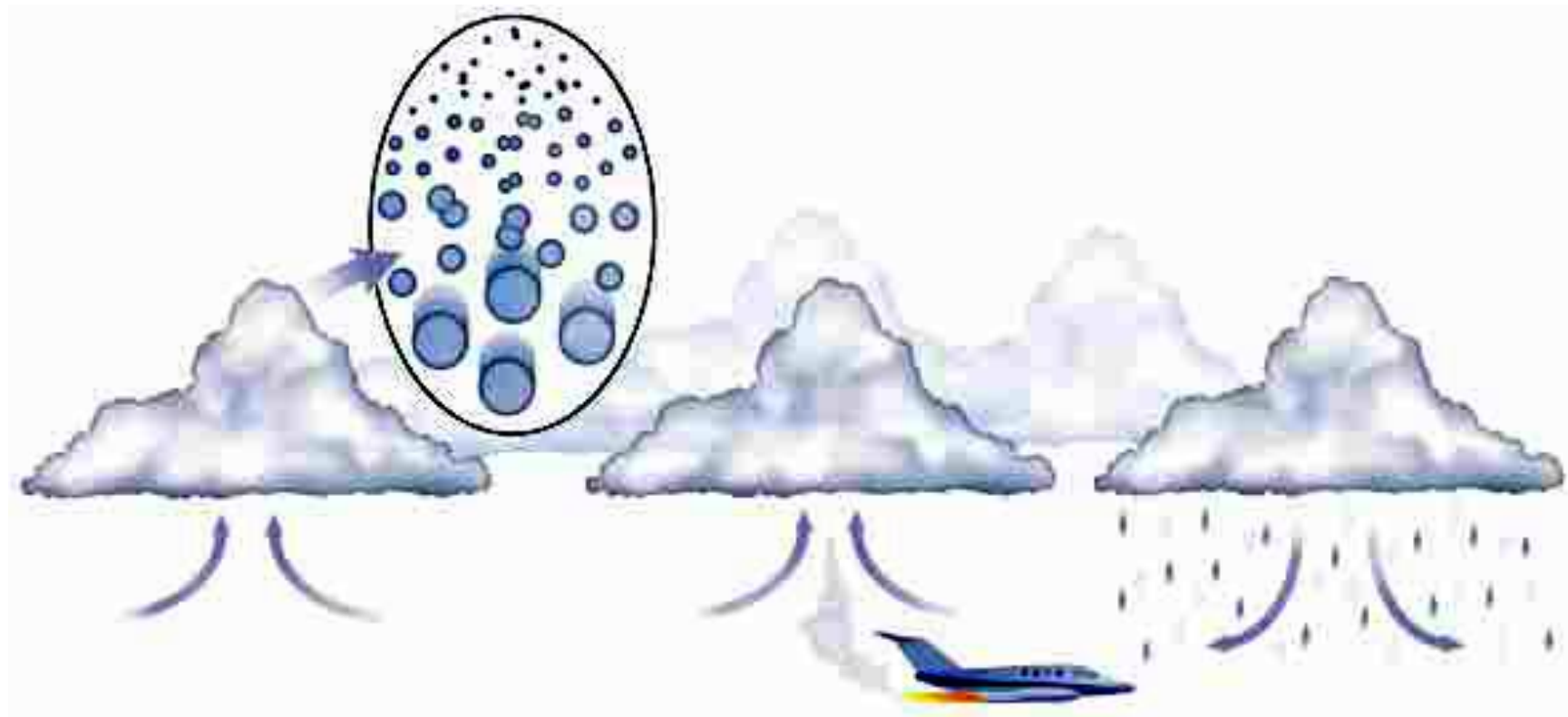
# Как бороться с засухой?



## Распыление:

- сухого льда или
- йодата серебра, или
- микроскопических частиц гигроскопичных солей

# Как бороться с засухой?



до распыления

после распыления

**Дождь начинается, когда размер капли  $> 1$  мм**

# Как бороться с засухой?



до распыления  
йодата серебра



после распыления  
йодата серебра