

# Строение и состав атмосферы



# Строение атмосферы

**Атмосфера** – воздушная оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и принимающая участие во вращении планеты. На ее строение и состав влияют Космос (как экзогенный фактор) и ландшафты Земли (как эндогенная сила). Нижней границей атмосферы является земная поверхность, а верхняя граница размыта (до 20 000 км), так как с увеличением высоты воздух становится все разреженнее и постепенно переходит в межпланетное пространство.

**Условно** за верхнюю границу атмосферы принимают **высоту 1000-2000 км над поверхностью Земли**, а более высокие слои считают **земной короной**.



**Атмосферный воздух – смесь газов.** В нем во взвешенном состоянии находятся жидкие и твердые частицы. По химическому составу в атмосфере различают два слоя: нижний – *гомосферу* (однородный слой) – примерно до 100 км и верхний – *гетеросферу* (неоднородный слой) – выше 100 км. В сухом (т. е. полностью обезвоженном) чистом воздухе у земной поверхности содержится по объему:

## Состав атмосферного воздуха



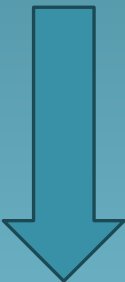
**78% по объему**  
**(76% по массе)**  
**азота**



**21% по объему (23% по массе)**  
**кислорода**



**≈ 1% Аргон**



**0,03% - диоксид углерода- $\text{CO}_2$ .**

Содержание многочисленных других газов, в тысячных, миллионных и миллиардных долях процента: Ne, He,  $\text{CH}_4$ , Kr,  $\text{H}_2$ , закись азота  $\text{N}_2\text{O}$ , Xe,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , CO,  $\text{I}_2$ , Rn и др. Помимо газов в атмосфере рассеяны пары и аэрозоли, микроорганизмы и пыльца растений.

# ГО

Процентное соотношение основных газов в **гомосфере** почти не меняется при перемешивании воздуха как по горизонтали (ветер), так и по вертикали (конвекции). В **гетеросфере** содержание легких газов возрастает, а тяжелых уменьшается: нет аргона, озона, диоксида углерода. Сначала молекулы кислорода, а потом азота разлагаются на атомы. Выше 1000 км основными газами становятся атомарный водород и гелий.

*Каждый газ воздуха выполняет в географической оболочке определенные функции.*

**Свободный кислород** - химически очень активен, играет огромную роль в жизни, без него невозможно дыхание, горение, окисление.

Кислород атмосферы, в основном, биогенного происхождения, так как образовался в процессе фотосинтеза растений и других автотрофных организмов.

**Азот** химически весьма инертен и играет в атмосфере роль разбавителя кислорода, регулируя темп окисления.

Азот тоже в основном имеет биогенное происхождение.

**Значение азота для живых организмов определяется тем, что он входит в состав белков и нуклеиновых кислот, его соединения обеспечивают минеральное питание растений.**

# ЗНАЧЕНИЕ ГАЗОВ ВОЗДУХА ДЛЯ ГО

**Диоксид углерода (углекислый газ)** - в атмосфере немного (**0,03 %**). Его содержание в приземных слоях воздуха колеблется в течение года и суток.

**Диоксид углерода** – своеобразный утеплитель Земли, в основном пропускает коротковолновую солнечную радиацию и задерживает тепловое излучение земной поверхности, обуславливая **парниковый эффект**.

**Диоксид углерода** служит основным строительным материалом для создания органического вещества в процессе фотосинтеза.

По оценкам ученых, с середины прошлого века глобальное содержание диоксида углерода возросло **на 12-15 %** за счет **сжигания ископаемого органического топлива**. Его увеличение способствовало повышению температуры воздуха на Земле.

# Распределение озона в атмосфере



Озон  $O_3$  — это трехатомный кислород.



Образуется в слоях 15 – 70 км и поглощает **УФ солнечную радиацию с длинами волн от 0,15 до 0,29 мкм** (один микрометр — миллионная доля метра).



# Максимальное содержание озона

\* (по широтам):

- 1) в полярных областях наблюдается на высотах 15—20 км
- 2) в умеренных широтах — 20—25 км
- 3) в тропических и субтропических широтах — на высотах 25—30 км

*Выше содержание озона убывает и на высоте 70 км сходит на нет.*

100 ед. Дб при нормальном атмосферном давлении (760 мм. рт.ст.) толщина слоя может составить 1 мм. Нормальным считается слой в 300 DU (ок. 3 мл).

**! Если бы можно было сосредоточить весь атмосферный озон под нормальным давлением, он образовал бы слой около 3 мм толщиной.**

# ЗНАЧЕНИЕ ГАЗОВ ВОЗДУХА ДЛЯ ГО

Озон ( $O_3$ ) – это фильтр атмосферы, он поглощает значительную долю (97 %) ультрафиолетовой радиации (с длинами волн 0,15-0,29), которая губительно действует на живые организмы.

**! Поглощая солнечную радиацию, озон повышает температуру воздуха в стратосфере.**

Толщина слоя озона колеблется в пространстве и во времени.

**Наибольшее колебание содержания озона в воздухе в течение года отмечается в полярных широтах. Здесь его меньше зимой, в условиях полярной ночи, из-за отсутствия солнечной радиации, под влиянием которой он образуется в результате фотодиссоциации молекул кислорода, больше – в период полярного дня.**

Озон легче уничтожается при низких температурах. Эти колебания значительнее над Антарктидой, где количество озона зимой резко сокращается (так называемая озоновая дыра над Антарктидой). В последние годы замечено глобальное сокращение озона, что некоторые исследователи связывают с выбросом в атмосферу фреонов и окислов азота. Уменьшение толщины озонового слоя вредно для всего живого. Поэтому нужна коллективная мудрость человечества для его сохранения.

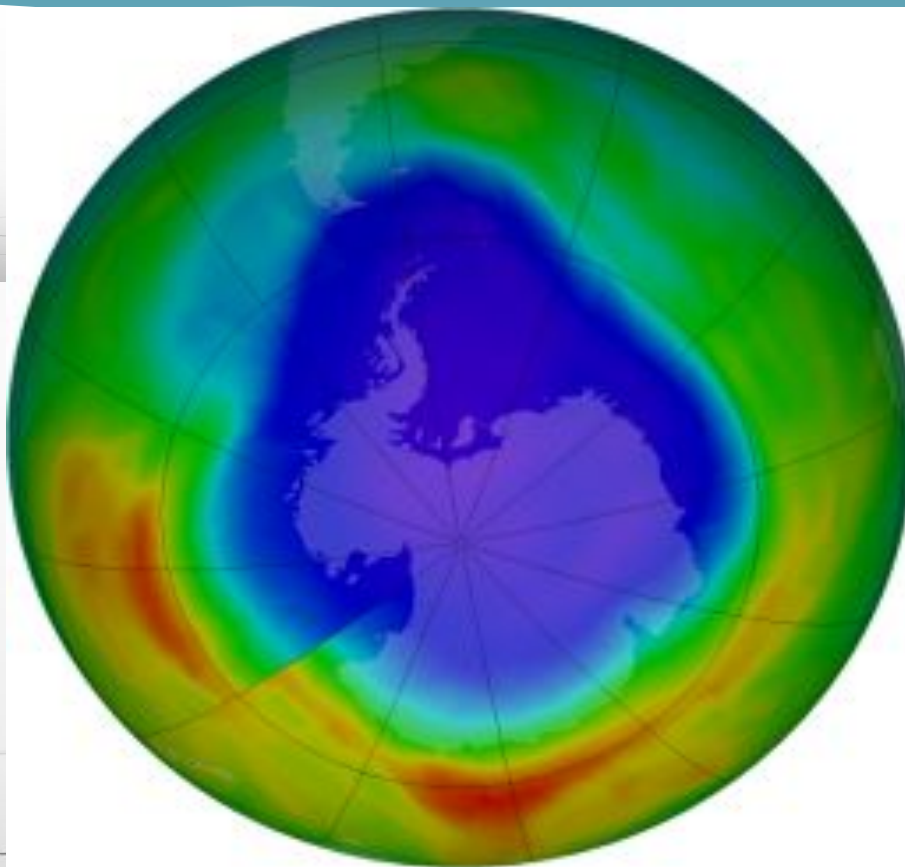
## Закономерности существования озона

- ☐ Озон образуется не только в стратосфере, но при некоторых фотохимических реакциях при загрязнении воздуха и в тропосфере. Эти реакции увеличивают концентрации озона в тропосфере за последнее десятилетие отмечен рост озона в нижних слоях.
- ☐ УФ радиацию принципиально разбиваются на 3 области:  
С 100-280<sub>(0,28 мкм)</sub> нм (опасна!) В 280-315 нм А 315-400 нм
- ☐ Чем более солнечно, тем больше озона в атмосфере.
- ☐ В годы повышенной солнечной активности количество ОЗ падает, т.к. его «сдувает» солнечный электромагнитный ветер.
- ☐ В районе тропиков количество озона понижено, менее чем 2,5 мм

# Изучение атмосферного озона

- \* 1912 г. французские физики использовали спектроскоп для доказательства существования озона на большом удалении от поверхности Земли
- \* Прямые измерения: закачивание воздуха в измерительный прибор
- \* Удалённые измерения: с земной поверхности или с борта самолёта изучается способность  $O_3$  абсорбировать УФ излучение.

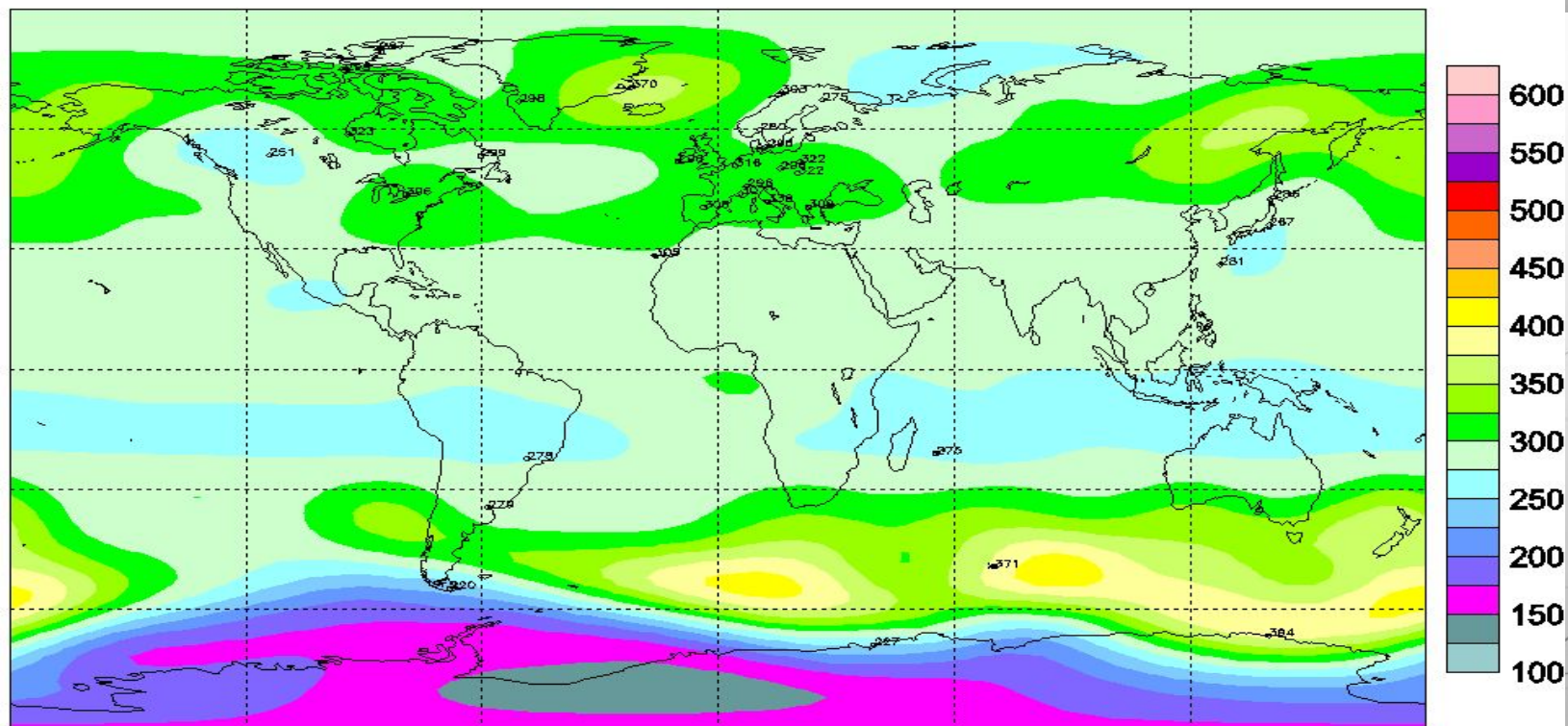
# Озоновая дыра над Антарктикой



Актуальные данные о толщине озонового слоя в любой точке земного шара можно просмотреть на домашней странице Программы Среды ООН:

<http://woudc.ec.gc.ca/ozone/images/graph..>

**Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2013/09/14**



# Значение озона ■



\* **1.** Сильно поглощая солнечную радиацию, (ее энергия  $\approx 30\%$  всей солнечной энергии) озон повышает температуру воздуха на высотах 30—55 км,

\* В связи с этим стратосферу иногда называют **озоносферой**.

\* **2.** Целиком поглощая коротковолновую радиацию Солнца с длинами волн 0,15—0,29 мкм, озон защищает живые организмы на Земле от губительного действия ультрафиолетовой радиации.

# Последствия истощения озона для биологических объектов:

- \* Распад белков
- \* Канцерогенез
- \* Мутагенез
- \* Ослабление иммунной системы
- \* Ожоги кожи
- \* Катаракта глаз
- \* Аллергия

# ЗНАЧЕНИЕ ГАЗОВ ВОЗДУХА ДЛЯ ГО

**Водяной пар** - это переменный компонент атмосферы: его содержание в воздухе над земной поверхностью колеблется от 0,2 % в ледяных пустынях до 3-4 % во влажных экваториальных лесах (по объему).

Его количество зависит от температуры: чем она выше, тем его больше, т.к. **водяной пар** поступает в воздух за счет испарения с водной поверхности, почвы и транспирации растений. **С высотой количество водяного пара уменьшается, около 90 % его заключено в нижнем пятикилометровом слое воздуха.**

**Значение водяного пара** исключительно велико:

1. Участвует в тепло- и влагообороте на Земле, т.к. при определенных условиях происходит **его конденсация или сублимация, образуются облака и осадки.**
2. Участвует (наряду с диоксидом углерода) в создании парникового эффекта, так как именно он **задерживает основную часть теплового излучения земной поверхности.**
3. Водяной пар сам **излучает инфракрасную радиацию**, большая часть которой идет к земной поверхности, **являясь для нее дополнительным источником тепла.** В то же время **облака**, возникающие в результате конденсации и сублимации водяного пара, **отражают и поглощают солнечную энергию на ее пути к земной поверхности.**
4. Фазовые превращения водяного пара и воды, **сопровождаются поглощением тепла** (при испарении и таянии снега и льда) **или выделением тепла** (при конденсации и сублимации), что **отражается на температуре окружающего воздуха.**
5. Он выполняет определенные функции и в жизнедеятельности организмов, влияя, например, на скорость транспирации, которая возрастает при понижении влажности воздуха.

# АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГО

**Аэрозоли** – это мельчайшие твердые и жидкие частицы естественного и антропогенного происхождения, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии. Особо опасны среди аэрозолей продукты искусственного радиоактивного распада. Твердые частицы выполняют в атмосфере роль ядер конденсации и сублимации, их обилие **ускоряет образование туманов и облаков**. Аэрозоли **уменьшают прозрачность атмосферы, ослабляя солнечную радиацию и ухудшая видимость**. Аэрозоли обычно не задерживаются долго в тропосфере, где выпадают осадки.

**Космическая, вулканическая и минеральная пыль, дым, пыльца растений, микроорганизмы, частицы морской соли и т. д. вызывает помутнение атмосферы и уменьшение солнечного тепла, особенно ощутимое летом.** После интенсивных извержений вулканов (Кракатау в 1883 г. или Катмая в 1912 г.), на протяжении нескольких лет отмечалось помутнение атмосферы и уменьшение солнечного тепла, особенно ощутимое летом. Самым катастрофическим взрывным извержением за последние 500 лет было извержение вулкана Тамбора (остров Сумбава в Зондском архипелаге) 10-11 апреля 1815 г. Выбросы вулканического материала при взрыве вулкана, в результате чего его высота уменьшилась с 4000 м до 2820 м, **создали завесу в воздухе, ставшую экраном для солнечного излучения. Это привело к охлаждению атмосферы в течение нескольких последующих лет. В северном полушарии в тот и следующий годы сезонный снег лежал до середины июня, а в августе в Западной Европе были отмечены заморозки.**

Газы, входящие в состав атмосферы, обладают определенной плотностью, а воздух – массой. Общая масса атмосферы достигает  $5,27 \cdot 10^{15}$  т, что составляет одну миллионную часть массы земного шара. При этом половина всей массы атмосферы находится в нижних 5 км, 75 % – в нижних 10 км, 95 % – в нижних 20 км.

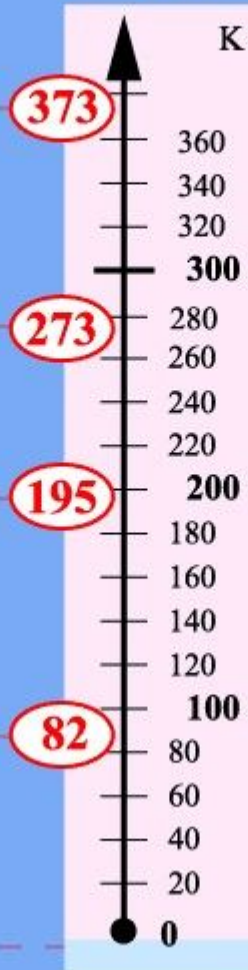
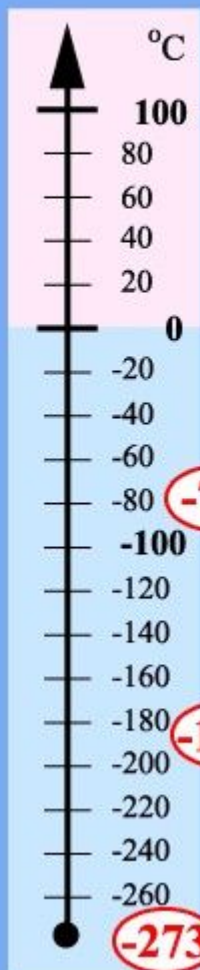
# \* Единицы измерения температуры

Шкала Цельсия

Термодинамическая  
шкала

$$t = T - 273$$

$$T = t + 273$$



кипение воды



плавление льда



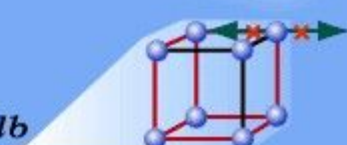
сухой лед ( $\text{CO}_2$ )



жидкий воздух



абсолютный ноль



# СЛОИ АТМОСФЕРЫ

По характеру изменения температуры в вертикальном направлении и другим физическим свойствам

**атмосферу делят на пять концентрических оболочек:**

- ❖ тропосферу,
- ❖ стратосферу,
- ❖ мезосферу,
- ❖ термосферу,
- ❖ экзосферу.

Они разделены тонкими (1-2 км) **переходными слоями: тропо-, страто-, мезо- и термопаузами.**

**ТРОПОСФЕРА** - в ней заключено почти 80 % воздуха атмосферы. Физические свойства воздуха тропосферы и происходящие в ней процессы находятся в большой зависимости от земной поверхности.

**От нее воздух получает тепло, поэтому с подъемом вверх температура его понижается.**

**Вертикальный температурный градиент** – это величина падения температуры с высотой. Она равна  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ .

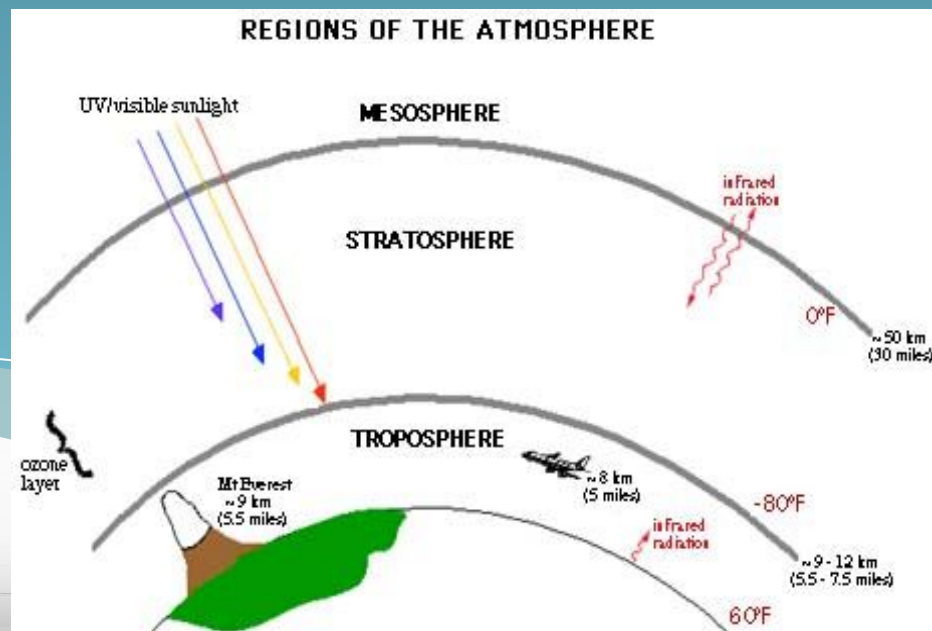
Для тропосферы характерны интенсивные вертикальные и горизонтальные движения воздуха и его перемешивание. В ней содержится **почти весь водяной пар атмосферы (99 %)**, количество которого быстро убывает с высотой.

Простирается:

- 1) В тропиках- до высоты **15—17 км**,
- 2) в **умеренных широтах** обоих полушарий — до высоты **10—12 км**
- 3) **над полюсами** — до **8—9 км**.

**ЗНАЧЕНИЕ.** В тропосфере происходит образование облаков, выпадают осадки, наблюдаются оптические, световые и звуковые метеорологические явления.

**Давление воздуха на верхней границе тропосферы в 3—10 раз меньше, чем у земной поверхности.**



Самый нижний тонкий слой тропосферы (50—100 м), непосредственно примыкающий к земной поверхности, называется **приземный слой**.

Слой от земной поверхности до высот 1000—1500 м называют **слоем трен**, т.е. задерживающее влияние трения о земную поверхность на ветер.

**Верхняя граница тропосферы, т.е. тонкий переходный слой толщиной 1—2 км, где падение температуры с высотой сменяется ее постоянством (изотермией), называется тропопаузой.**

# Стратосфера

Выше тропопаузы и до высоты **50—55 км** лежит *стратосфера* – температура в ней в среднем растет с высотой.

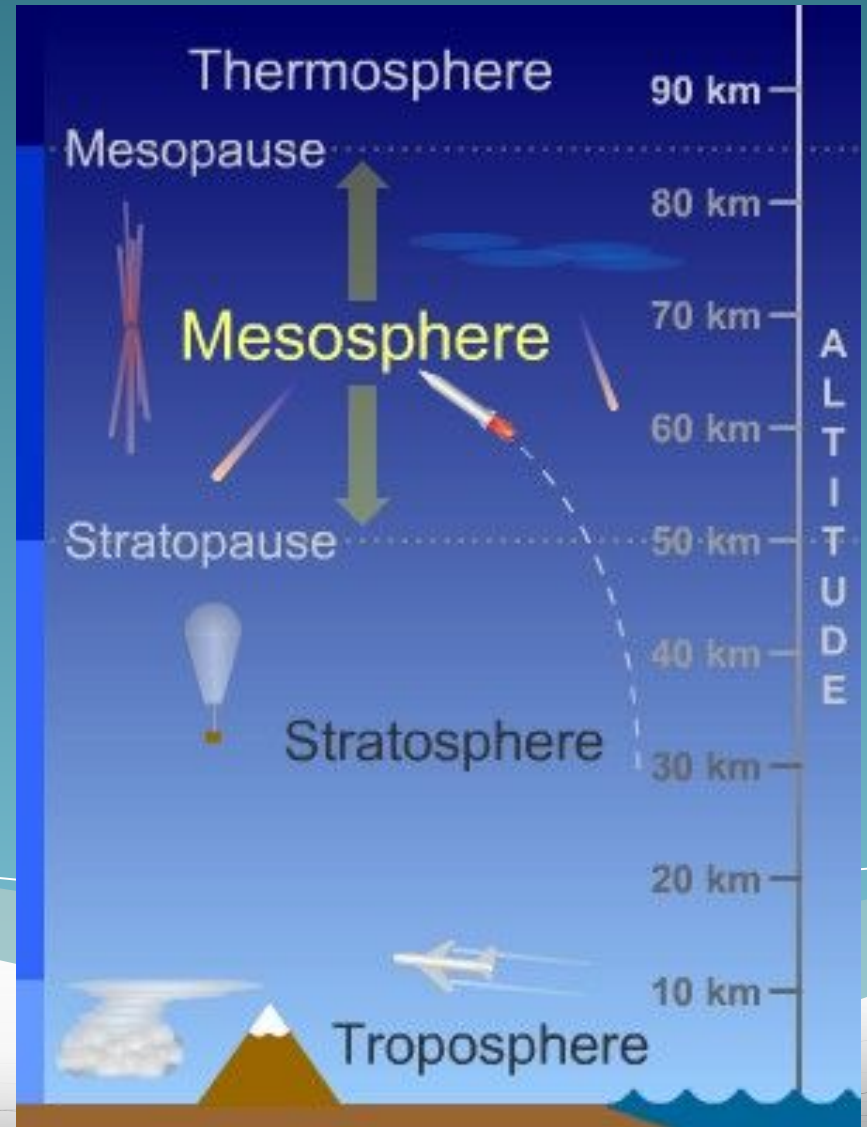
В нижних слоях (от тропопаузы и до 25 км) температура постоянна или медленно растет с высотой (зимой в полярных широтах она даже может слабо падать),.

Стратопауза-верхняя граница стратосферы (до 50км)

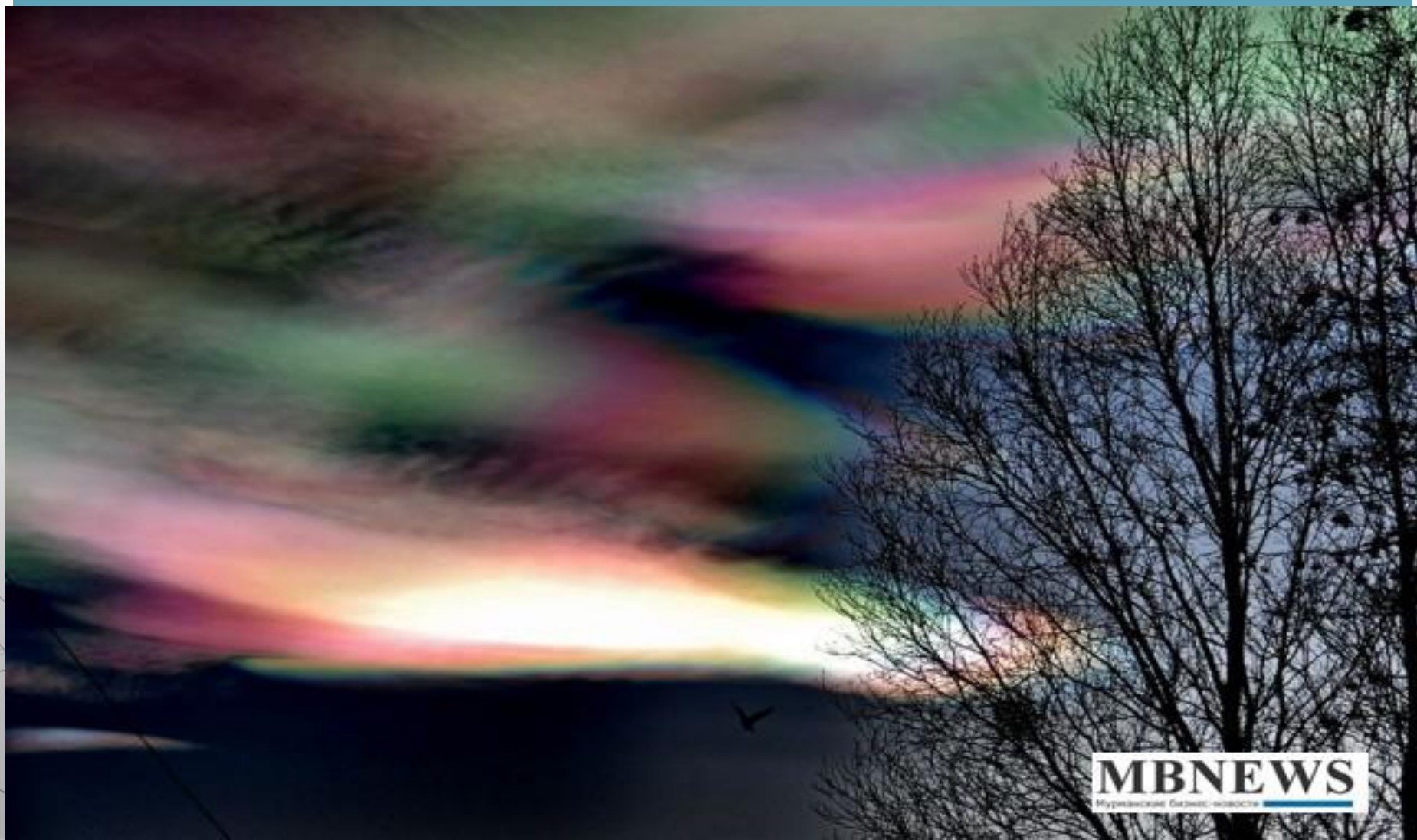
Состав воздуха стратосферы отличается от тропосферного в том, что здесь сосредоточено около 20 % воздуха, в котором много озона.

Стратосфера может быть названа **озоносферой**.

**На высоте 22-25 км образуются перламутровые облака, но в их образовании практически не участвует водяной пар.**



# Перламутровые облака



# Перламутровые облака



# Перламутровые облака



Простирается от стратопавзы до высоты примерно **80—82 км**.

Из-за понижения температуры с высотой (до — 110°C) в ней возникает **турбулентность**.

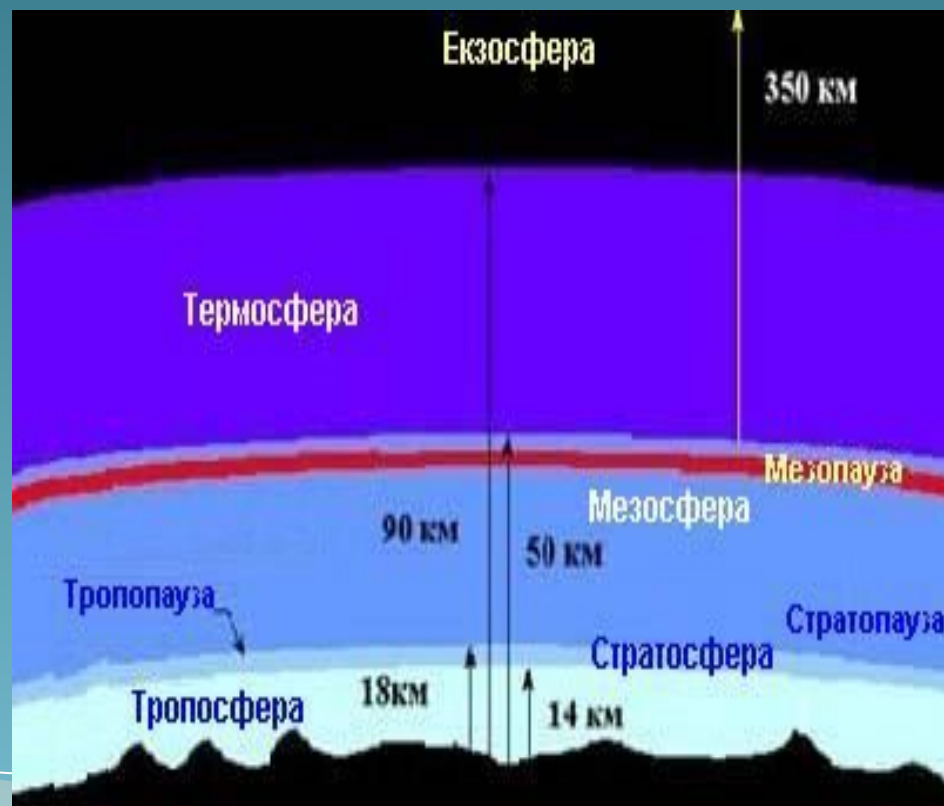
Цвет неба - фиолетово-черный. Появляется ощущение невесомости. Эту сферу называют ближним космосом.

Верхней границей мезосферы является переходный слой — **мезопауза**, лежащая на высоте около 82 км.

**! В тропосфере, стратосфере и мезосфере, вместе взятых, до высоты 80 км заключается больше, чем 99,5% всей массы атмосферы.**

**Здесь образуются тонкие ледяные серебристые облака.**

## Мезосфера



# Серебристые облака



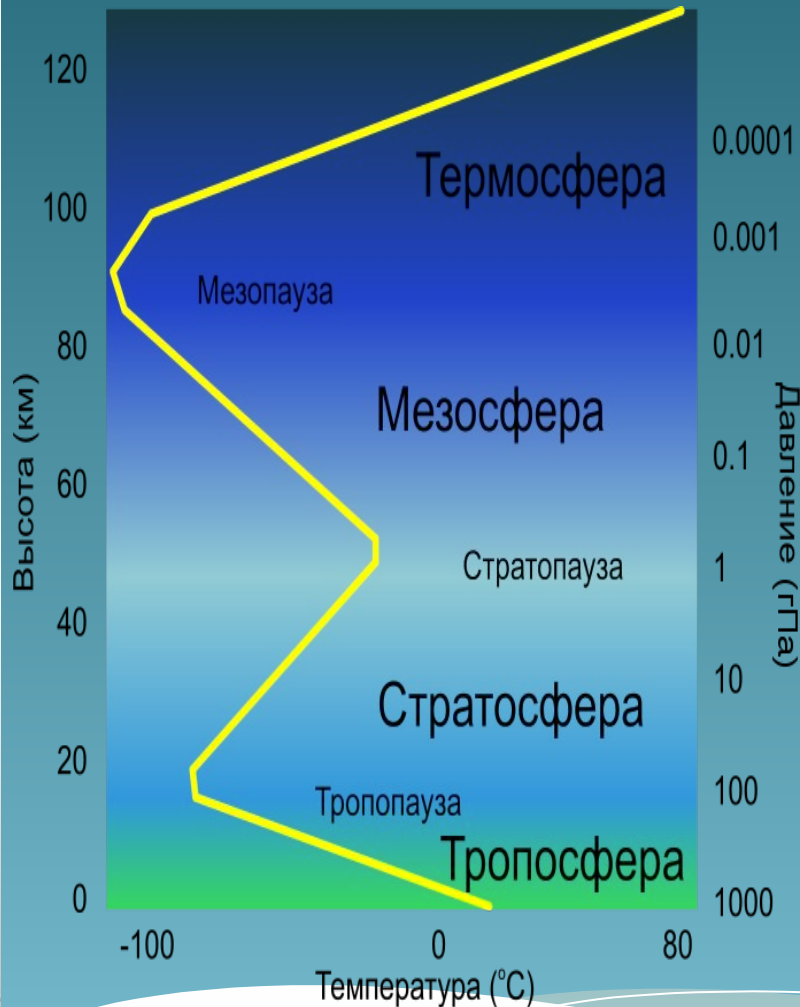
# Серебристые облака



# Серебристые облака



# Термосфера



(греч. *therme* – тепло) – слой от мезопаузы до 800 км. Температура в нем резко возрастает с высотой. В годы активного солнца она **превышает 1500°C на высоте 200—250 км**, но в разреженном воздухе она характеризует лишь кинетическую энергию движения частиц и не ощущается, поэтому летающие здесь искусственные спутники от воздуха не нагреваются и не сгорают. В нижней термосфере сгорают метеоры.

Высокие температуры термосферы означают, что молекулы и атомы атмосферных газов движутся в этом слое с очень большими скоростями.

С точки зрения **ионизации**, т. е. по электрическому составу, атмосфера делится на **нейтросферу** (три нижних слоя) и **ионосферу** (два верхних слоя).

**В ионосфере наблюдаются полярные сияния (температура возрастает до 3000 °C), магнитные бури.**

**Благодаря ей обеспечивается дальняя радиосвязь.**

# Полярное сияние

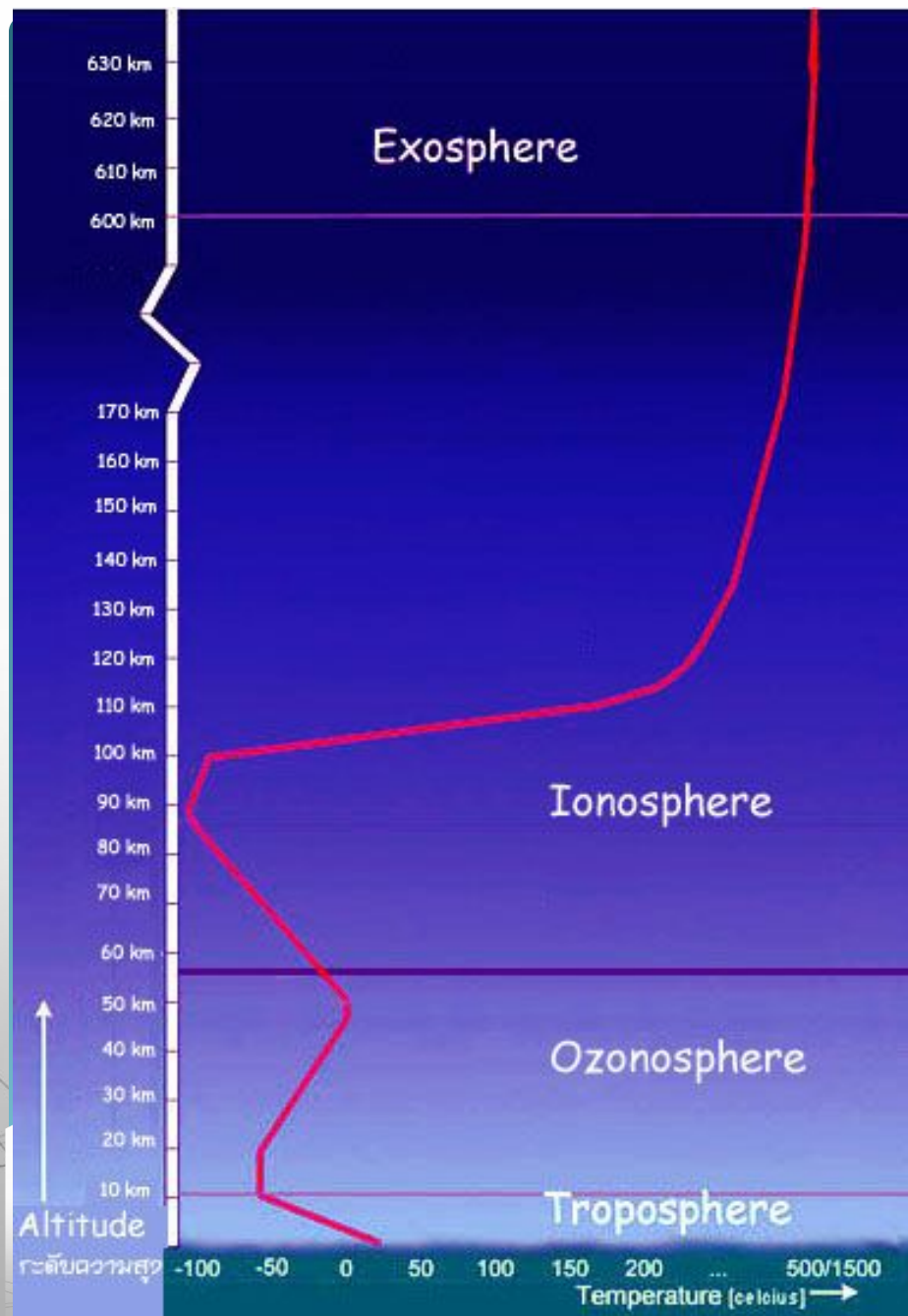


# Полярное сияние



# Полярное сияние





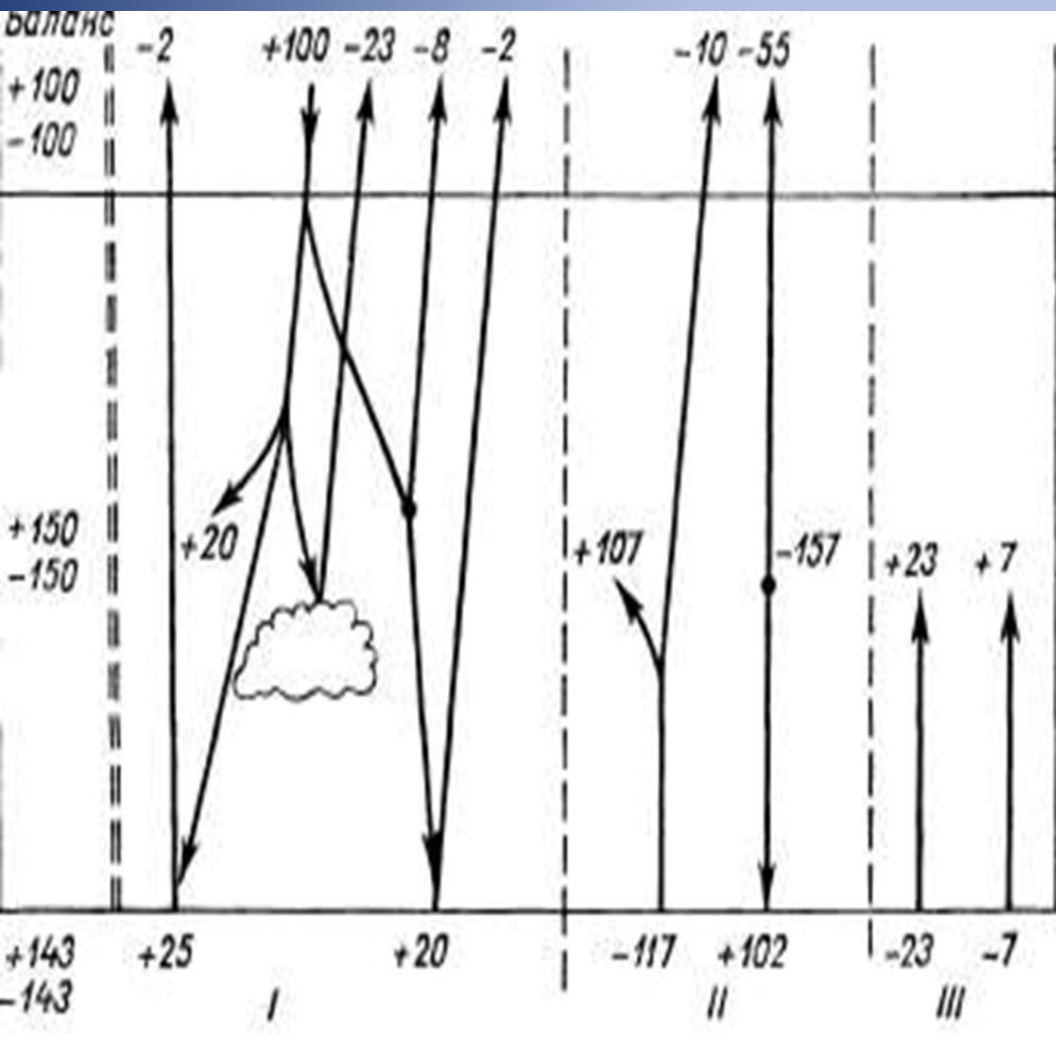
# Экзосфера

- внешний (800-1000 км) крайне разреженный слой атмосферы с температурой около 2000 °С. Здесь скорость движения атомов водорода и гелия более 11,2 км/с и они частично ускользают в межпланетное пространство, за что этот **слой называют сферой рассеивания или ускользания газов**.
- Атмосферные **слои выше 600—1000 км** выделяются под названием **экзосферы** (внешней атмосферы).

# ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗЕМЛИ



# Тепловой баланс Земли, атмосферы и земной поверхности



За многолетний период тепловой баланс равен нулю, т. е. Земля находится в тепловом равновесии.

I — коротковолновая радиация,  
II — длинноволновая радиация,  
III — нерадиационный обмен.

# *Электромагнитная радиация*

- *Радиация или излучение — это форма материи, отличная от вещества.*

*Частным случаем радиации является видимый свет; но к радиации относятся также и не воспринимаемые глазом гамма-лучи, рентгеновские лучи, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация, радиоволны, в том числе и телевизионные.*

# Применение электромагнитных ВОЛН



# ПОГЛОЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В АТМОСФЕРЕ

- В атмосфере поглощается около 23% прямой солнечной радиации. Поглощение избирательное: разные газы поглощают радиацию в разных участках спектра и в разной степени.

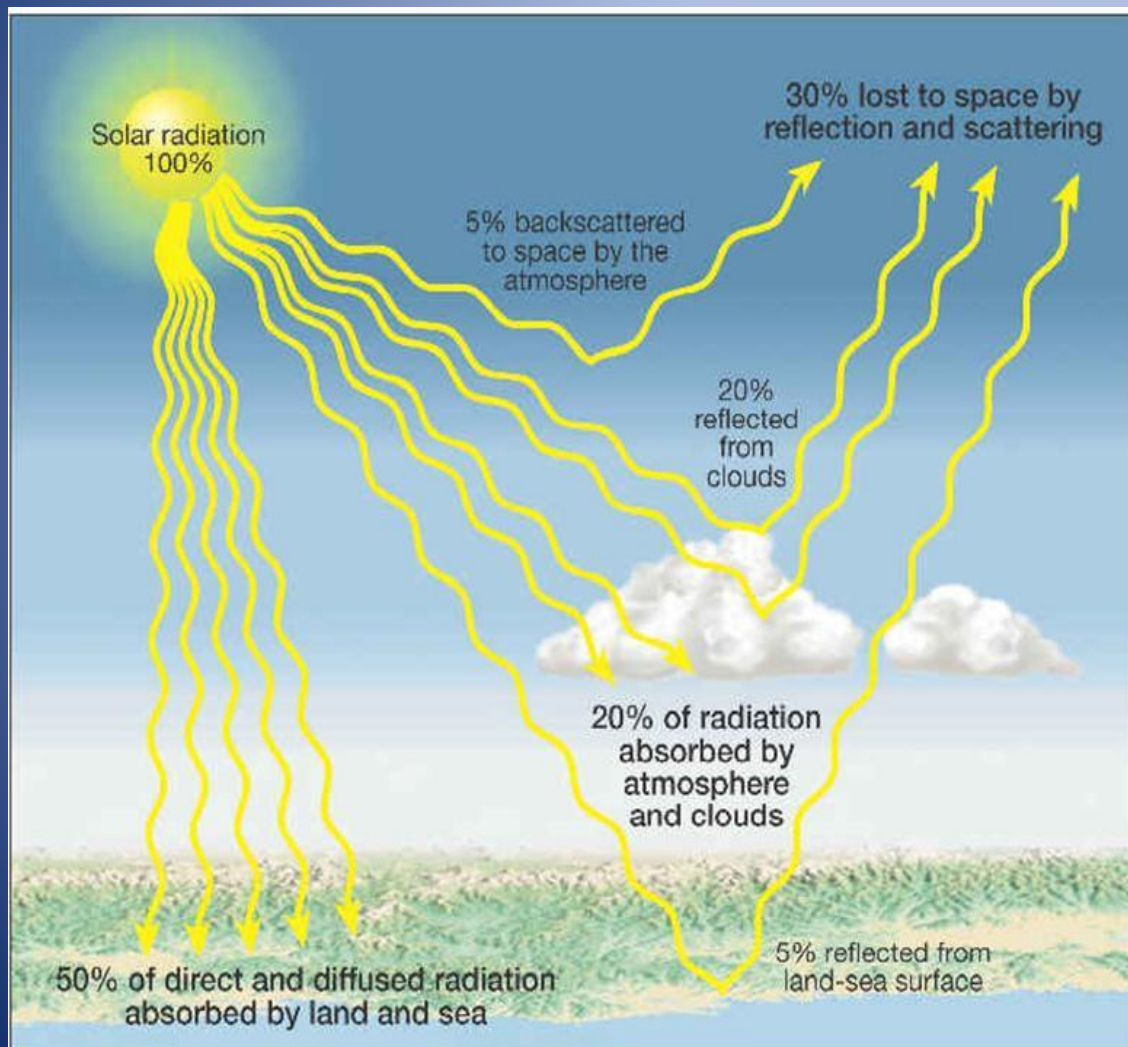
**Азот** поглощает *R* очень малых длин волн в ультрафиолетовой части спектра. Энергия солнечной радиации в этом участке спектра совершенно ничтожна, поэтому поглощение азотом практически не отражается на потоке солнечной радиации.

- **Кислород** поглощает больше, но тоже очень мало — в двух узких участках видимой части спектра и в ультрафиолетовой части.
- **Озон** поглощает ультрафиолетовую и видимую солнечную радиацию. В атмосфере его очень мало, но он настолько сильно поглощает ультрафиолетовую радиацию в верхних слоях атмосферы, что в солнечном спектре у земной поверхности волны короче 0,29 мкм вообще не наблюдаются. Общее поглощение солнечной радиации озоном достигает 3% прямой солнечной радиации.

# ПОГЛОЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В АТМОСФЕРЕ

- *CO<sub>2</sub>* – *сильно поглощает в инфракрасном спектре*, но его содержание в атмосфере очень мало, поэтому поглощение им прямой солнечной радиации в общем невелико.
- *Водяной пар* - *основной поглотитель радиации*, сосредоточен в тропосфере. Поглощает радиацию в видимой и ближней инфракрасной областях спектра.
- *Облака и атмосферные примеси (аэрозольные частицы)* поглощают солнечную радиацию в различных частях спектра в зависимости от состава примесей. Водяной пар и аэрозоли поглощают около 15%, облака - 5% радиации.

# Тепловой баланс Земли



Рассеянная радиация проходит через атмосферу и рассеивается молекулами газов. Такой радиации 70% в полярных широтах и 30% в тропиках.



# Тепловой баланс Земли

38% рассеянной радиации возвращается в космос.

Она придаёт голубой цвет небу и даёт рассеянное освещение до и после захода

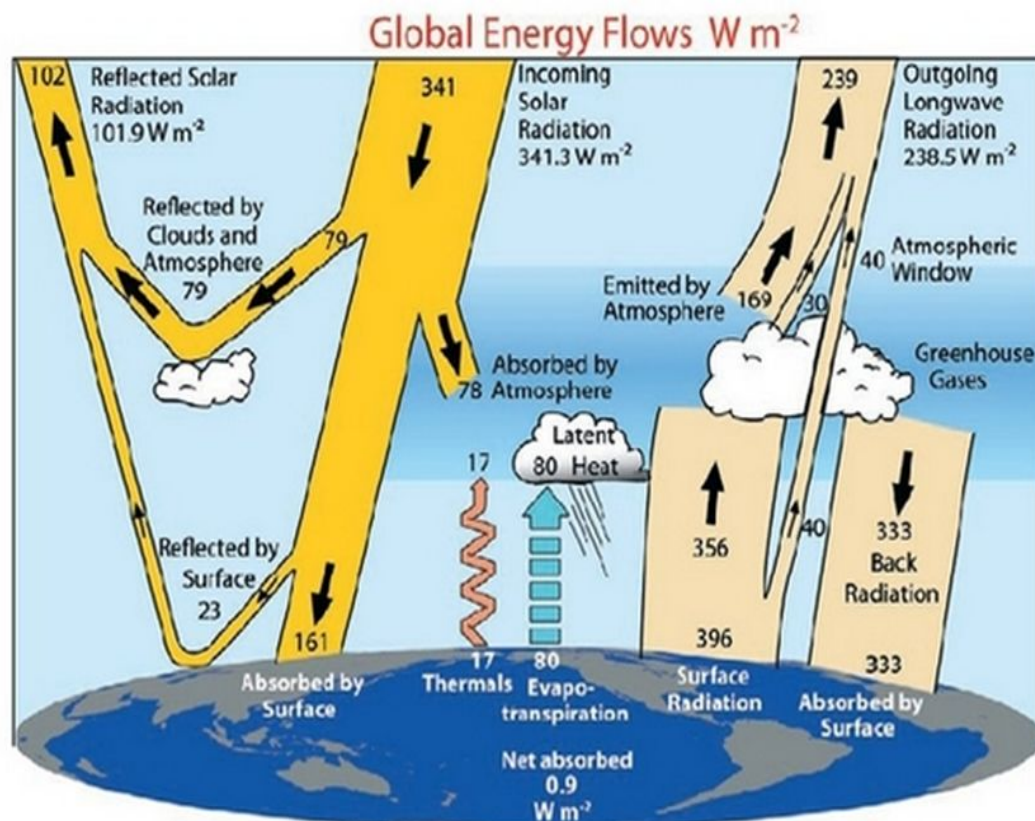
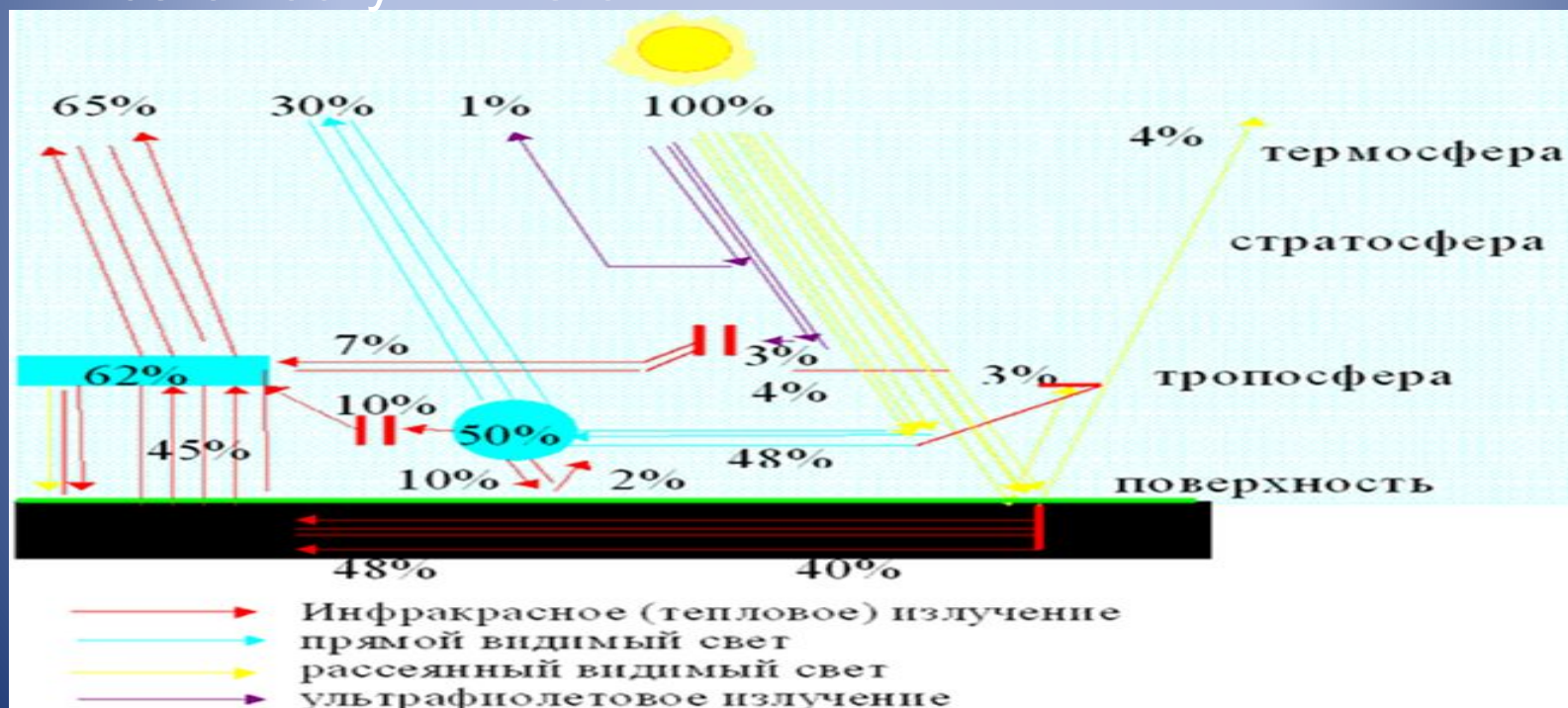


FIG. 1. The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period ( $\text{W m}^{-2}$ ). The broad arrows indicate the schematic flow of energy in proportion to their importance.

# Тепловой баланс Земли

Прямая + рассеянная = суммарная R

- 4% отражается атмосферой
- 10% отражается земной поверхностью
- 20% превращается в тепловую энергию
- 24% затрачивается на нагревание воздуха
- Общие потери тепла через атмосферу составляют 58% от всего поступившего



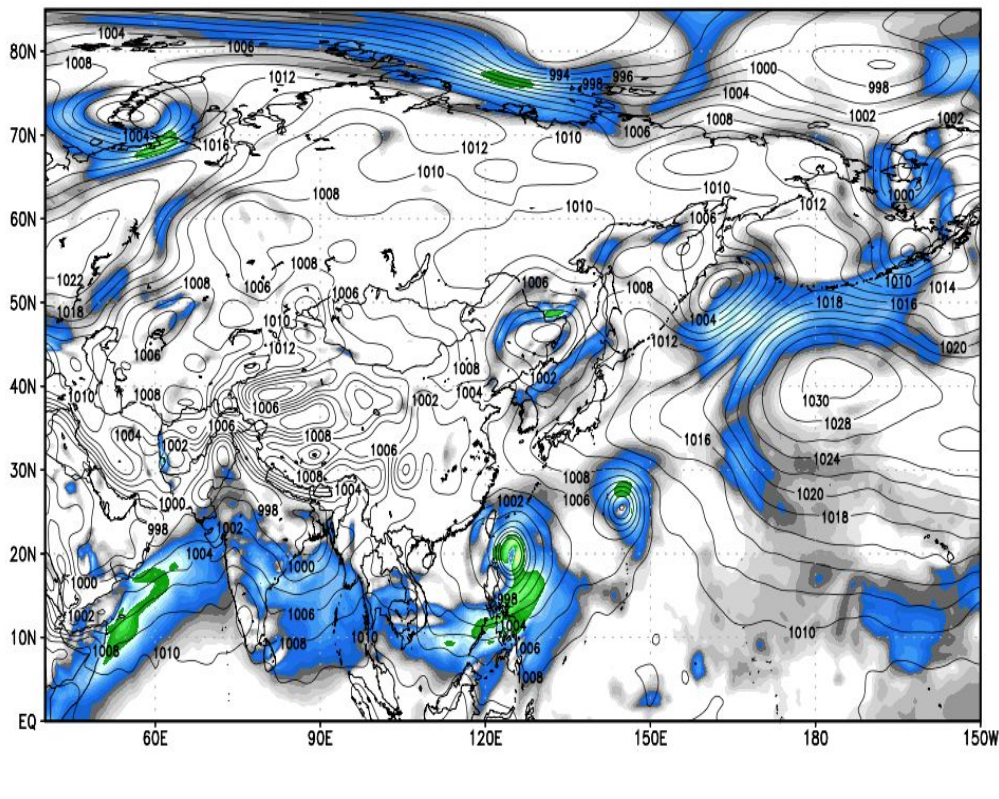
# Адвекция воздуха

900 mb Wind Speed (kts) & MSLP (hPa) 00Z30JUL2012 fx: [0] hr --> Mon 00Z30JUL2012

NCEP GFS  
Polclimate.com

MaxWind: 60.5878 kt

MinSLP: 984.154 hPa  
MaxSLP: 1030.94 hPa



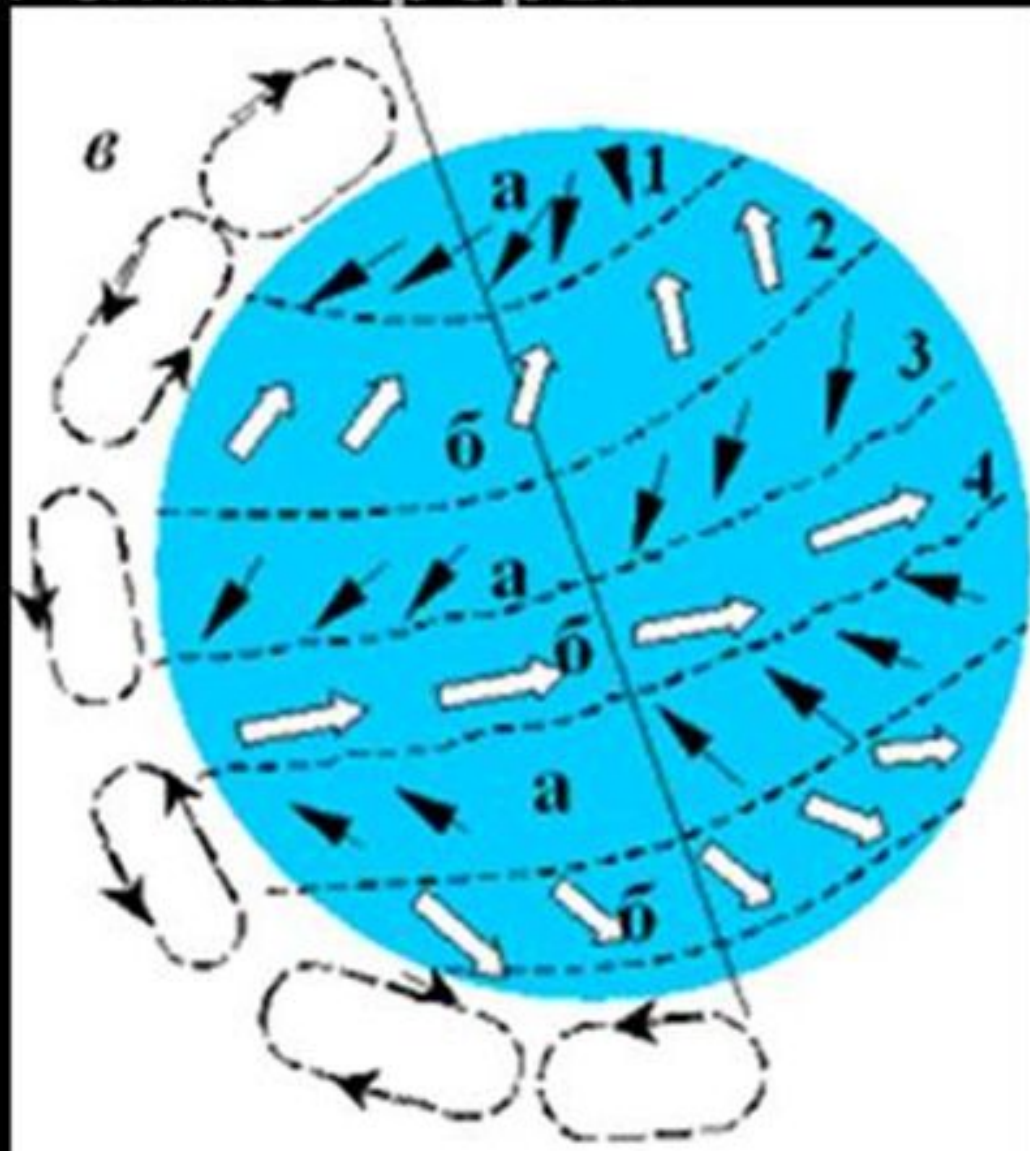
**Перенос воздуха в горизонтальном направлении.**

Можно говорить об адвекции:  
воздушных масс,  
тепла,  
водяного пара,  
момента движения,  
вихря скорости и т. д.

Атмосферные явления, происходящие в результате адвекции, называются адвективными:  
адвективные туманы,  
адвективные грозы,  
адвективные заморозки и т. п.

# Система общей циркуляции земной атмосферы

- *а, б* – зоны высокого (1, 3) и низкого (2, 4) давлений
- *в* – схема циркуляции потоков воздуха в различных зонах



# АЛЬБЕДО



1. В широком смысле —отражательная способность поверхности: водной, растительной (лес, степь), пашни, облаков и т. д. Например, Альбедо крон леса составляет 10 — 15%, травы — 20 — 25%, песка — 30 — 35%, свежеснежного покрова — 50 — 75% и более.

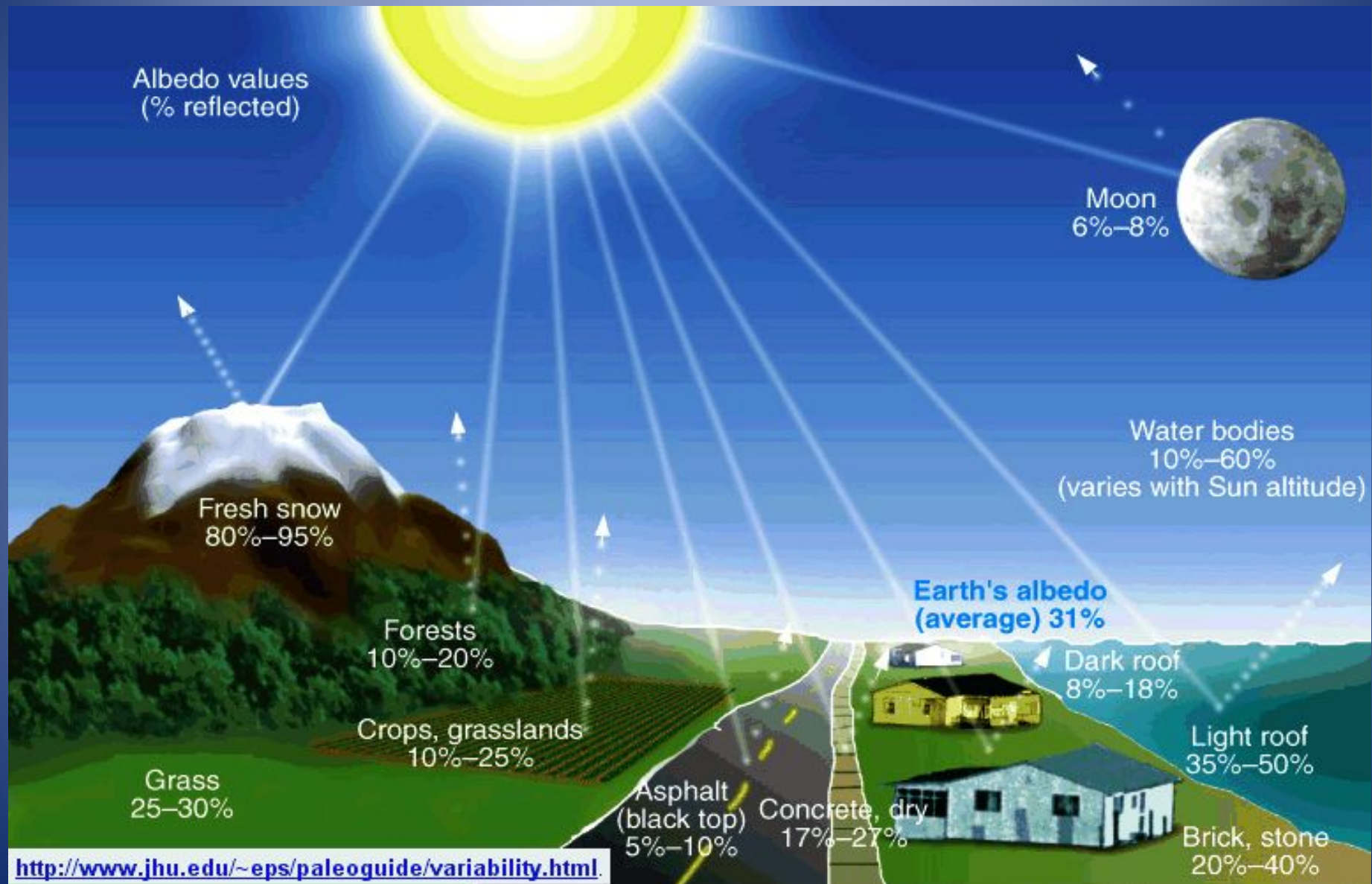
**2. Альбедо Земли — процентное отношение солнечной радиации, отражённой земным шаром вместе с атмосферой обратно в мировое пространство, к солнечной радиации, поступившей на границу атмосферы.**

$$A = O/P$$

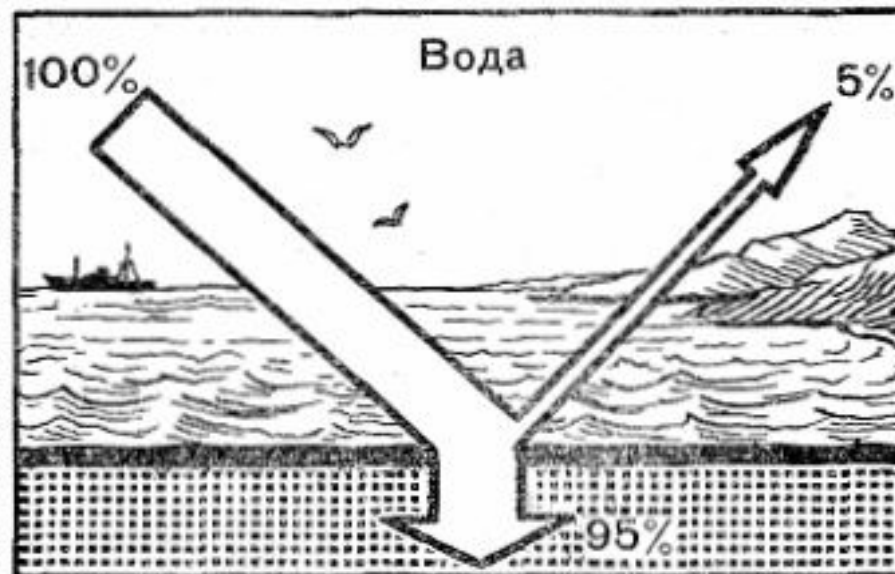
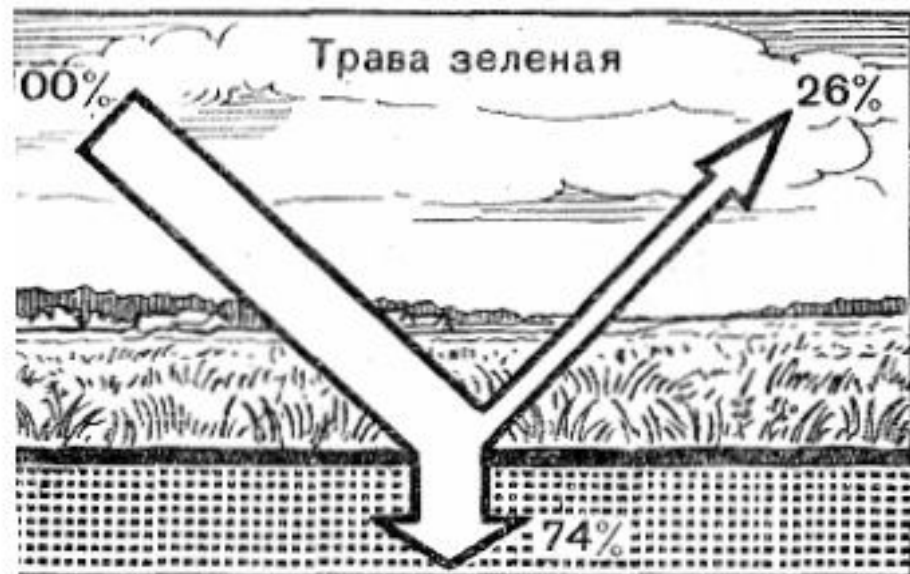
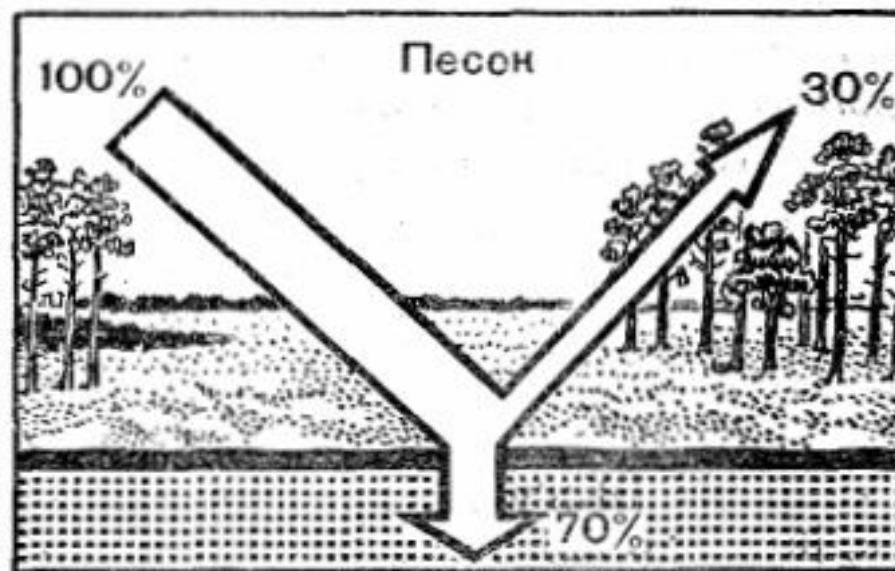
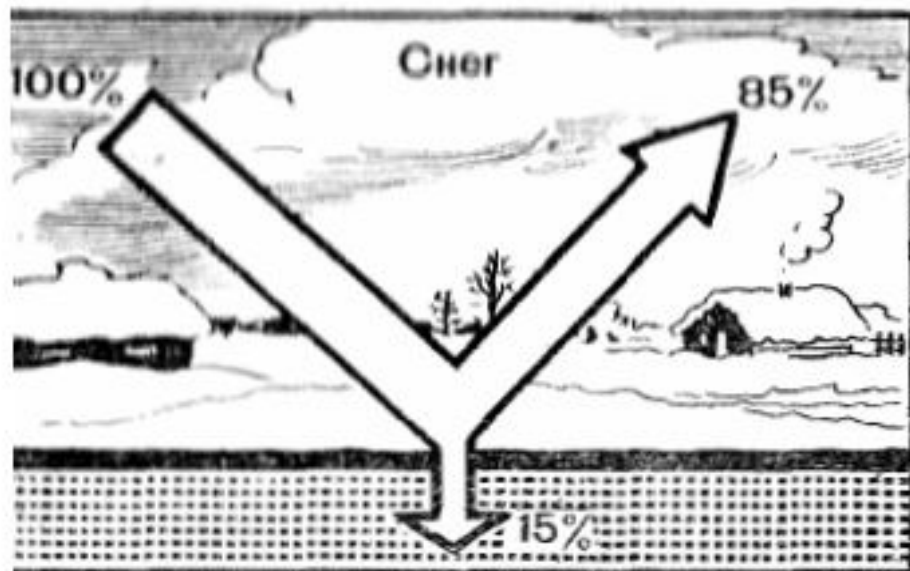
Отдача радиации Землей происходит путем отражения от земной поверхности и облаков длинноволновой, а также рассеяния прямой коротковолновой радиации атмосферой.

Наибольшей отражательной способностью (85%) обладает снежная поверхность. **Альбедо Земли составляет около 42%**

# Альбедо земной поверхности



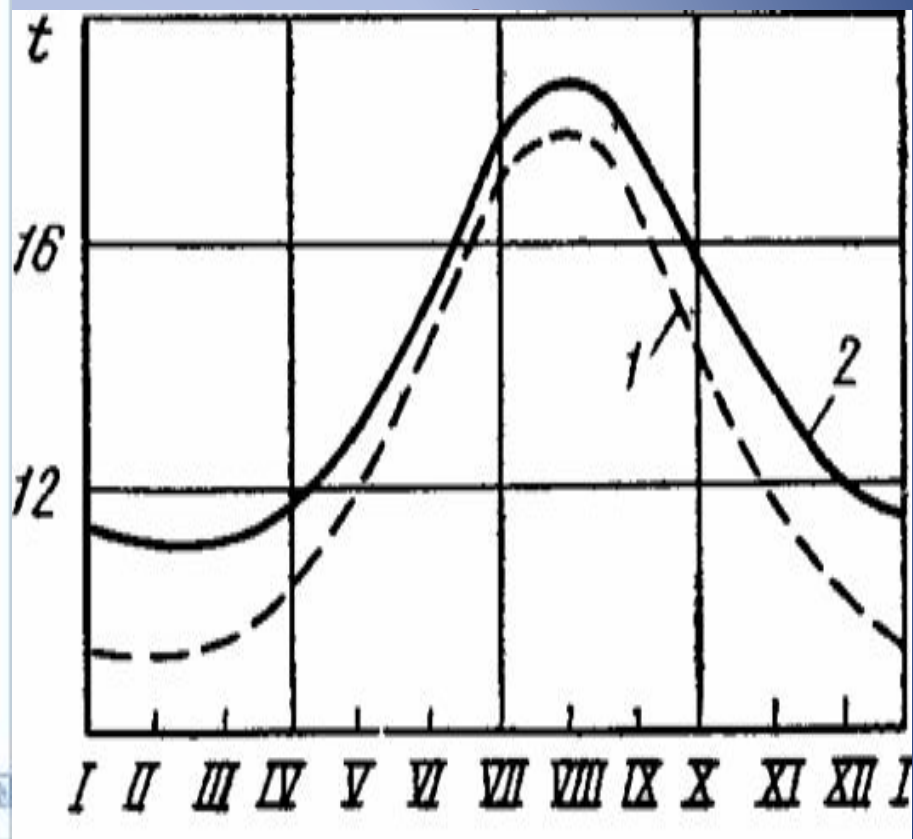
# Альбедо земной поверхности



# Амплитуда температур воздуха



## Годовая



# Температурная инверсия



Опускание  
холодного  
воздуха создаёт  
устойчивое  
состояние  
атмосферы.

*Дым из трубы не  
может  
преодолеть  
опускающуюся  
воздушную массу*

# Последствия инверсии



- При прекращении нормального процесса конвекции происходит загрязнение нижнего слоя атмосферы

*Зимний дым в городе Шанхай, чётко видна граница вертикального распространения воздуха*

# Тепловая конвекция

## ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

### АТМОСФЕРА

Солнечная радиация проникает сквозь чистую атмосферу  
Приходящая радиация равна 343 Ватт на кв. Метр

Часть солнечной радиации отражается атмосферой и земной поверхностью  
Отраженная радиация 103 Ватт на кв. Метр

Часть инфракрасной радиации проходит сквозь атмосферу и теряется в космосе  
Чистая уходящая радиация 240 Ватт на кв. Метр

### ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Чистая приходящая солнечная радиация составляет 240 Ватт на кв. Метр

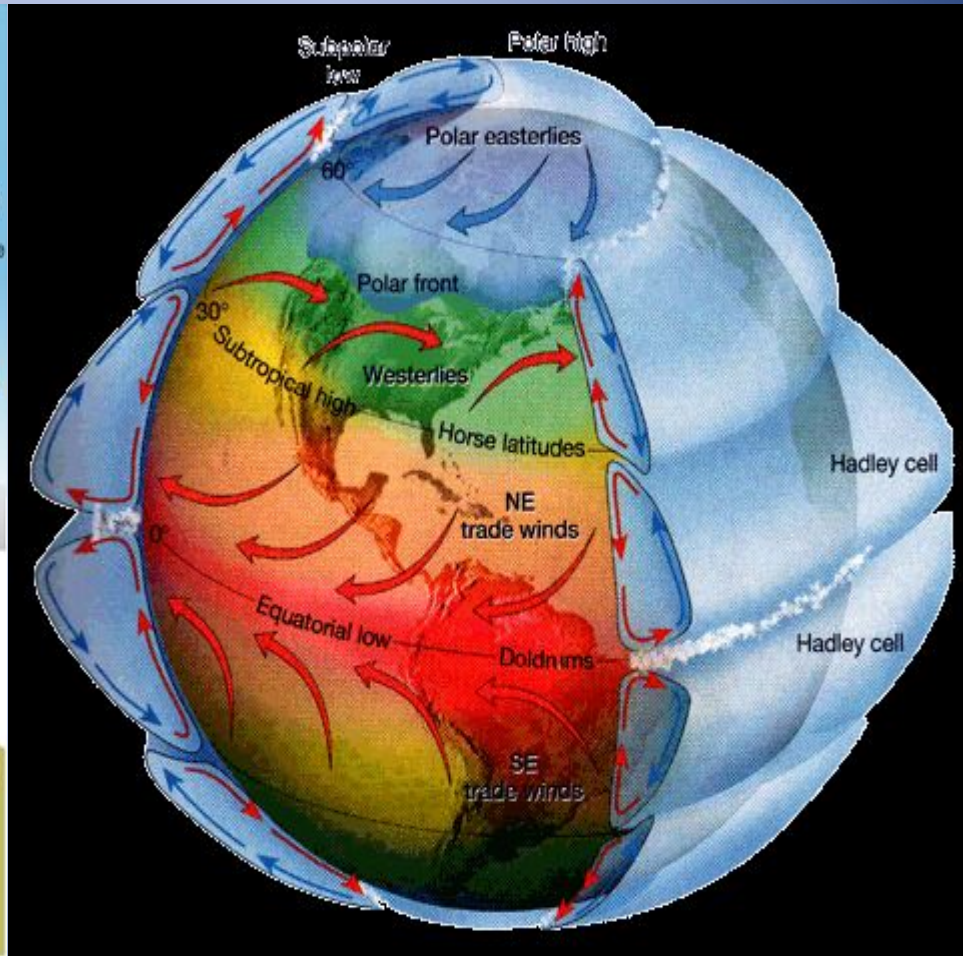
Часть инфракрасного излучения поглощается и отражается назад молекулами парниковых газов.  
Прямой эффект этого становится нагревание поверхности земли и тропосферы

Поверхность получает больше тепла и инфракрасная радиация выбрасывается снова

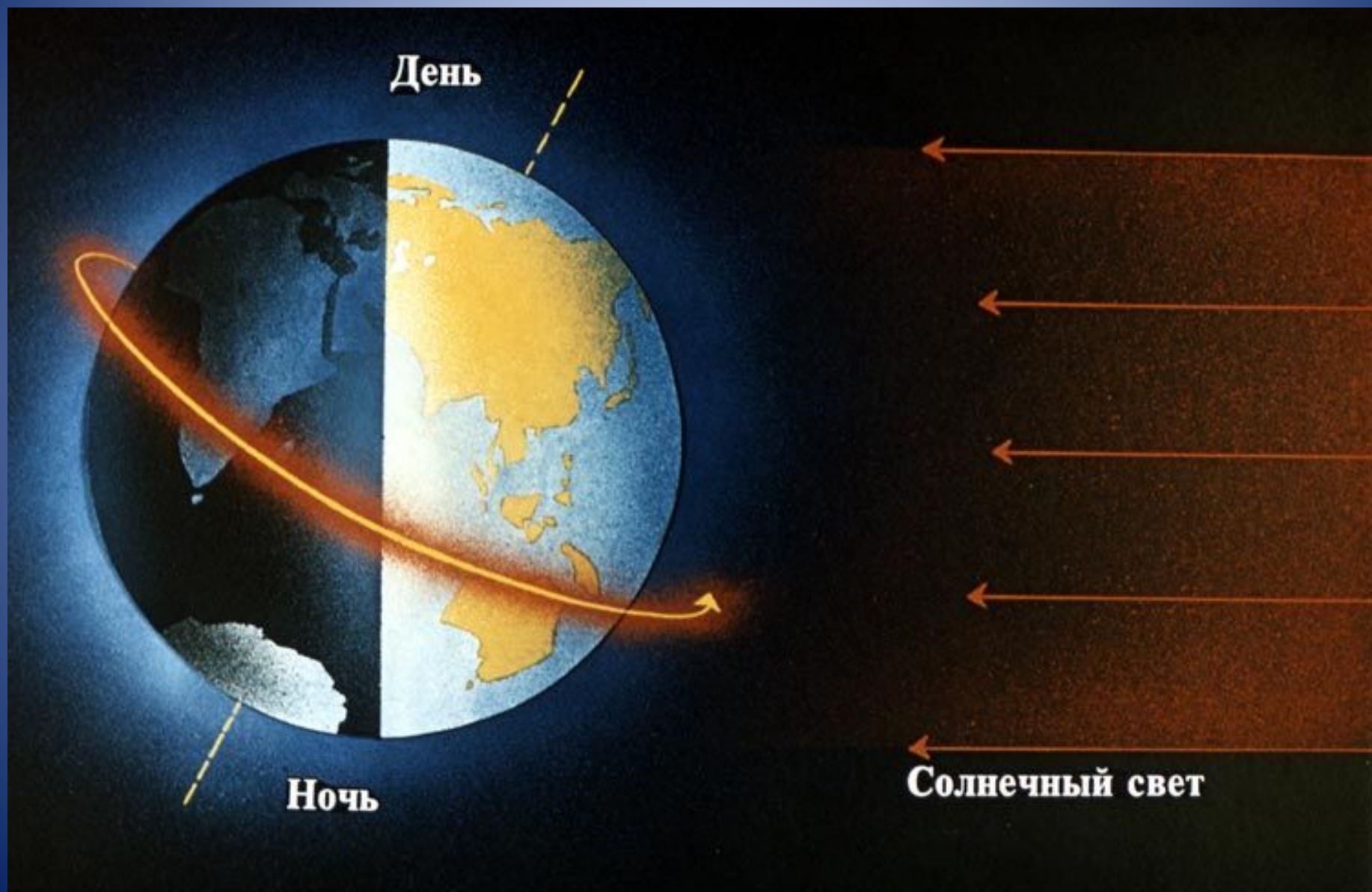
Солнечная энергия поглощается земной поверхностью и нагревает ее  
168 Ватт на кв. метр

... и она конвертируется в тепло вызывая эмиссию длинноволновой (инфракрасной) радиации в атмосферу

ЗЕМЛЯ

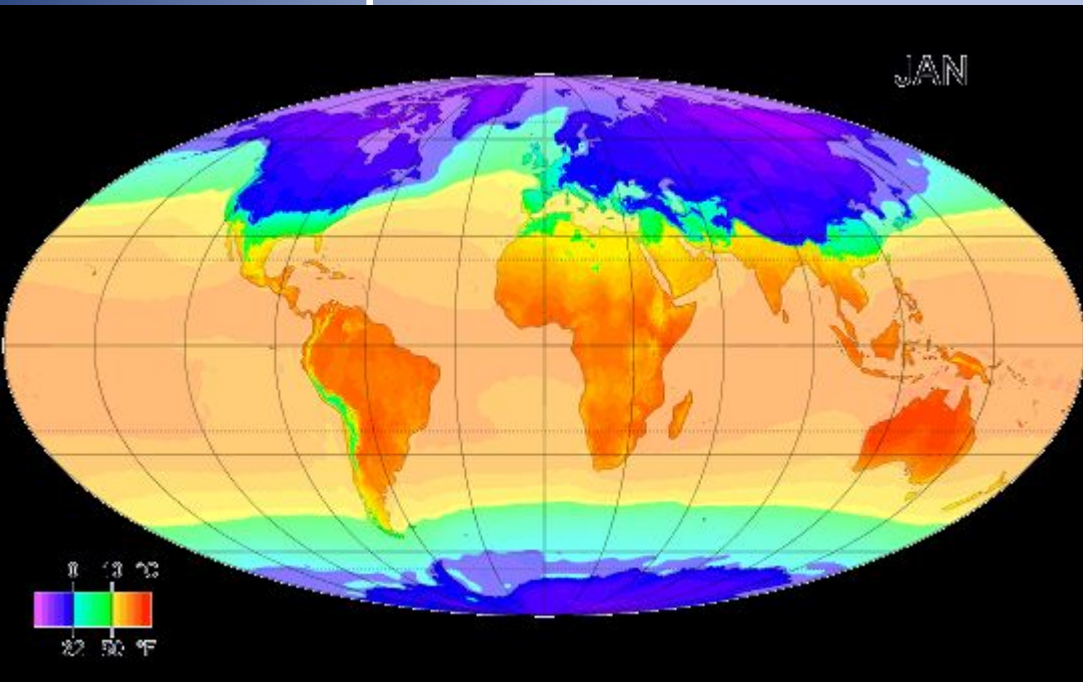


# Приход солнечного тепла

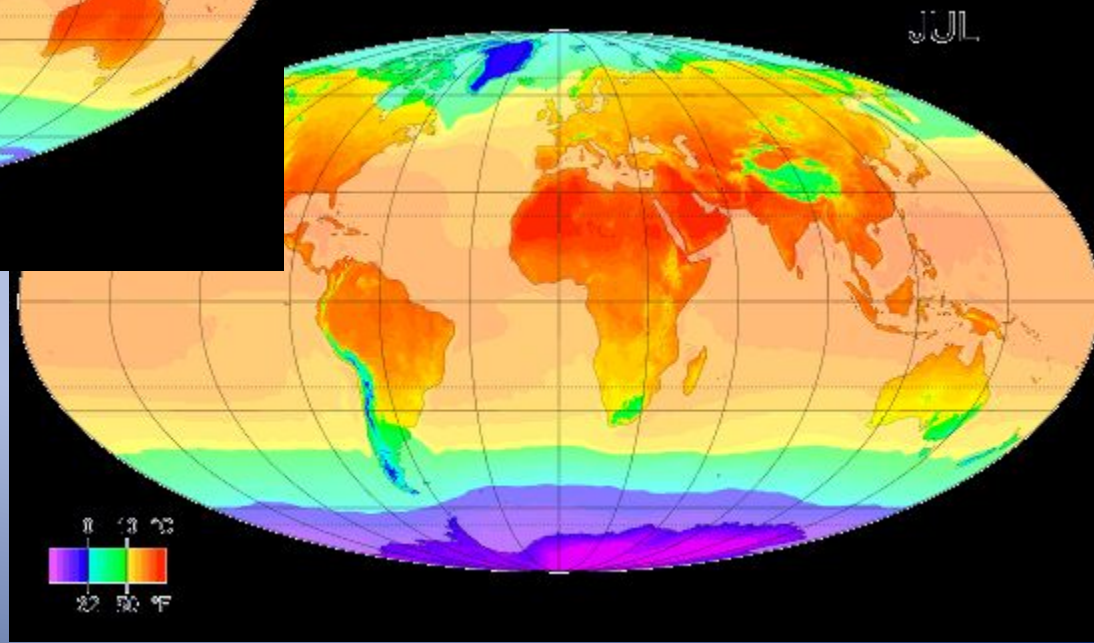


# Тепловые пояса по сезонам

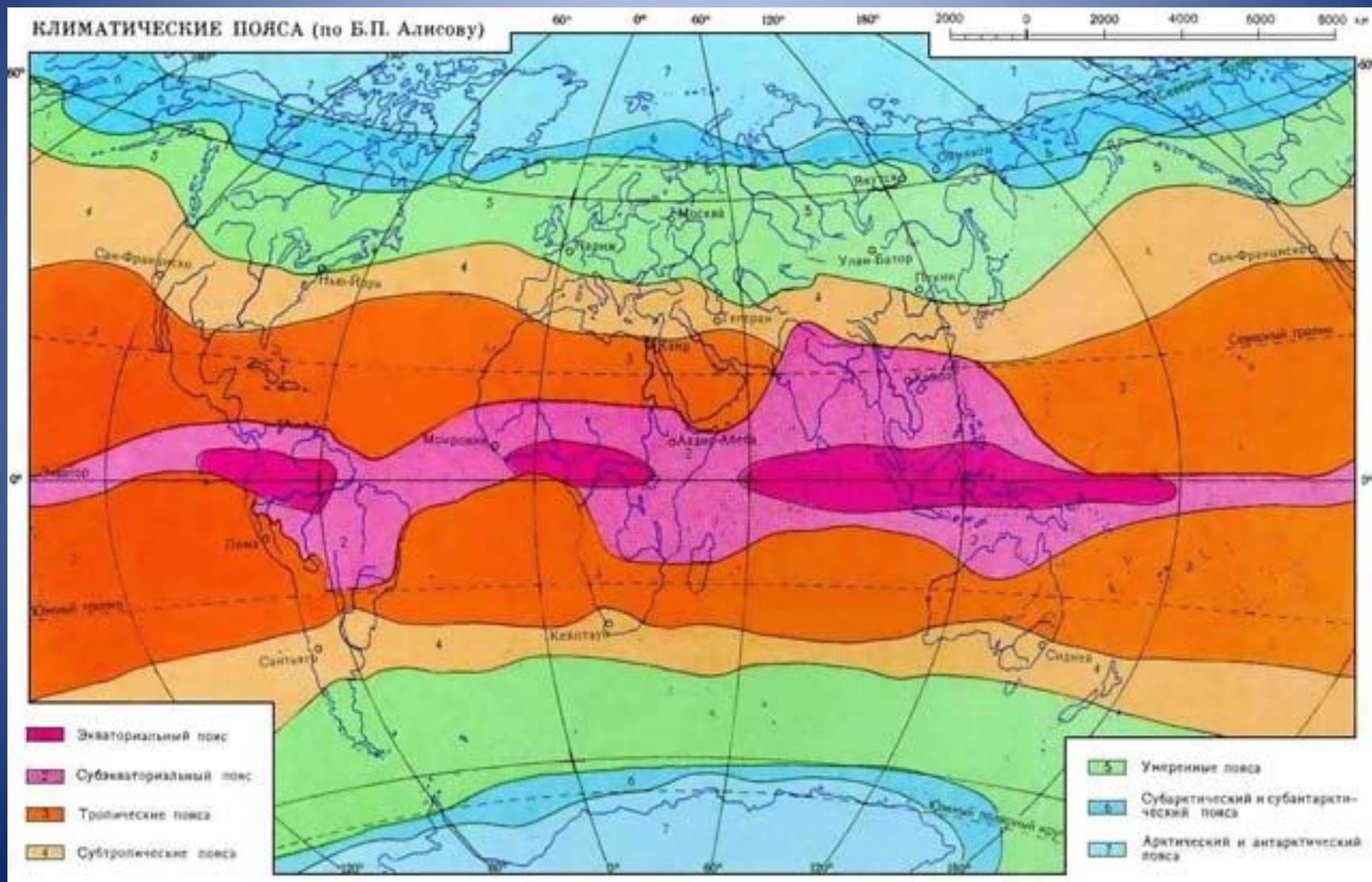
- Январь



Июль



# Тепловые пояса Земли



Спасибо за внимание ;)

