

# Лесная метеорология.

## Лекция №3:

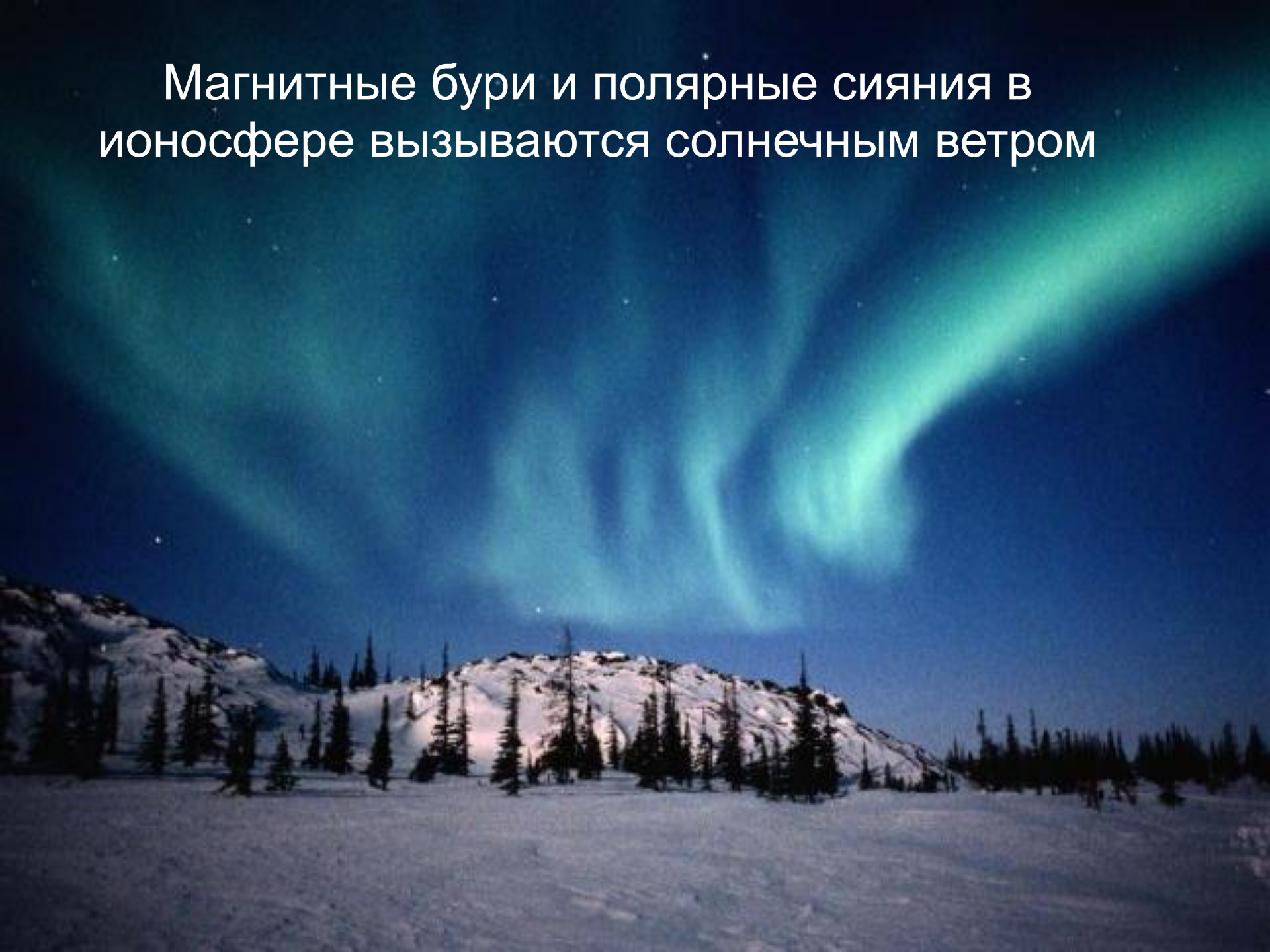
- *Радиационный режим атмосферы и земной поверхности*
- Солнечная радиация
- Единицы измерения потока радиации
- Спектральный состав солнечной радиации
- *Ослабление солнечной радиации в атмосфере*



# Солнце как источник радиации

- Солнечная радиация- это **электромагнитное** и **корпускулярное** излучение
- *Электромагнитная* составляющая солнечной радиации распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу.
- *корпускулярная составляющая* солнечной радиации, - это протоны, движущихся от Солнца со скоростями 300—1500 км/с, так называемый «Солнечный ветер»

Магнитные бури и полярные сияния в  
ионосфере вызываются солнечным ветром



Энергетический вклад корпускулярной составляющей солнечной радиации в её общую интенсивность невелик по сравнению с электромагнитной.

- Метеорология изучает лучистую энергию Солнца, поступающую на верхнюю границу атмосферы и на поверхность Земли.
  - Земля получает от Солнца менее одной двухмиллиардной его излучения

И тем не менее-

- Солнечная радиация — главный источник энергии для всех физических процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере

# Единицы измерения радиации: (Вт/м<sup>2</sup>)

- Единица поверхностной плотности потока радиации (интенсивности радиации) в Международной системе единиц (СИ)- это поверхностная плотность потока радиации, при которой через поверхность площадью 1 м<sup>2</sup> проходит поток излучения, равный 1 Вт.  
Т.е. за время 1 секунду переносится через эту поверхность энергия, равная 1 Дж.  
Применяется также к потокам тепла и звуковой энергии.

# Спектральный диапазон электромагнитного излучения Солнца

В зависимости от длины электромагнитных волн спектр солнечной радиации делится на три области:

- ✓ УФР с длиной волны от 0,01 до 0,39 мкм
  - ✓ Видимая часть спектра- от 0, 391 до 0,76 мкм
  - ✓ ИКР –от 0,761 до 3000 мкм
- 1 микрометр (мкм) =  $10^{-6}$  м = 1 микрон (мк)  
= 1000 миллимикрон (ммк)**
- ✓ Кроме того, рентгеновское излучение с длиной волн от 0, 00001 до 0, 01 мкм
  - ✓ Радиоволны - от 3 мм до километров
  - ✓ однако максимум интенсивности приходится на видимую (жёлто-зелёную) часть спектра.

- ✓ максимум интенсивности приходится на видимую (жёлто-зелёную) часть спектра.
- ✓ Лучи с длиной волны менее 0,29 мкм (ультрафиолетовая часть спектра) до земной поверхности не доходят, т.к поглощаются озоном в верхних слоях атмосферы.

# В метеорологии принято выделять коротковолновую и длинноволновую радиацию

- Коротковолновая радиация- от 0,1 до 4 мкм: включает видимый свет, УФР и ИКР.
- Солнечная радиация на 99% является коротковолновой радиацией.
- длинноволновая радиация – от 4 до 120 мкм.



# Солнечное излучение на верхней границе атмосферы

- Рассмотрим сначала распределение солнечной радиации на горизонтальную поверхность «на границе атмосферы» или «в отсутствии атмосферы».

# Солнечная постоянная

- это интенсивность солнечного излучения, приходящего на верхнюю границу атмосферы.

По данным измерений солнечная постоянная составляет

**1367 Вт/м<sup>2</sup>, или 1,959 кал / (см<sup>2</sup> \*мин)**

Солнечная постоянная не является неизменной во времени величиной, известно, что на её величину влияет солнечная активность за счет изменения числа и суммарной площади солнечных пятен.

Прямые измерения солнечной постоянной начаты после 1961 г., то её изменения на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности, по видимому, не превышают  $\sim 10^{-3}$ .

- Долгопериодные вариации солнечной постоянной имеют большое значение для климатологии и геофизики: расчёты по моделям теории климата показывают, что изменение солнечной постоянной на 1% приводит к изменению температуры Земли на 1 градус.

# Распределение радиации «на границе атмосферы»

- Для климатологии представляет существенный интерес о распределении притока радиации по Земному шару.
- Распределение солнечной радиации на границе атмосферы является простейшим
- Этим мы допускаем, что нет ни поглощения, ни рассеяния радиации, ни отражения ее облаками..
- Оно действительно существует на высоте нескольких десятков километров. Указанное распределение называют **солярным климатом.**

- *Ослабление солнечной радиации в атмосфере*

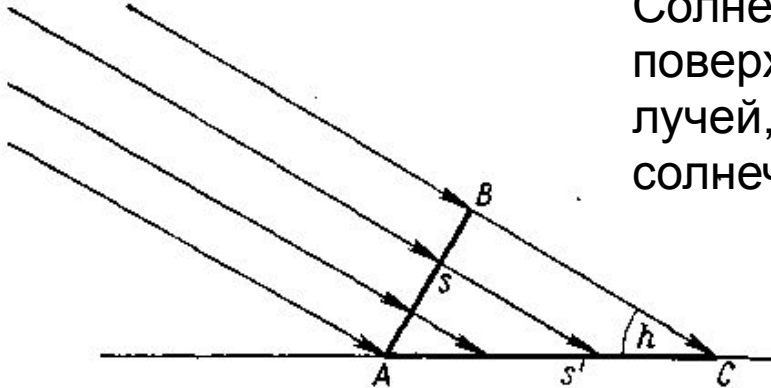
К земной поверхности солнечная радиация  
доходит в виде прямой и рассеянной  
радиации

# Солнечная радиация в атмосфере

- При прохождении через атмосферу солнечная радиация ослабляется: она рассеивается и поглощается атмосферой, облаками.
- Абсолютно чистая сухая атмосфера пропускает 91% радиации.

# Прямая солнечная радиация

Солнечная радиация, доходящая до земной поверхности в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнечного диска.



*Приток солнечной радиации на поверхность, перпендикулярную к лучам (AB), и на горизонтальную поверхность (AC);*

*где  $h$  — высота солнца*

- единица площади, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам, получит максимально возможное количество радиации. На единицу горизонтальной площади придется меньшее количество лучистой энергии
- В самом деле, на горизонтальную площадку  $s'$  приходится количество радиации  $I's'$ , равное количеству радиации  $I_s$ , приходящему на перпендикулярную к лучам площадку  $s$ :
- Но площадь  $s$  относится к площади  $s'$ , как  $AB$  к  $AC$ ; отсюда  $I' = I$  только тогда, когда Солнце в зените, а во всех остальных случаях  $I'$  меньше  $I$ .
- Приток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность называют инсоляцией.

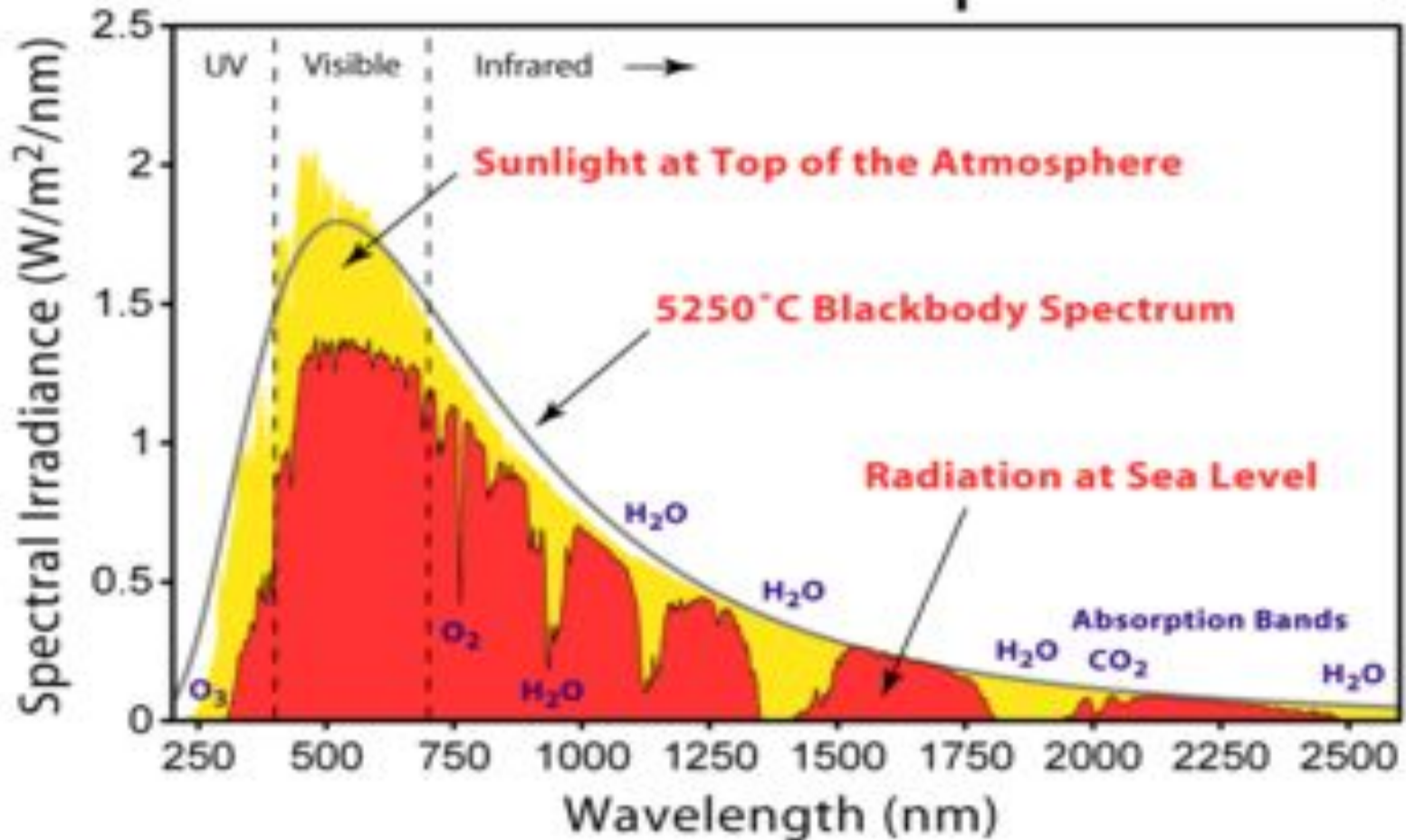
# Изменения солнечной радиации в атмосфере и на земной поверхности

1. Проходя сквозь атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается атмосферными газами и аэрозольными примесями и переходит в особую форму рассеянной радиации. Частично же она поглощается молекулами атмосферных газов и примесями к воздуху и переходит в теплоту, идет на нагревание атмосферы.
2. В результате поглощения и рассеяния радиации в атмосфере прямая радиация, дошедшая до земной поверхности, изменена в сравнении с тем, что было на границе атмосферы. Интенсивность радиации уменьшается, а спектральный состав ее изменяется, так как лучи разных длин волн поглощаются и рассеиваются в атмосфере по-разному



В реальной атмосфере солнечная радиация поглощается: водяным паром, углекислым газом, озоном, аэрозолями – 15-20% от приходящей на верхнюю границу атмосферы.

## Solar Radiation Spectrum



# Рассеяние солнечной радиации:

- Солнечная радиация при рассеянии не поглощается воздухом и аэрозолями и не переходит в тепловую энергию, но она отклоняется от прямолинейного пути и рассеивается во все стороны, т.е. поступает на земную поверхность со всего небесного свода.
- Около 25% энергии общего потока солнечной радиации превращается в атмосфере в рассеянную радиацию. Значительная доля рассеянной радиации (60%) также приходит к земной поверхности. Но это особый вид радиации, существенно отличный от прямой радиации.

# Рассеяние солнечной радиации происходит

1. молекулами атмосферных газов;
2. аэрозольными частичками.

- Молекулярное рассеяние очень близко к рассеянию по закону Релея, т. е. обратно пропорционально четвертой степени длины волны радиации, подвергающейся рассеянию.
- Рассеяние на более крупных частичках аэрозолей — аэрозольное рассеяние — обратно пропорционально меньшим степеням длины волны;
- Для капель тумана, облаков и мороси совсем не зависит от длины волны и переходит в диффузное отражение.
- В случае молекулярного рассеяния — рассеяние в направлении падающего луча и в обратном направлении одинаковы по интенсивности и вдвое больше, чем в направлении, перпендикулярном к лучу.
- В случае рассеяния крупными частичками интенсивность в направлении падающего луча значительно превышает интенсивность в обратном направлении
- Рассеянная радиация подвергается вторичному рассеянию.
- Рассеянием радиации объясняются голубой цвет неба, дневное освещение в отсутствие прямых солнечных лучей, поляризация небесного света, дымка и другие оптические явления.

# Голубой цвет воздуха

- По закону Релея, чем короче длина волны света (голубые, синие и фиолетовые лучи и особенно УФЛ), тем сильнее они рассеиваются.
- Фиолетовые лучи рассеиваются в 16 р. больше, чем красные.
- В видимой части спектра максимум энергии приходится на сине-фиолетовую область, на лучи с длиной волны 0,474 мкм (ГОЛУБЫЕ)
- Вследствие рассеяния цвет неба кажется голубым.
- Голубой цвет воздуха можно видеть, не только глядя на небесный свод, но и рассматривая отдаленные предметы, которые кажутся окутанными голубоватой дымкой.
  - С высотой, по мере уменьшения плотности воздуха, т. е. количества рассеивающих частиц, цвет неба становится темнее и переходит в густо-синий, а в стратосфере — в черно-фиолетовый.

- Чем больше в воздухе помутняющих примесей более крупных размеров, чем молекулы воздуха, тем больше доля длинноволновых лучей в спектре солнечной радиации и тем белесоватее становится окраска небесного свода.
- Частицами тумана, облаков и крупной пыли, диаметром больше 1,2 мкм, лучи всех длин волн диффузно отражаются одинаково; поэтому отдаленные предметы при тумане и пыльной мгле заволакиваются уже не голубой, а белой или серой завесой. Облака, на которые падает солнечный свет, кажутся поэтому же белыми.

**У горизонта солнце становится почти красным, особенно когда в воздухе много пыли и мельчайших продуктов конденсации (капелек или кристаллов).**



- **Рассеяние солнечной радиации в атмосфере обуславливает рассеянный свет в дневное время.**
- **В отсутствии атмосферы на Земле было бы светло только там, куда попадали бы прямые солнечные лучи или солнечные лучи, отраженные земной поверхностью и предметами на ней.**
- **Вследствие рассеяния вся атмосфера днем служит источником освещения:**
- **днем светло также и там, куда солнечные лучи непосредственно не падают, и даже тогда, когда солнце скрыто за облаками.**
- **При этом вследствие большего процентного содержания синих лучей рассеянный свет белее прямого солнечного света.**

# К земной поверхности солнечная радиация доходит в виде прямой и рассеянной радиации

## Суммарная радиация

- Совокупность прямой  $S'$  и рассеянной солнечной радиации  $D$ , поступающей в естественных условиях на горизонтальную земную поверхность.

- $$Q = S' + D$$

- где  $S$  — интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность,  $D$  — интенсивность рассеянной радиации.



- При безоблачном небе суммарная радиация имеет суточный ход с максимумом около полудня и годовой ход с максимумом летом.
- Суточный и годовой ход  $Q$  пропорционален высоте солнца.
  - Полуденные значения суммарной радиации в летние месяцы под Москвой при безоблачном небе в среднем  $0,6-0,9 \text{ кВт/м}^2$ .
- Частичная облачность, не закрывающая солнечный диск, увеличивает суммарную радиацию по сравнению с безоблачным небом; полная облачность, напротив, ее уменьшает.
- *В среднем облачность уменьшает суммарную радиацию на 20-30%.*

# Отражение и поглощение солнечной радиации.

Падая на земную поверхность, суммарная радиация в большей своей части поглощается в верхнем, тонком слое почвы или воды и переходит в тепло, а частично отражается.

Величина отражения солнечной радиации ( $R$ ) земной поверхностью зависит от характера этой поверхности. Отношение количества отраженной радиации к общему количеству радиации, падающей на данную поверхность, называется альбедо поверхности.

$$A=R/Q$$

Это отношение выражается в процентах

# поглощенная радиация

Из общего потока суммарной радиации  $Q$  отражается от земной поверхности часть его  $QA$

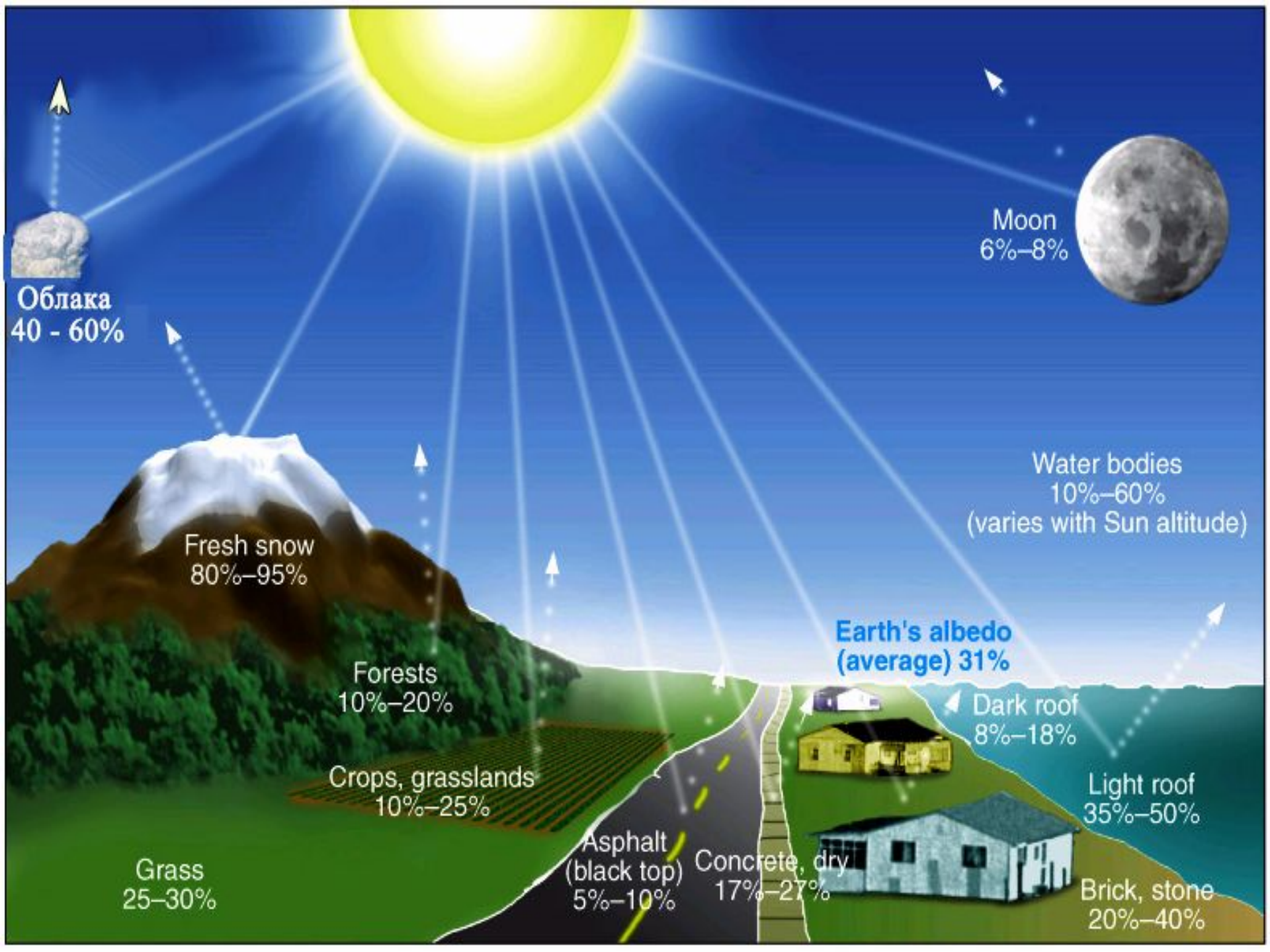
где  $A$  — альbedo поверхности.

Остальная часть суммарной радиации  $Q(1-A)$

поглощается земной поверхностью и идет на нагревание верхних слоев почвы и воды. Эту часть называют поглощенной радиацией.

# Альbedo поверхности в общем заклучается в пределах 10-30%

- в случае влажного чернозема оно снижается до 5%, а в случае сухого светлого песка может повышаться до 40%.
- С возрастанием влажности почвы альbedo снижается.
- Альbedo растительного покрова — леса, луга, поля — заклучается в пределах 10—25%.
- Для свежавыпавшего снега альbedo 80—90%, для давно лежащего снега — около 50% и ниже.
- Альbedo гладкой водной поверхности для прямой радиации меняется от нескольких процентов при высоком солнце до 70% при низком солнце.



# альбедо Земли

- Преобладающая часть радиации, отраженной земной поверхностью и верхней поверхностью облаков, уходит за пределы атмосферы в мировое пространство.
- Также уходит в мировое пространство часть рассеянной радиации, около одной трети ее.
- Отношение этой уходящей в космос отраженной и рассеянной солнечной радиации к общему количеству солнечной радиации, поступающему в атмосферу, носит название планетарного альбедо Земли или просто альбедо Земли.
- Планетарное альбедо Земли оценивается в 35-40%;
- Основную часть планетарного альбедо Земли составляет отражение солнечной радиации облаками.

# Длинноволновое излучение земной поверхности

*Верхние слои почвы и воды, снежный покров и растительность, поглощая радиацию, нагреваются, а затем сами излучают длинноволновую радиацию; эту земную радиацию называют*  
**собственным**  
*излучением земной поверхности*

**$E_s$**



**Солнце**

Длинноволновое излучение Земли поверхности

Граница атмосферы

Граница атмосферы

4%

20%

6%

100%

солнечная радиация

Прямая

51%

6%

94%

3%

16%

Облака поглощают и отражают радиацию

Воздух нагревается и поднимается

Отражается поверхностью Земли

Отражается облаками

Рассеивается

Поглощается облаками

Поглощается пылью и газами атмосферы

Поглощается земной поверхностью

**Поверхность Земли**



# Встречное излучение

- Атмосфера нагревается, поглощая как солнечную радиацию (около 15-20% всего ее количества, приходящего к Земле), так и собственное излучение земной поверхности.
- Кроме того, она получает тепло от земной поверхности путем теплопроводности, а также при испарении и последующей конденсации водяного пара.

***Будучи нагретой, атмосфера излучает сама.***

***Так же как и земная поверхность, она излучает невидимую инфракрасную радиацию примерно в том же диапазоне длин волн.***

# Встречное излучение

- Большая часть (до 70%) атмосферной радиации приходит к земной поверхности, остальная часть уходит в мировое пространство.
  - Атмосферную радиацию, приходящую к земной поверхности, называют встречным излучением

*( $E_a$ ),*

потому, что оно направлено навстречу собственному излучению земной поверхности.

Земная поверхность поглощает это встречное излучение атмосферы почти целиком (на 90-99%).

**Оно является для земной поверхности важным источником тепла в дополнение к поглощенной солнечной радиации**

# Эффективное излучение

- Встречное излучение  $E_a$  всегда несколько меньше собственного земного излучения  $E_z$
- Поэтому ночью, когда солнечной радиации нет и к земной поверхности приходит только **встречное** излучение, земная поверхность теряет тепло за счет положительной разности между собственным и встречным излучением.
- Эту разность между собственным излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы называют **эффективным** излучением или

**длинноволновым балансом радиации**

$$E_{эф} = E_z - E_a$$

# Радиационный баланс земной поверхности

Это разность между поглощенной радиацией (суммарная радиация минус отраженная) и эффективным излучением (излучение земной поверхности минус встречное излучение)

$$B = S' + D - R + E_a - E_z$$

$$B = Q(1 - A) - E_{эф}$$

Ночью коротковолновый баланс = 0

Поэтому

$$B = - E_{эф}$$

- Поверхность суши и воздух приземного слоя быстро нагреваются днем и довольно быстро теряют тепло ночью.
- Если бы в верхней тропосфере отсутствовали улавливающие тепло слои, амплитуда колебаний суточных температур могла бы быть гораздо больше.
- Например, Луна получает от Солнца примерно столько же тепла, сколько и Земля, но, поскольку у Луны нет атмосферы, температуры ее поверхности днем повышаются примерно до  $101^{\circ}\text{C}$ , а ночью понижаются до  $-153^{\circ}\text{C}$ .

# Фотосинтетически активная радиация (ФАР)

Это часть потока суммарной радиации  $Q$ ,  
которая используется зелеными  
растениями в процессе фотосинтеза

***ФАР составляет 50% от  $Q$***

Длина волны ФАР от 0,38 до 0,71 мкм

Выделяют также ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ  
АКТИВНУЮ РАДИАЦИЮ (ФР) от 0,35  
до 0,75 мкм

- Лучистая энергия ФАР – источник всех **ФОТОХИМИЧЕСКИХ** процессов в растениях при фотосинтезе и при фитофизиологических процессах.
- ФАР составляет:
  - 50% от суммарной радиации
  - 60% от рассеянной радиации
  - 40% от прямой радиации

# Поток ФАР

1. частично поглощается листьями растений – 80%, энергия идет на нагревание листьев (превращается в тепло) и расходуется на испарение и транспирацию и теплообмен
2. отражается от листовой поверхности и проходит насквозь – до 12%.



Поглощение листьями (а именно хлорофиллом) энергии, в т.ч. ФАР избирательно:

Сильнее всего поглощается  
сине-фиолетовая часть (0,39-0,48 мкм)

Меньше –оранжевая и красная часть  
(0,64-0,68 мкм)

*Меньше всего поглощение в желто-зеленой части спектра (0,5-0,6 мкм)- поэтому она больше отражается и мы видим цвет.... листьев*

На фотосинтез используется несколько процентов лучистой энергии(1-4%)

- КПД растительности: это отношение ФАР использованной в фотосинтезе ко всему потоку ФАР
- КПД обычно мал: 1-2%,
- для агроценозов 1-3%
- Для лесов 2-4%

# Самостоятельно:

1. ФАР
2. Радиационный режим леса

# Методы измерения радиации

- Для измерения интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации и эффективного излучения (а также альbedo, освещенности и пр.) существует много приборов как с визуальными отсчетами, так и с автоматической регистрацией.
- Приборы для измерения прямой солнечной радиации называют пиргелиомерами и актинометрами, для измерения рассеянной радиации — пиранометрами, для измерения радиационного баланса — балансомерами.
- Названия самопишущих приборов оканчиваются на «граф» (актинограф, пиранограф).

