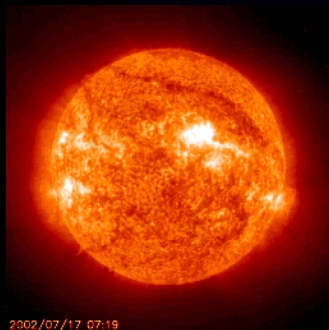
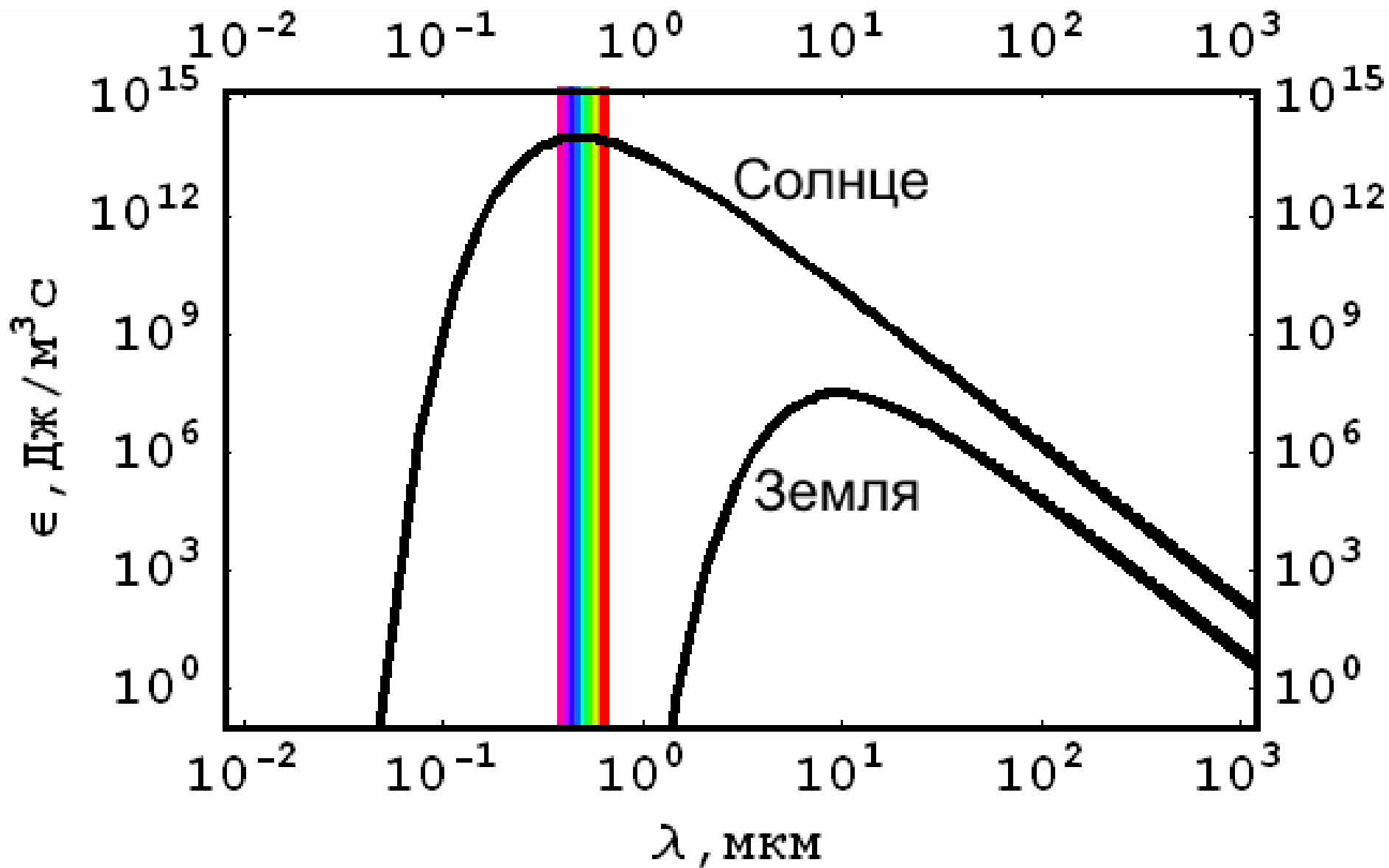


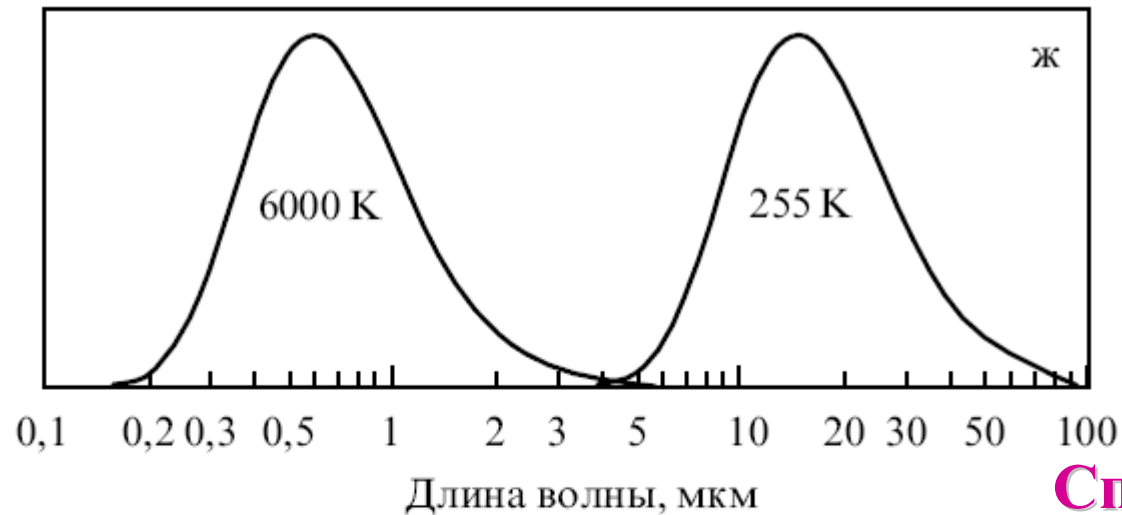
РАДИАЦИОННЫЙ ОБМЕН В СИСТЕМЕ СОЛНЦЕ - ЗЕМЛЯ - КОСМОС



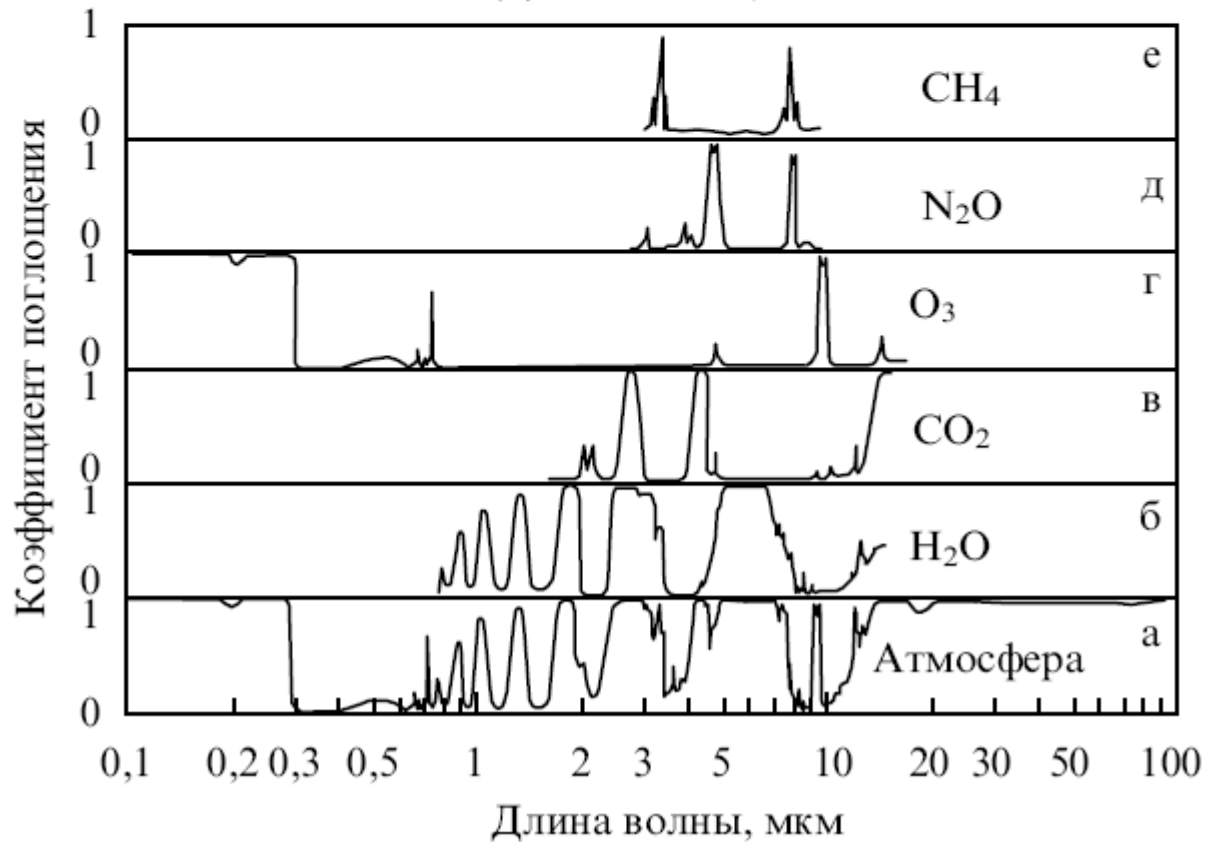
2002/07/17 07:19







Нормированные спектры излучения Солнца и Земли



Спектры поглощения

метан

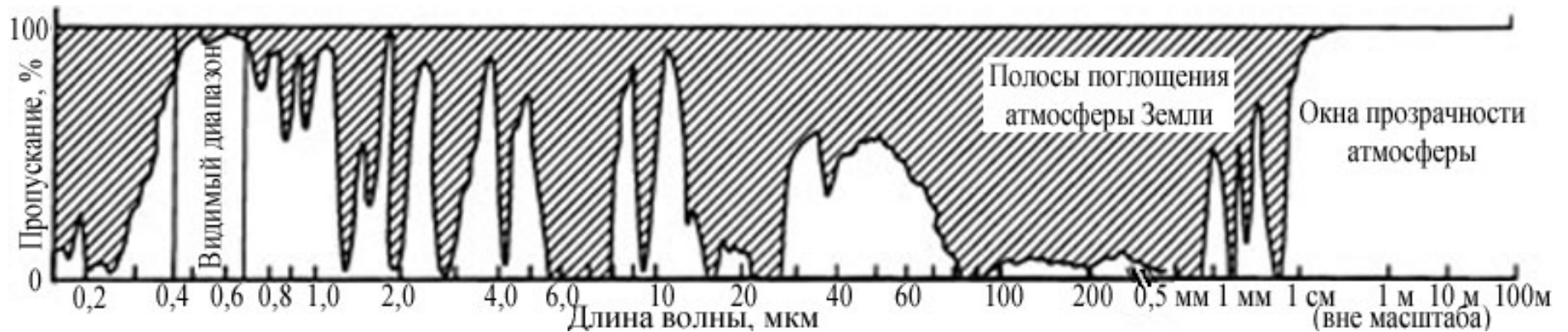
закись азота

озон

углекислый газ

водяной пар

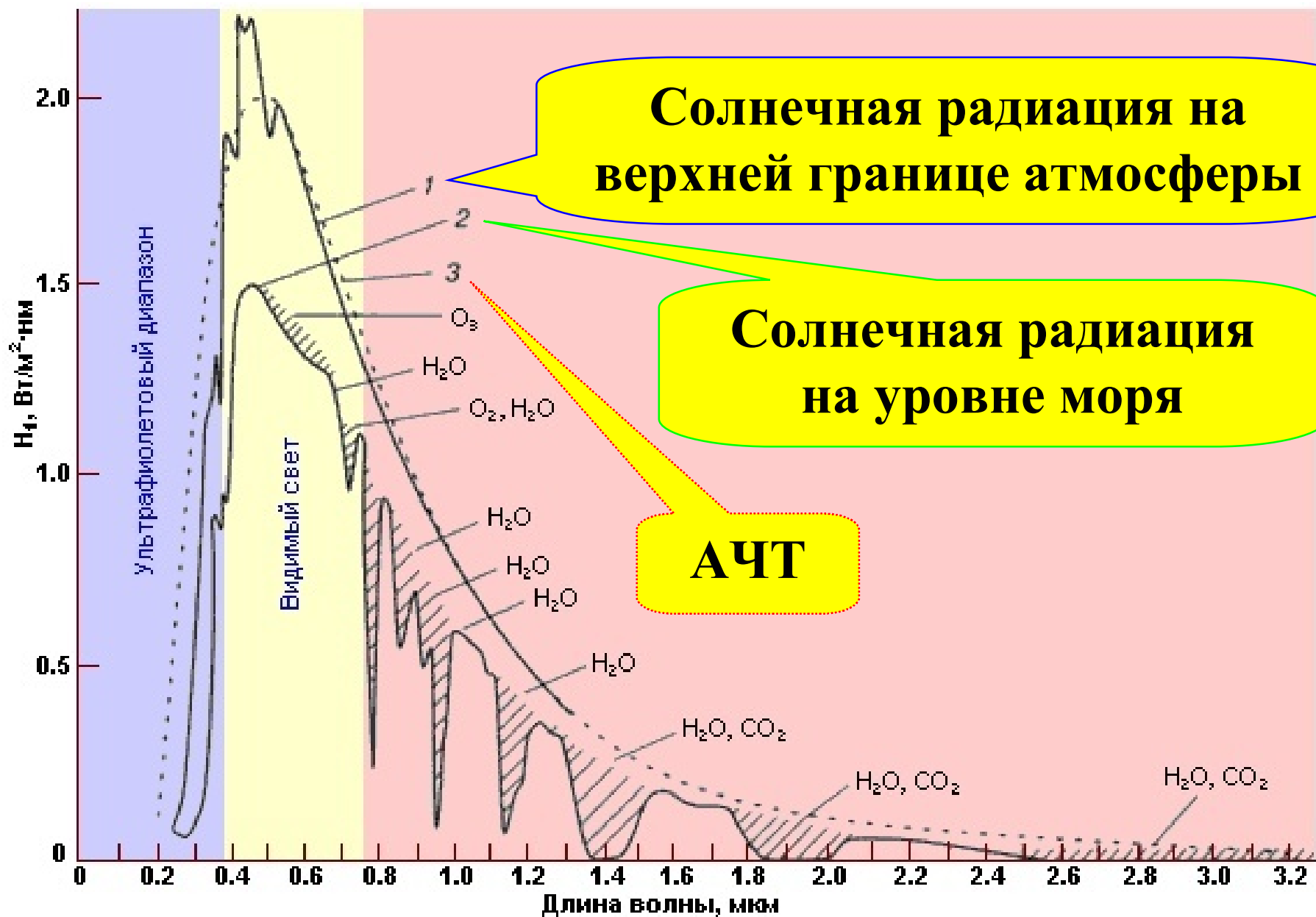
Поглощение электромагнитного излучения атмосферой



Окна прозрачности атмосферы Земли:

- ❑ "большое окно": 0.3-1.3 мкм (видимый диапазон)
- ❑ 1.5-1.8 мкм (ИК диапазон)
- ❑ 2.0-2.6 мкм (ИК диапазон)
- ❑ 7.0-15.0 мкм (тепловой ИК диапазон)
- ❑ 0.5 мм и более 10м (микроволн.и радиодиапазон)

Энергетический спектр Солнца



**В спектре планет
всегда присутствуют
два максимума:**

1. отраженное
солнечное излучение

2. тепловое излучение

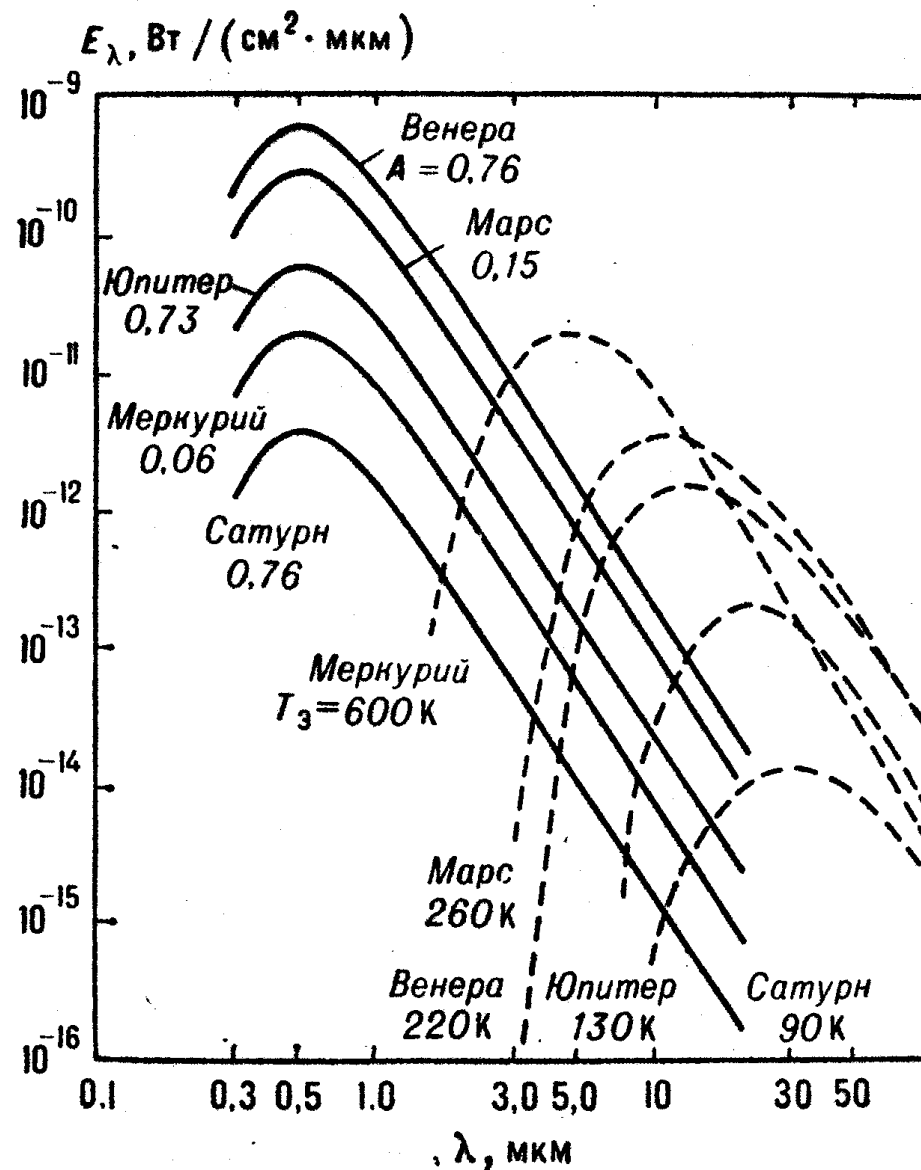


Рис. 3. Схема распределения энергии в спектре излучения планет. Сплошные кривые соответствуют отраженному солнечному излучению, прерывистые — тепловому излучению планет (рядом указаны значения альbedo A планет и эффективной температуры T , их поверхности).

Альбедо – доля солнечной энергии, отраженной от планеты

$$A = \Phi / \Phi_0$$

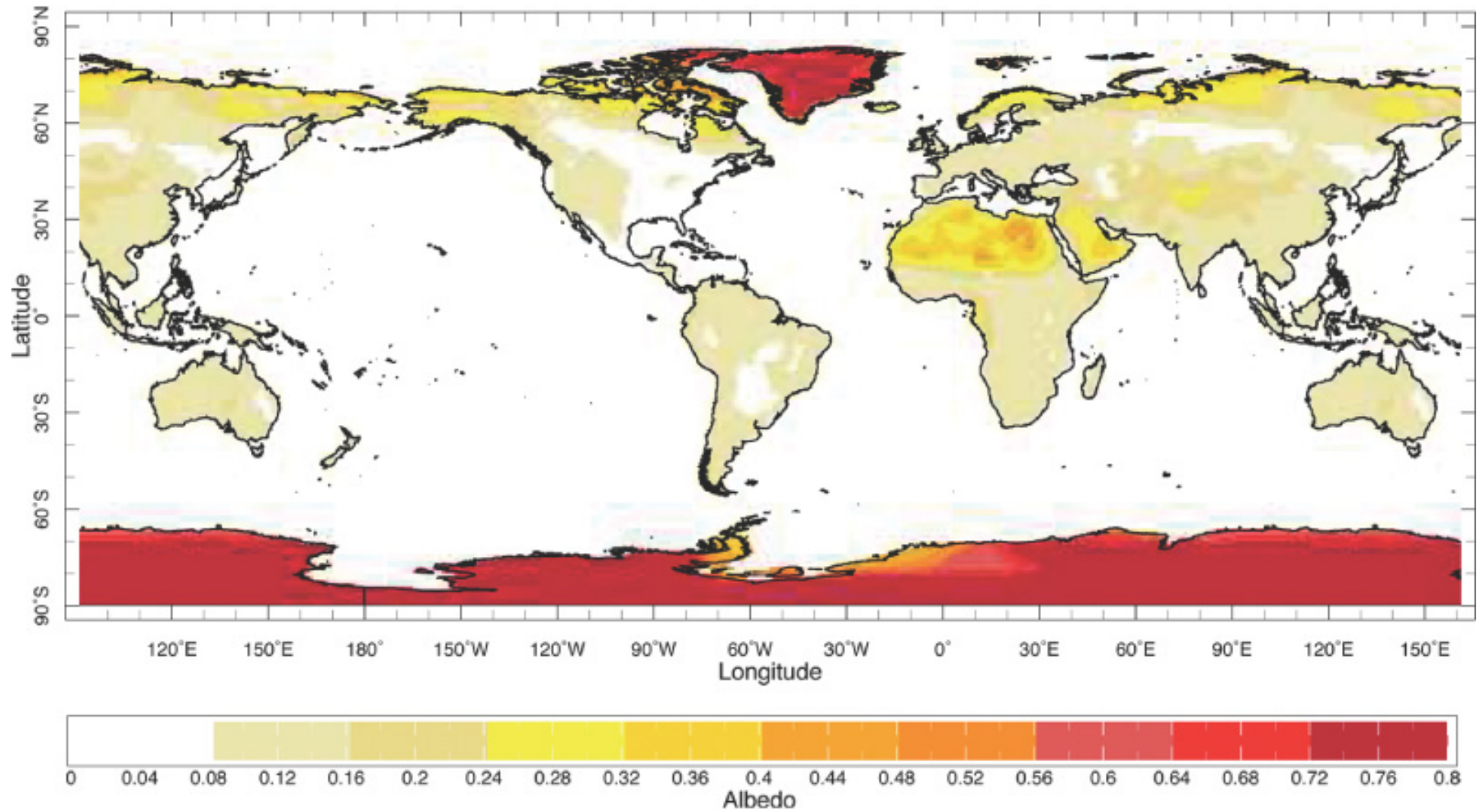
Φ_0 - падающий поток солнечного излучения;

Φ - поток, рассеянный планетой во все стороны.

Альбедо различных поверхностей (%)

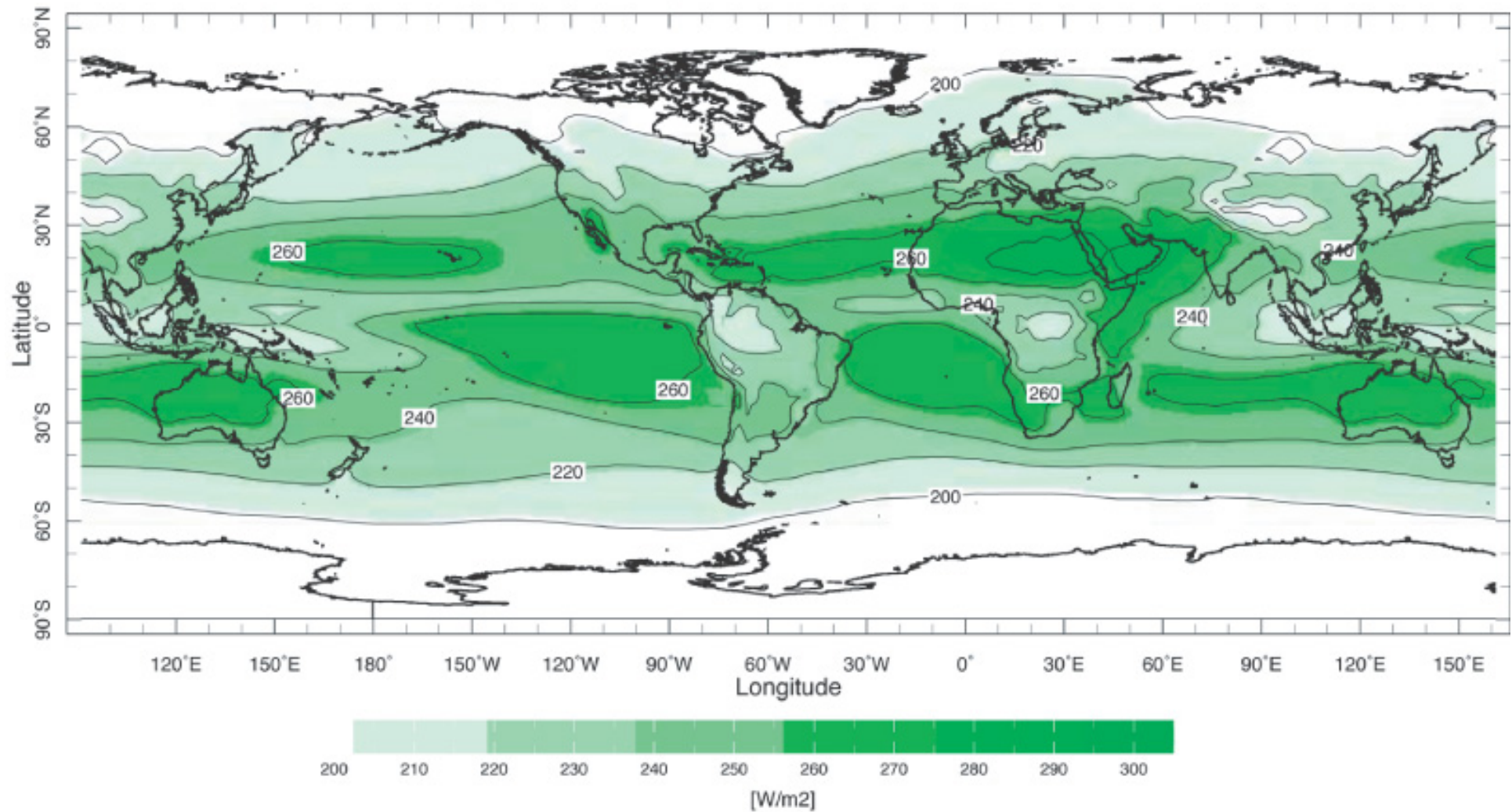
Океан	2-10
Леса	6-18
Города	14-18
Трава	7-25
Почва	10-20
Пустыня (песок)	35-45
Лед	20-70
Облака	30-70
Снег (старый)	40-60
Снег (свежий)	75-95

Surface Albedo



Copyright © 2008, Elsevier Inc. All rights reserved.

Outgoing Longwave Radiation (Wm^{-2})



СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ (S_0) -
суммарный поток солнечного излучения,
проходящий через единичную площадку,
перпендикулярную направлению лучей и
находящуюся вне земной атмосферы на
среднем расстоянии Земли от Солнца
 $r=1$ а. е. ($149.6 \cdot 10^9$ м).

$$S_0 \approx 1367 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$\Delta S_0 < 0.01 \%$ – солнечные пятна

$\Delta S_0 < 0.1 \%$ – 11 – летний цикл

Тепловой поток
из недр Земли
 $Q \sim 0.1 \text{ Вт} / \text{м}^2$

меняет глобальную температуру Земли на 0.1 К

Светимость Солнца

$$L_{\odot} = S_0 \cdot 4\pi r^2 \approx 3.84 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$$

АЧТ при $T=5770 \text{ К}$

Доля энергии, получаемая Землей

$$L_{\oplus} = S_0 \pi R_{\oplus}^2 \approx 1.75 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$$

$$L_{\oplus} / L_{\odot} = \pi R_{\oplus}^2 / 4\pi r^2 \approx 4.4 \cdot 10^{-10}$$

- ❑ **Все существующие на Земле запасы каменного угля равноценны 30-летнему притоку солнечной радиации к Земле.**
- ❑ **За 1,5 суток Солнце дает Земле столько же энергии, сколько дают электростанции всех стран в течение 1 года.**

Сезонные вариации солнечной радиации (но не солнечной постоянной!)

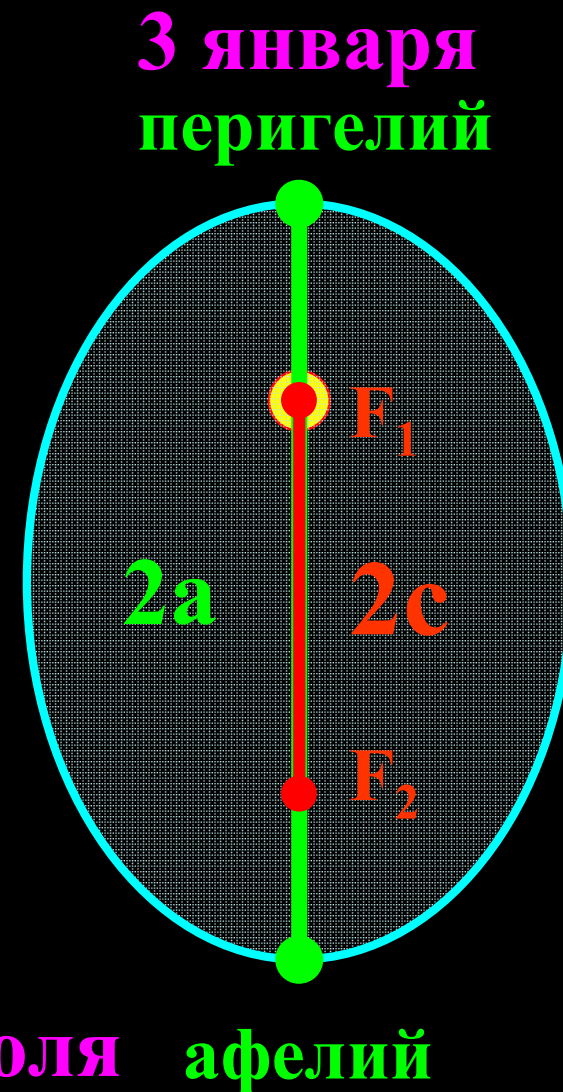
$$\Phi \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{\Phi_{\text{перигелий}}}{\Phi_{\text{афелий}}} = \left(\frac{r_{\text{афелий}}}{r_{\text{перигелий}}} \right)^2$$

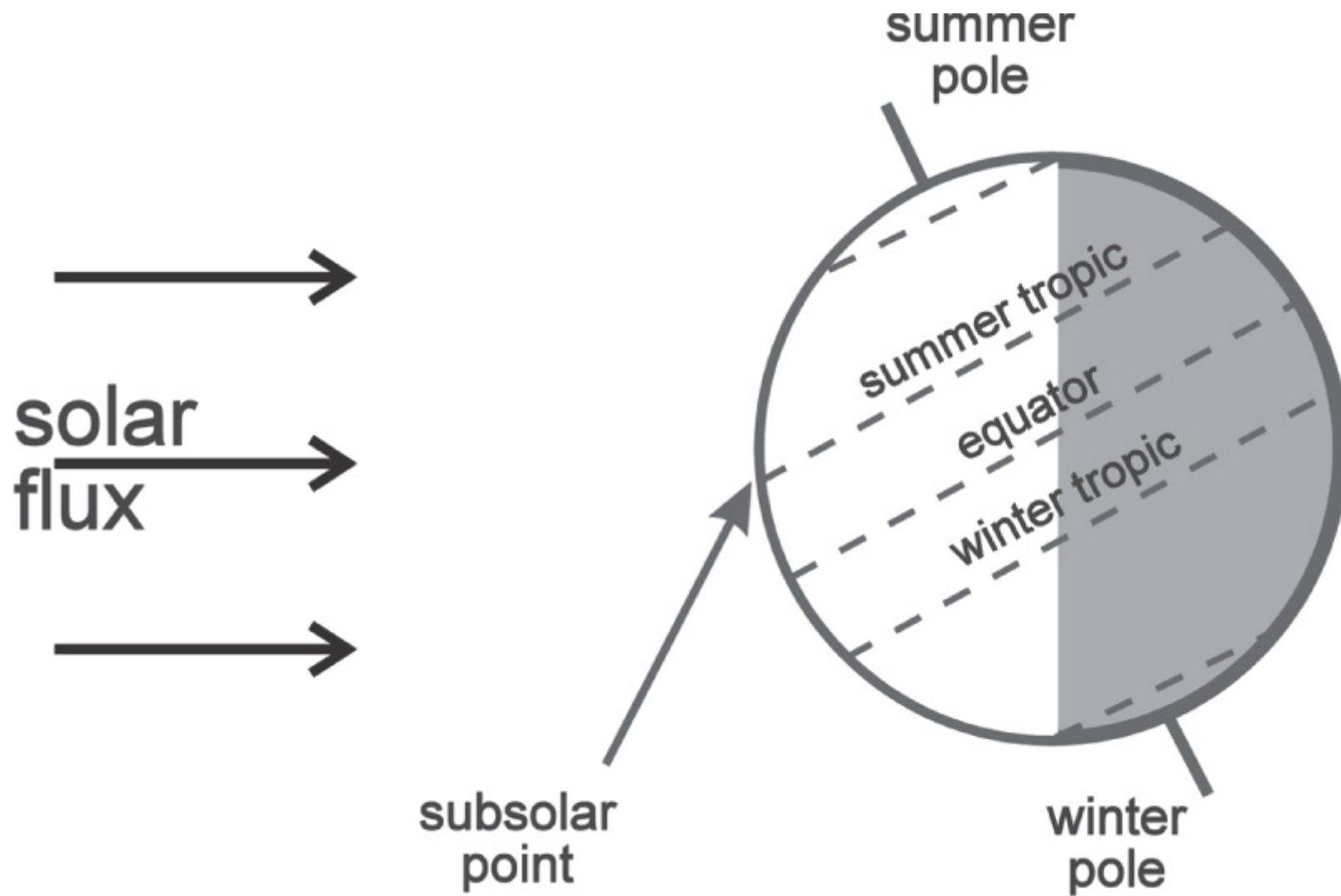
$$e = c/a = 0.0167$$

$$\frac{r_{\text{афелий}}}{r_{\text{перигелий}}} = \frac{a+c}{a-c} = \frac{1+e}{1-e} \approx 1.017$$

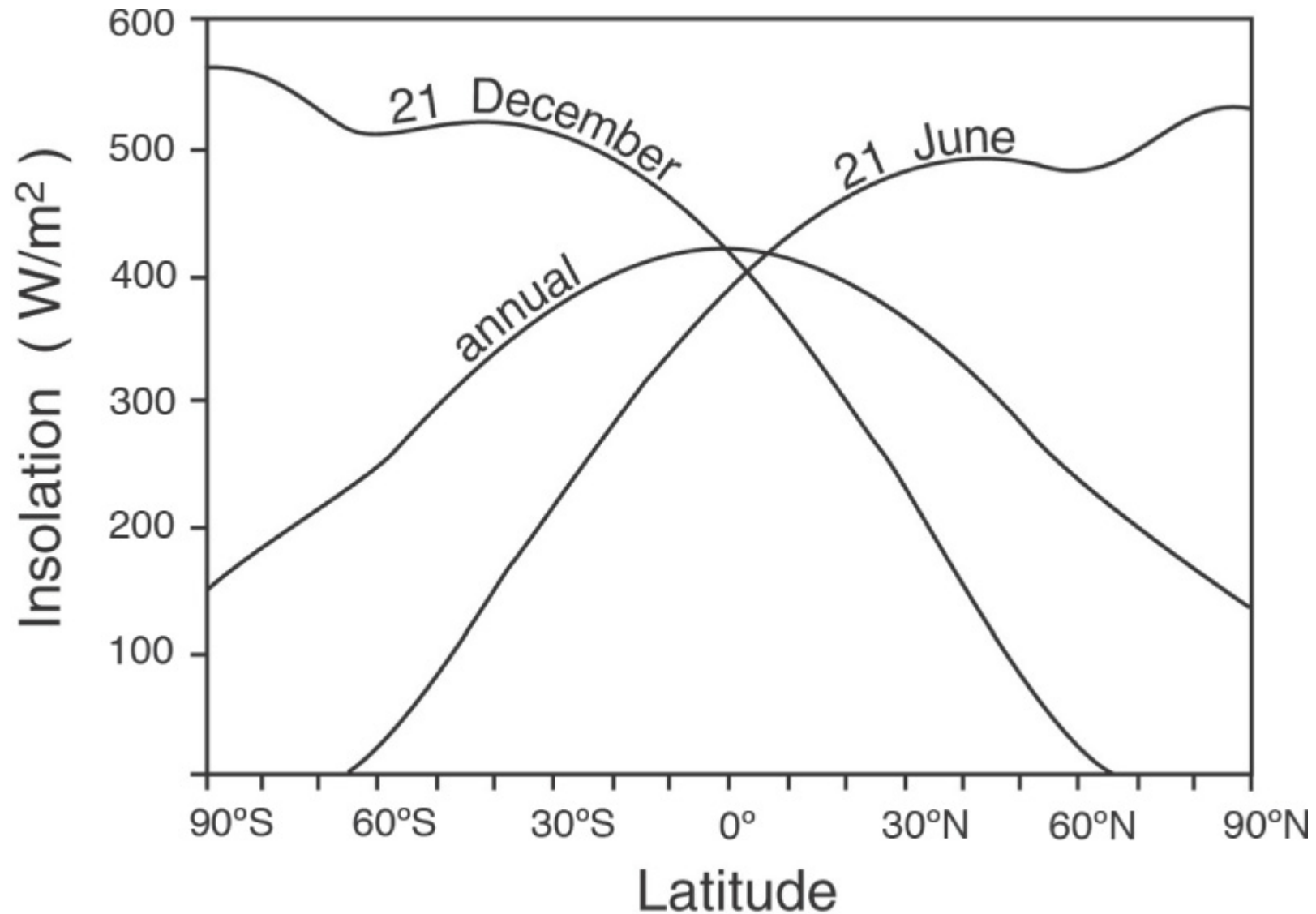
$$\frac{\Phi_{\text{перигелий}}}{\Phi_{\text{афелий}}} = \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^2 \approx 1.034$$

Земля ближе к Солнцу зимой, но не летом!!!

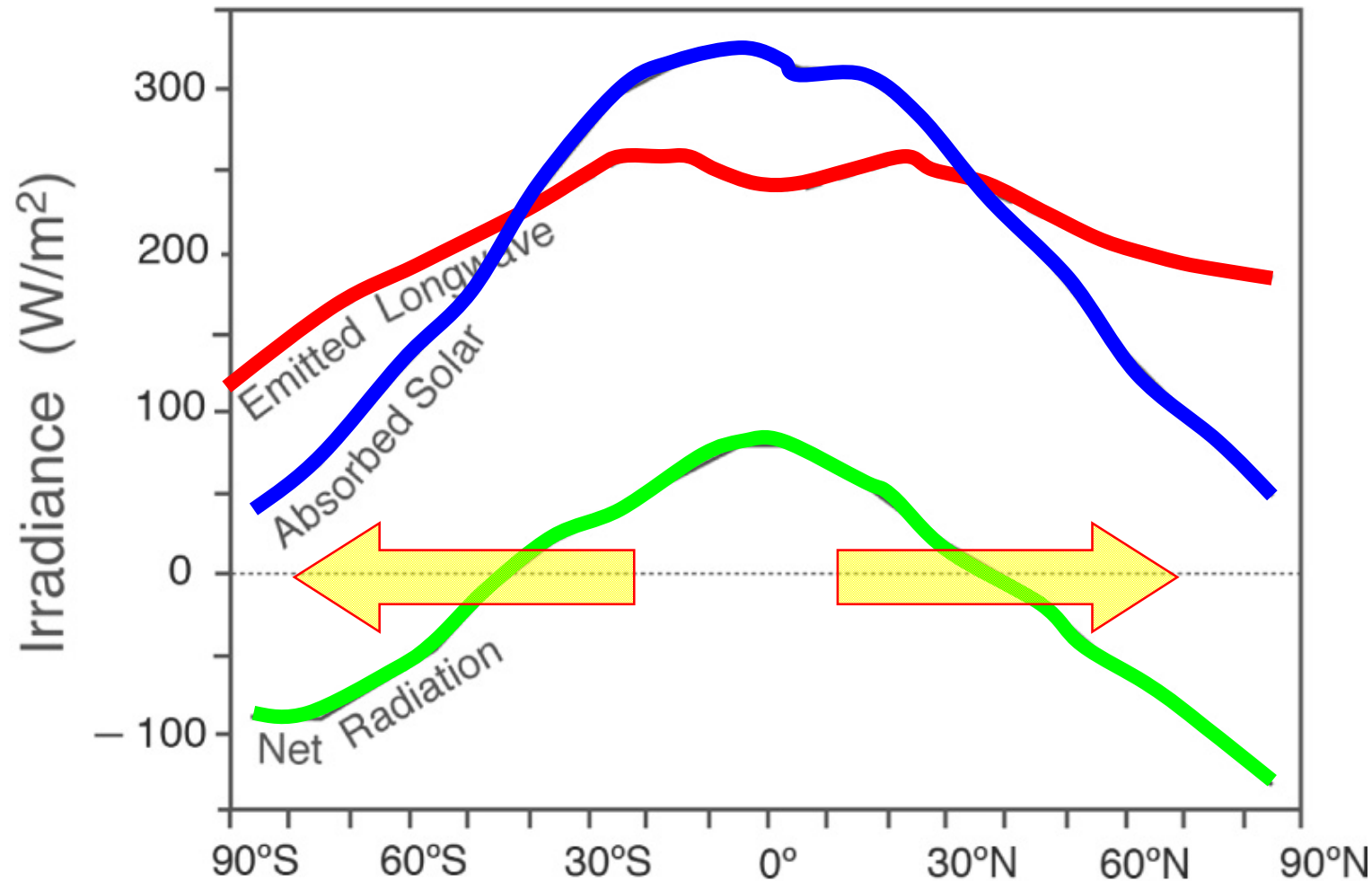




Широтное распределение инсоляции ($\text{Вт}/\text{м}^2$) поверхности Земли



Среднегодовые широтные распределения радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$):
поглощенной солнечной, излученной длинноволновой
и их разница



Существует поток тепла от экватора к полюсам

Блоки климатической системы (проявление сезонных колебаний)

Атмосфера в целом

Малоинерционный блок,
приспосабливающийся к
состоянию океана и суши

Масса=1

Теплоемкость = 1.1

Самое
инерционное
звено

**Верхний
«деятельный» слой
океана ~250 м**

Масса = 16.4

Теплоемкость = 77

**Верхний
«деятельный»
слой суши ~10 м**

Масса=0.55

Теплоемкость = 0.5

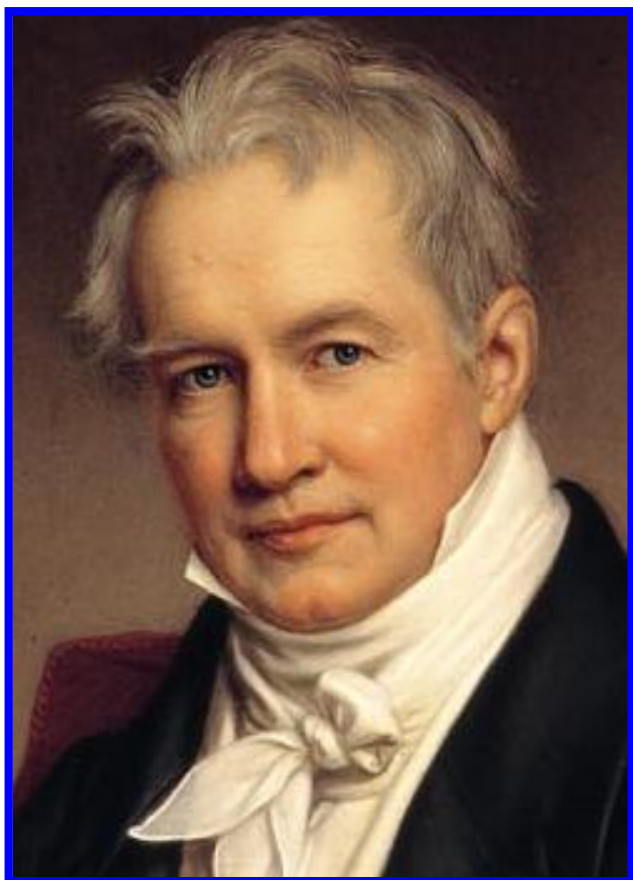
+ ледяные
щиты
⇒
высокая
тепловая
инерция

- Термин **КЛИМАТ** (в переводе с греческого – «наклон») ввел древнегреческий астроном Гиппарх, который разделил Землю на 5 широтных зон: полярные, умеренные и тропическую, которые различаются наклоном солнечных лучей.



Гиппарх из Никеи
(190-120 гг. до н.э.) –
древнегреческий
астроном, географ и
математик

- **Александр фон Гумбольдт добавил к «наклону» влияние подстилающей поверхности океана и суши на атмосферу**



Александр фон Гумбольдт
(1769-1859 гг.)

– немецкий учёный-
энциклопедист, физик,
метеоролог, географ,
ботаник, зоолог и
путешественник

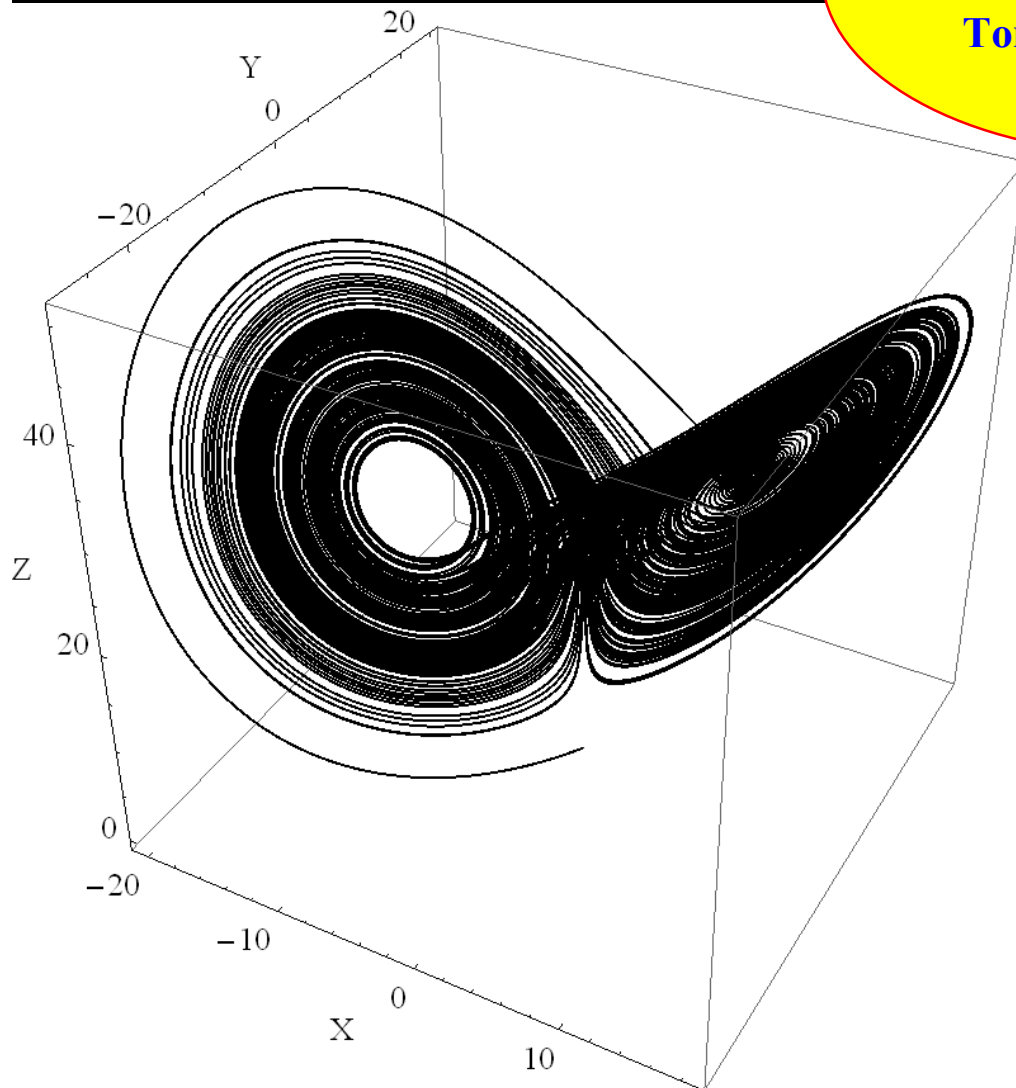
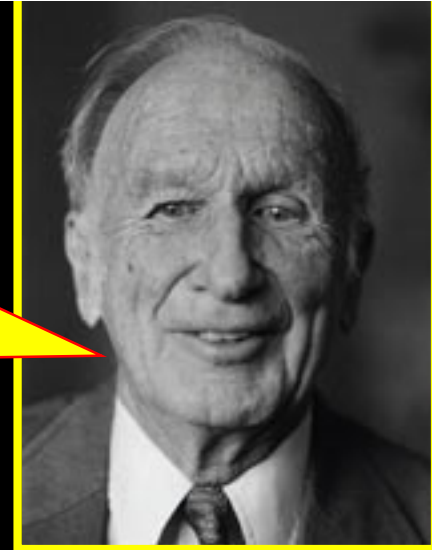
- **Василий Вас. Докучаев** развил и детализировал представления о широтной, а затем и вертикальной, зональности поверхности суши. Построены климатические карты – средние температуры, осадки, давление для различных сезонов и среднегодовые.



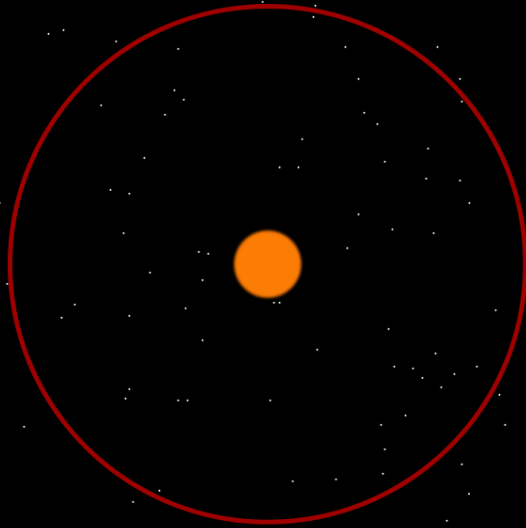
***Василий Васильевич
Докучаев (1846-1903 гг.)***
– русский ученый,
основатель современного
научного почвоведения и
комплексного
исследования природы

- ❑ **Погода** – мгновенное состояние атмосферы
- ❑ **Климатом** называется статистический ансамбль состояний, проходимых климатической системой «Океан-Суша-Атмосфера» за период в несколько десятилетий (~30 лет)
- ❑ Климат **НЕ ЯВЛЯЕТСЯ** некоторым устойчивым средним состоянием, флуктуации которого - второстепенные характеристики
- ❑ Климат подвержен хаотичной изменчивости

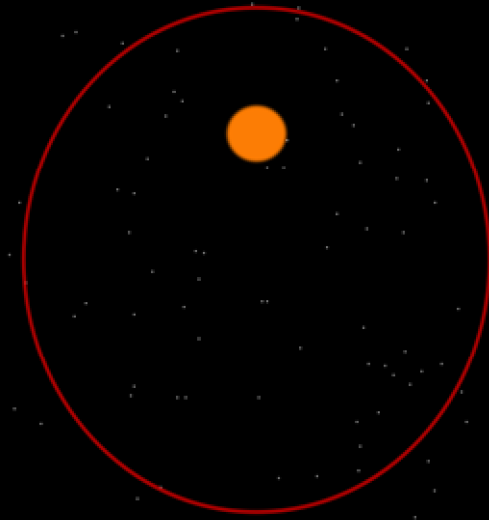
**"Does the Flap of a
Butterfly's Wings in
Brazil Set Off a
Tornado in Texas?"**



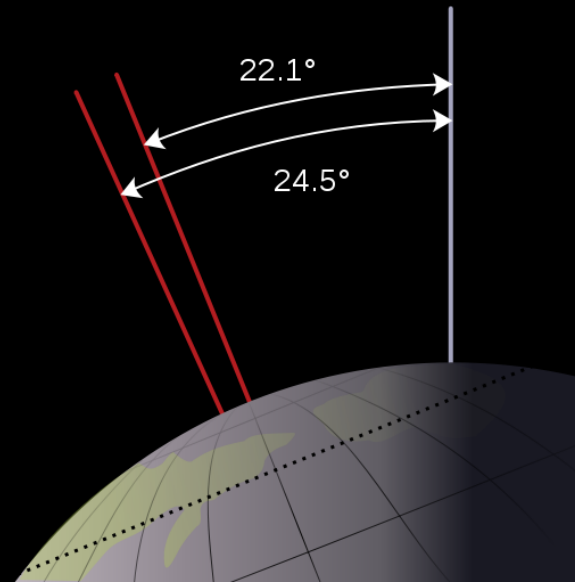
**Эдвард Нортон Лоренц
(1917-2008) —
американский математик
и метеоролог, один из
основоположников теории
хаоса, автор эффекта
бабочки, аттрактора
Лоренца**



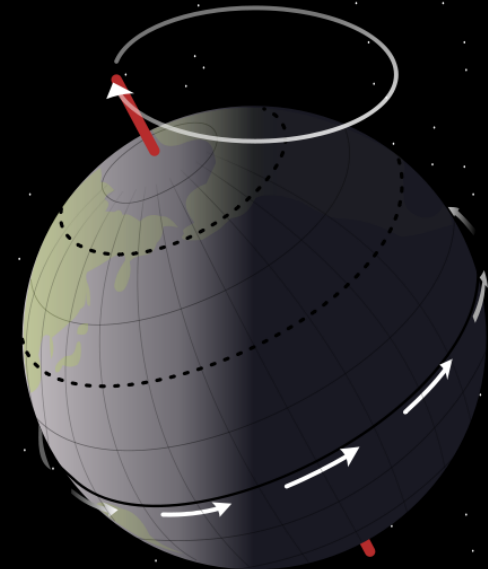
**Эксцентриситет орбиты:
0.0007-0.0658 с периодами
100 и 400 тыс. лет**



**Наклон земной оси:
22.1°-24.5° с периодом
41 тыс. лет**



**Прецессия: 23 тыс. лет
(климатическая прецессия – вариации
направления оси вращения Земли
относительно плоскости орбиты)**





Милутин Миланкович
(1879-1958 гг.)
сербский математик,
создавший
математическую
теорию климата

Циклы Миланковича

1. Эксцентриситет орбиты:
0.0007-0.0658 с периодами
100 и 400 тыс. лет
2. Наклон земной оси: 22.1° - 24.5° с
периодом 41 тыс. лет
3. Прецессия: 23 тыс. лет
(климатическая прецессия –
вариации направления оси
вращения Земли относительно
плоскости орбиты)

$Q(\varphi) = \text{"Экцентриситет"} + \text{"Наклон оси"} + \text{"Прецессия"}$

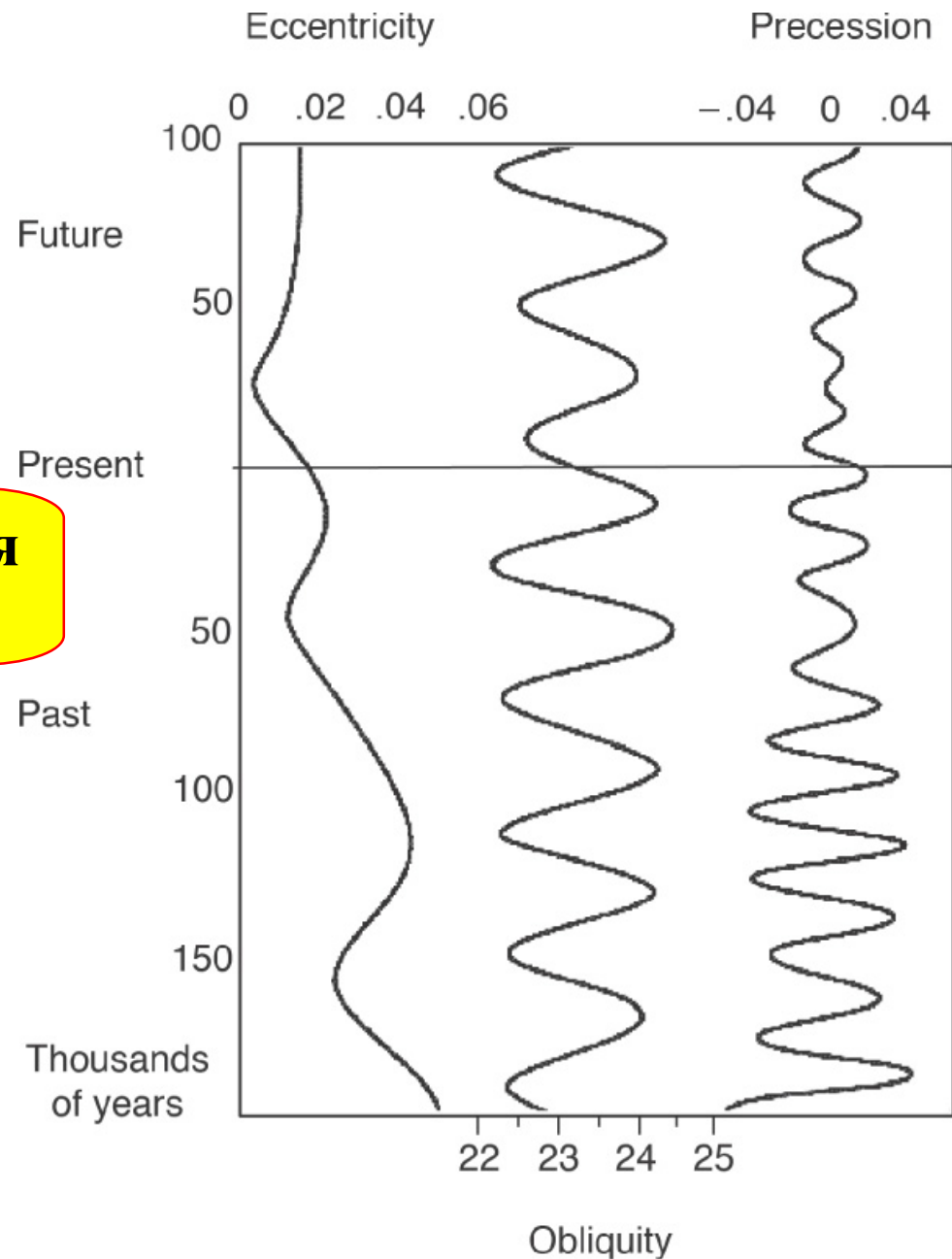
**средняя
инсоляция на
широте φ**

$\varphi_1(t)$

**эквивалентная
широта**

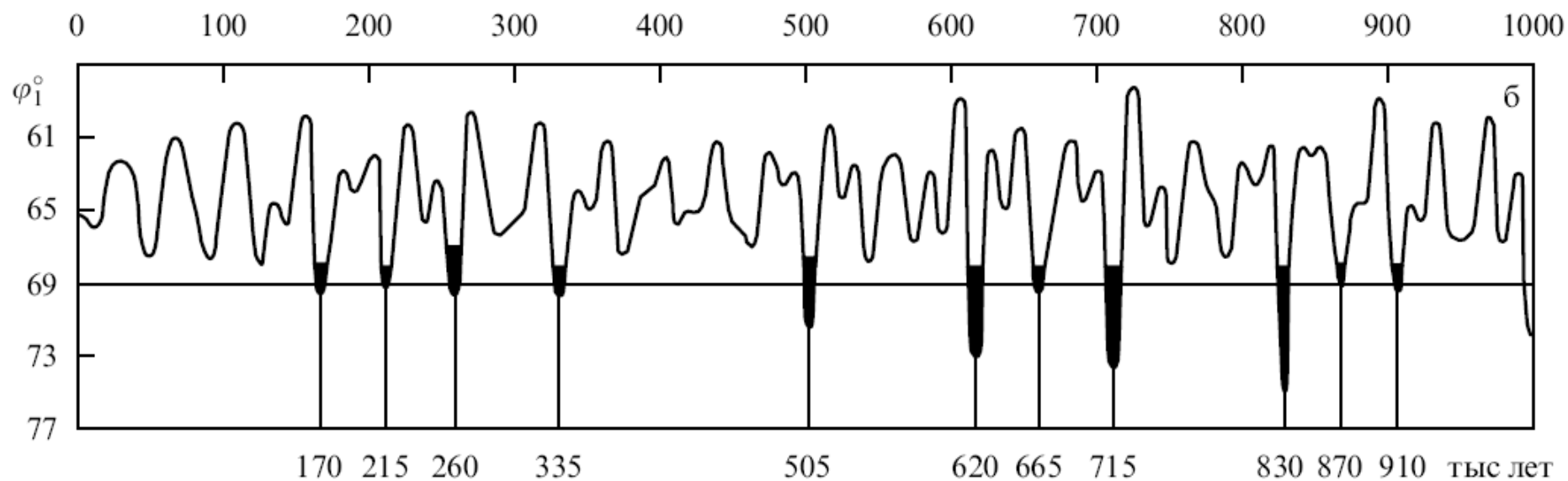
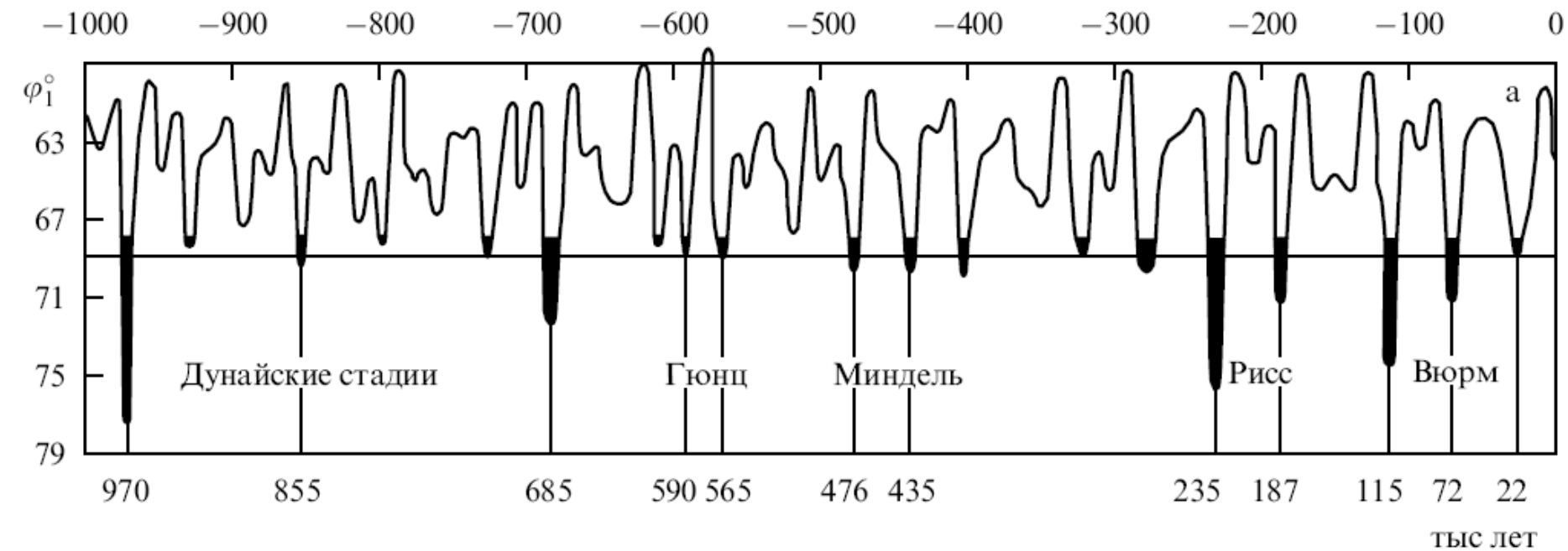
**астрономическая
эпоха**

$$Q(\varphi_1(t)) = Q(\varphi)$$

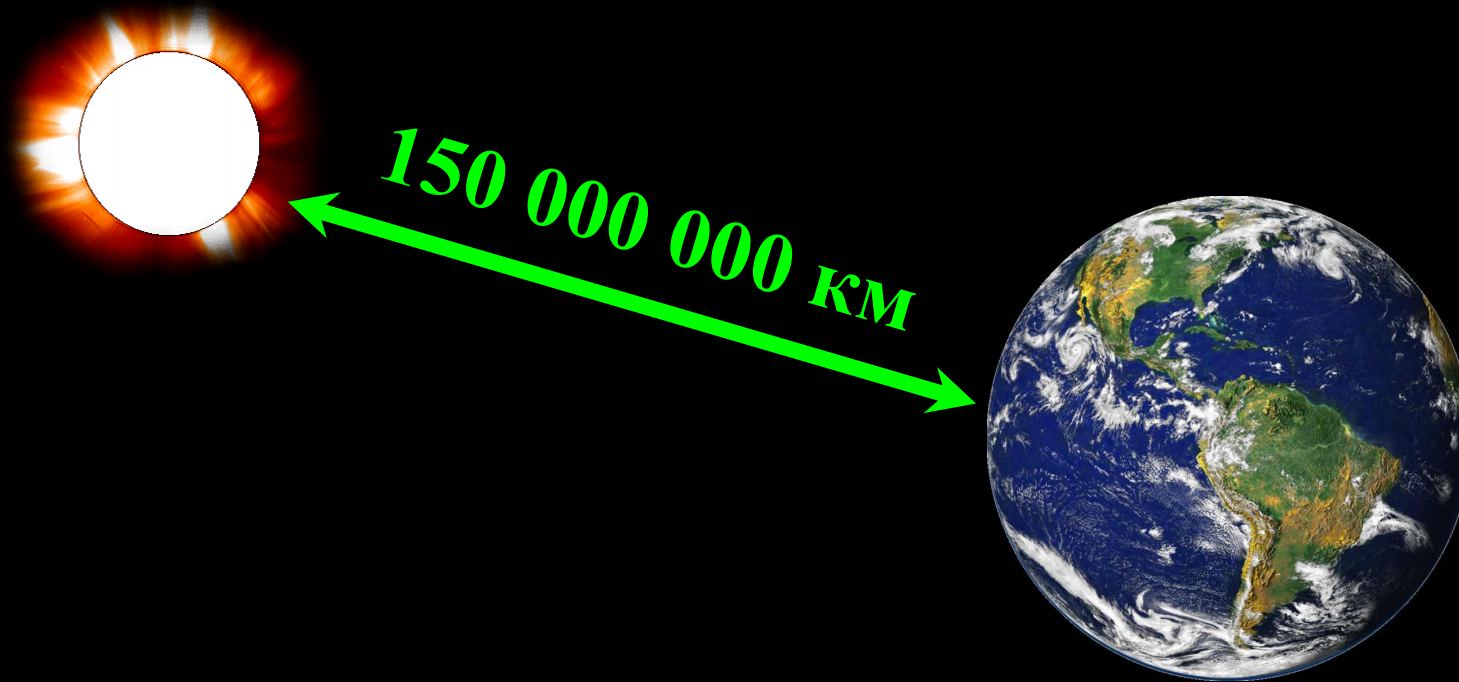


(From Berger and Loutre, (1992).)

Расчет вариаций «эквивалентной широты» (65°N) за 1 млн. лет



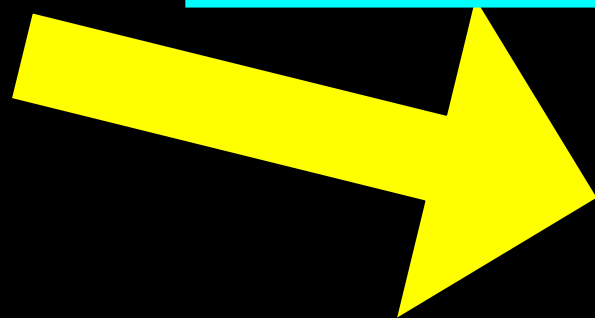
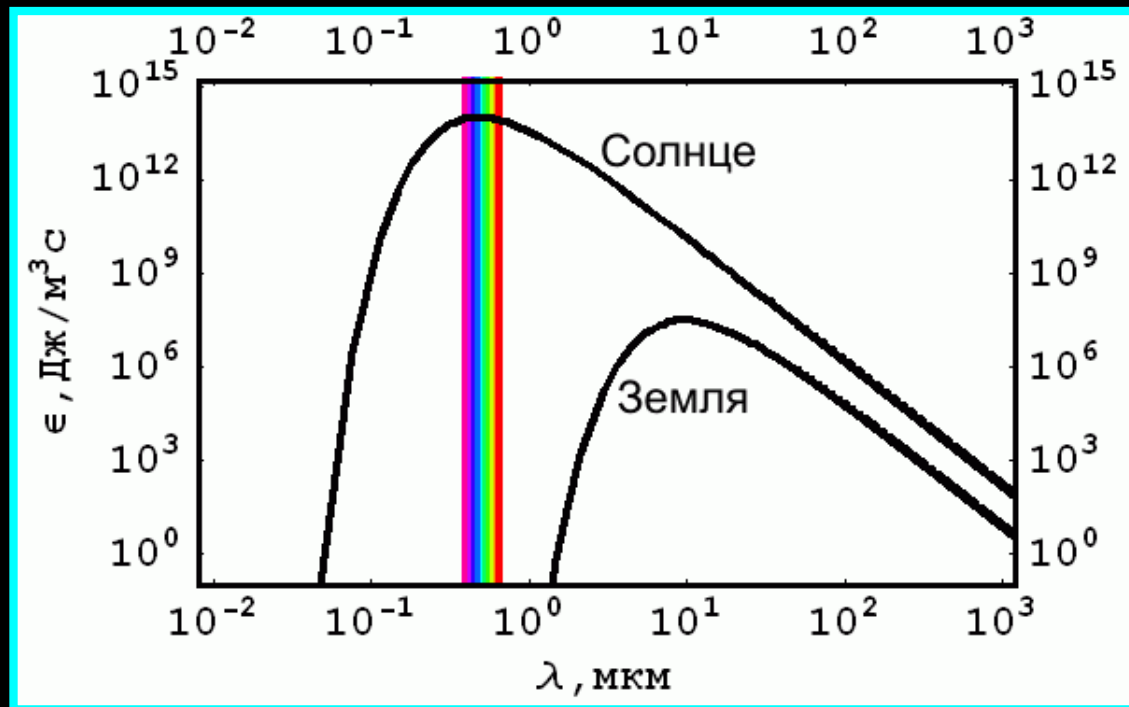
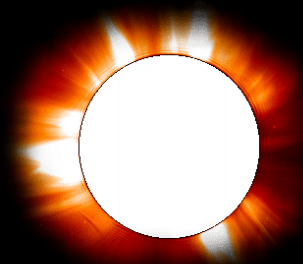
Оценка радиационной температуры Земли



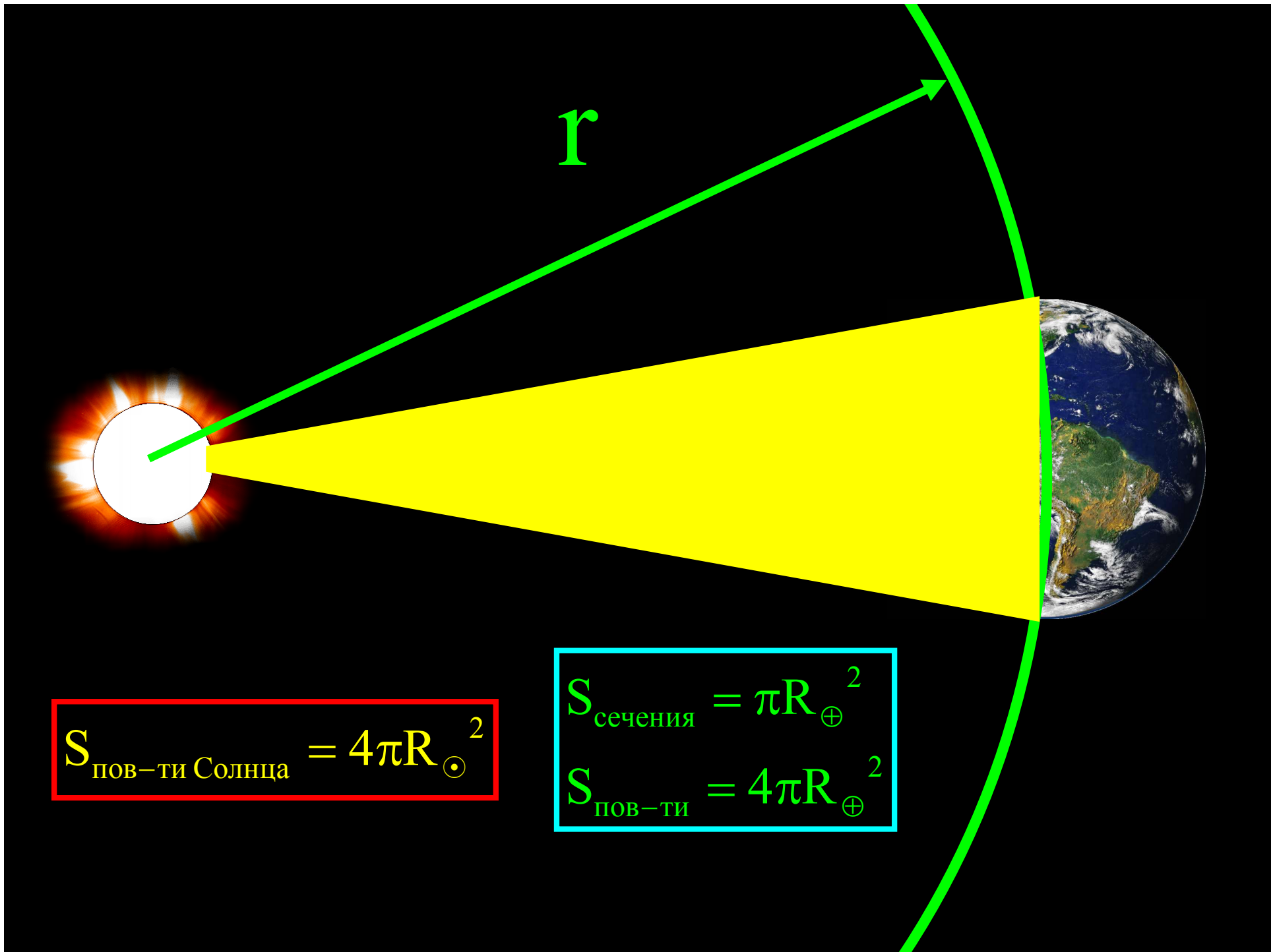
Базовые предположения:

$$1) \quad E = \sigma T^4 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right]$$

$$2) \quad \frac{\partial}{\partial t} = 0$$



$$T_{\odot} > T_{\oplus}$$



$$S_{\text{пов-ти Солнца}} = 4\pi R_{\odot}^2$$

$$S_{\text{сечения}} = \pi R_{\oplus}^2$$
$$S_{\text{пов-ти}} = 4\pi R_{\oplus}^2$$

$$L_{\odot} = \sigma T_{\odot}^4 S_{\text{пов-ти Солнца}} = \sigma T_{\odot}^4 (4\pi R_{\odot}^2)$$

$$\Phi_{\odot} = L_{\odot} \frac{\pi R_{\oplus}^2}{4\pi r^2} = \pi \sigma T_{\odot}^4 R_{\odot}^2 \frac{R_{\oplus}^2}{r^2}$$

$$\Phi_{\oplus} = \sigma T_{\oplus}^4 S_{\text{пов-ти Земли}} = \sigma T_{\oplus}^4 (4\pi R_{\oplus}^2)$$

$$\Phi_{\odot} (1 - A) = \Phi_{\oplus}$$

Почему такая низкая температура?!
Средняя температура Земли ≈ 288 К

$$T_{\oplus} = T_{\odot} \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2r}} (1 - A)^{1/4} \approx 255 \text{ K} \approx -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

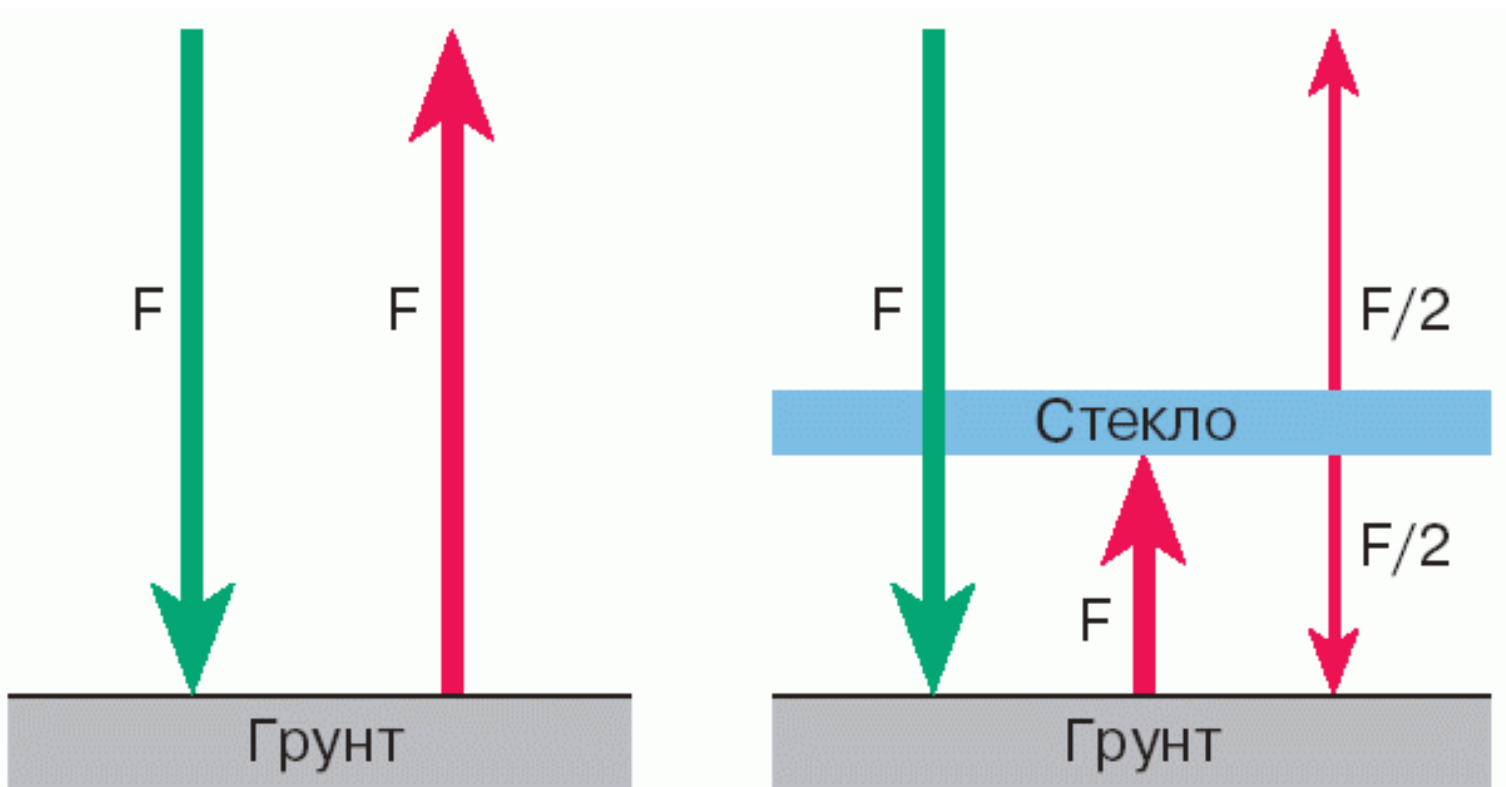
$$T_{\odot} = 5770 \text{ K}$$

$$A \approx 0.3$$

$$R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$r = 149.6 \cdot 10^9 \text{ м}$$

Модель парникового эффекта



$$\cancel{\Phi_{\odot}(1-A) = \Phi_{\oplus}} \Rightarrow \Phi_{\odot}(1-A) = B\Phi_{\oplus}$$

$$B < 1$$

$$T_{\oplus} = T_{\odot} \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2r}} \left(\frac{1-A}{B} \right)^{1/4} \approx 288 \text{ K} \approx 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\odot} = 5770 \text{ K}$$

$$B \approx 0.6$$

$$A \approx 0.3$$

$$R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ м}$$

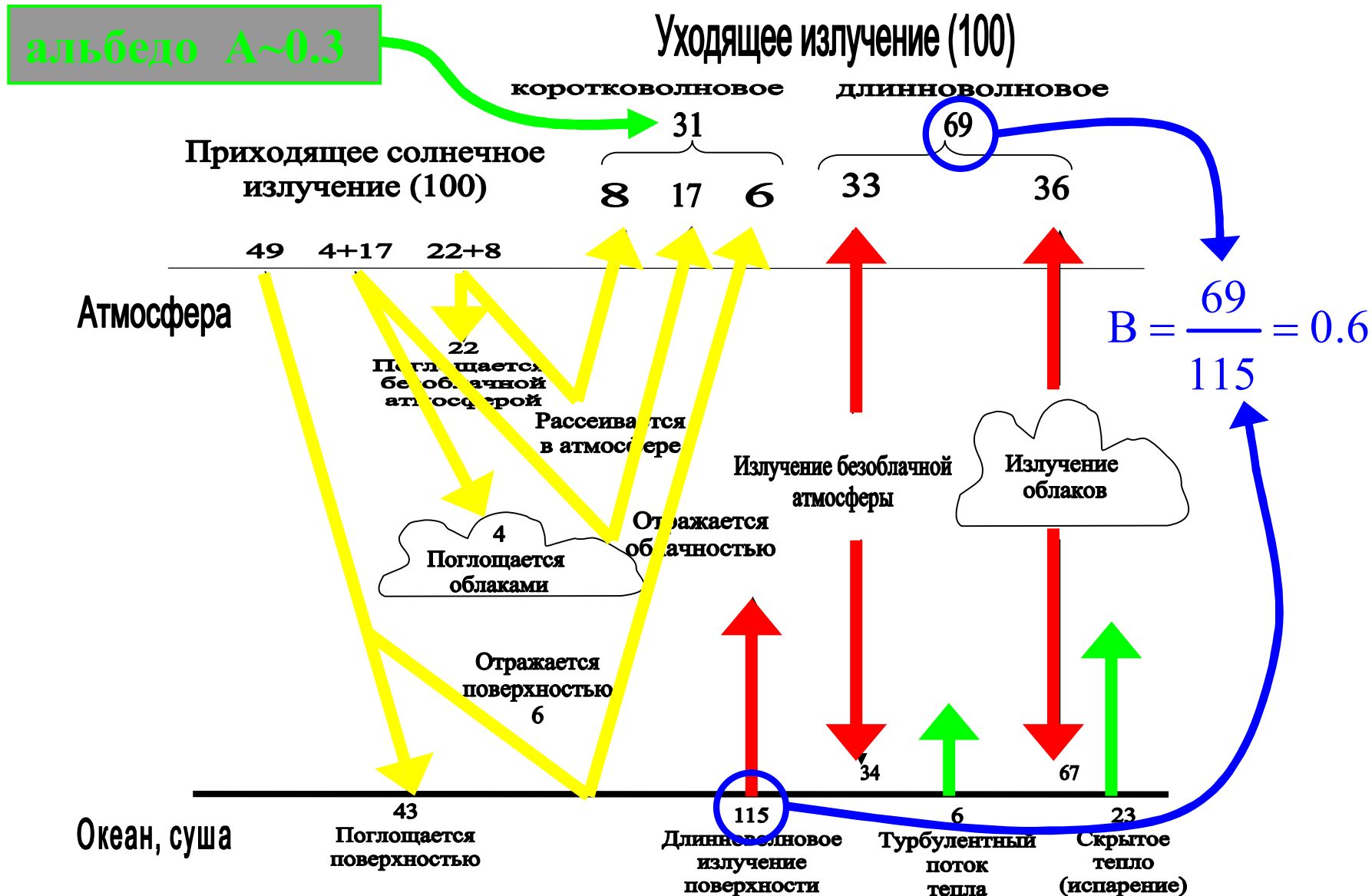
$$r = 149.6 \cdot 10^9 \text{ м}$$

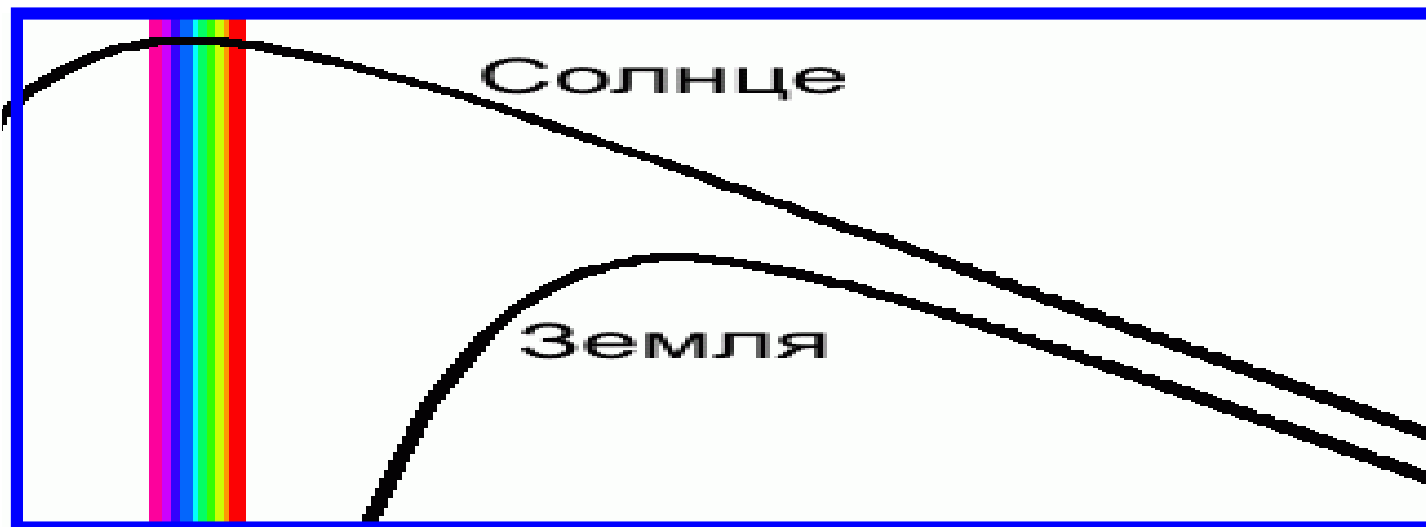
$$A(T_{\oplus}), \quad B(T_{\oplus})$$

**ВОЗМОЖНОСТЬ ГЛОБАЛЬНОГО
ОЛЕДЕНЕНИЯ И ПОТЕПЛЕНИЯ**

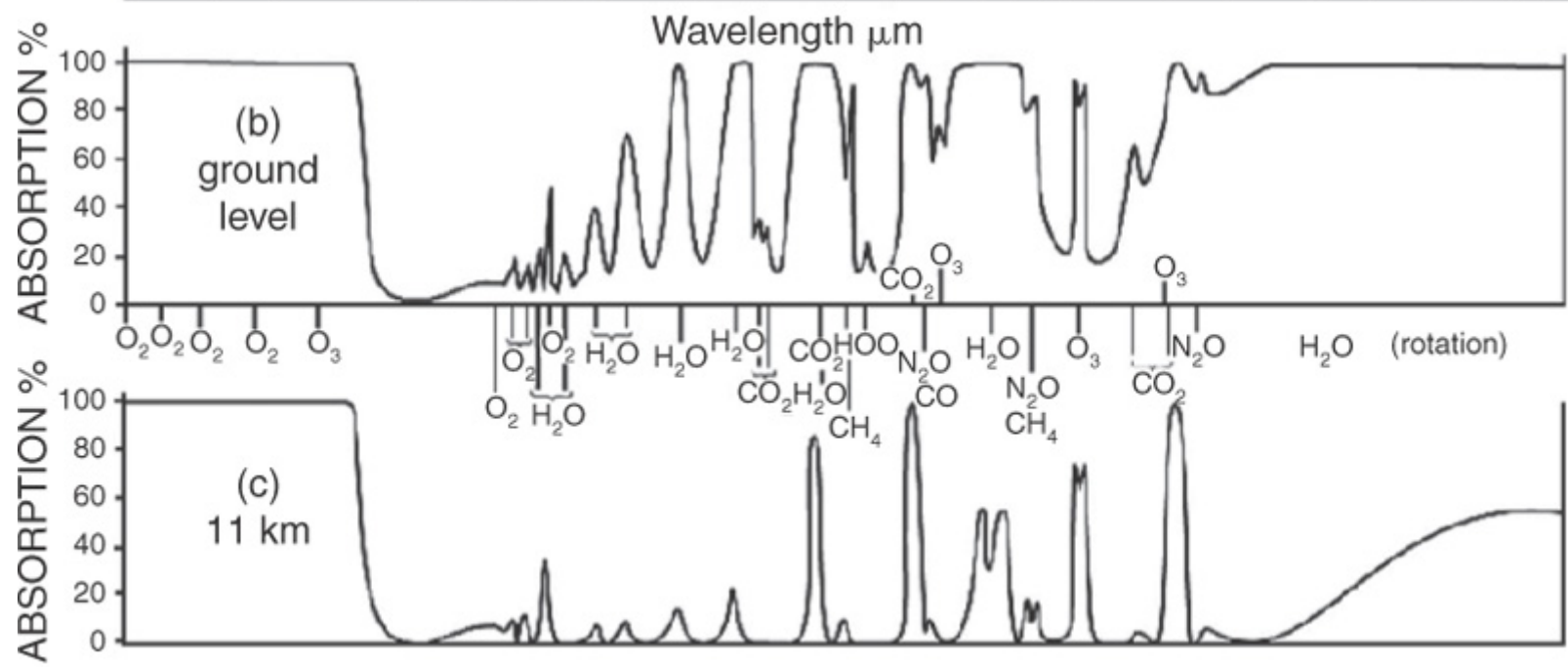
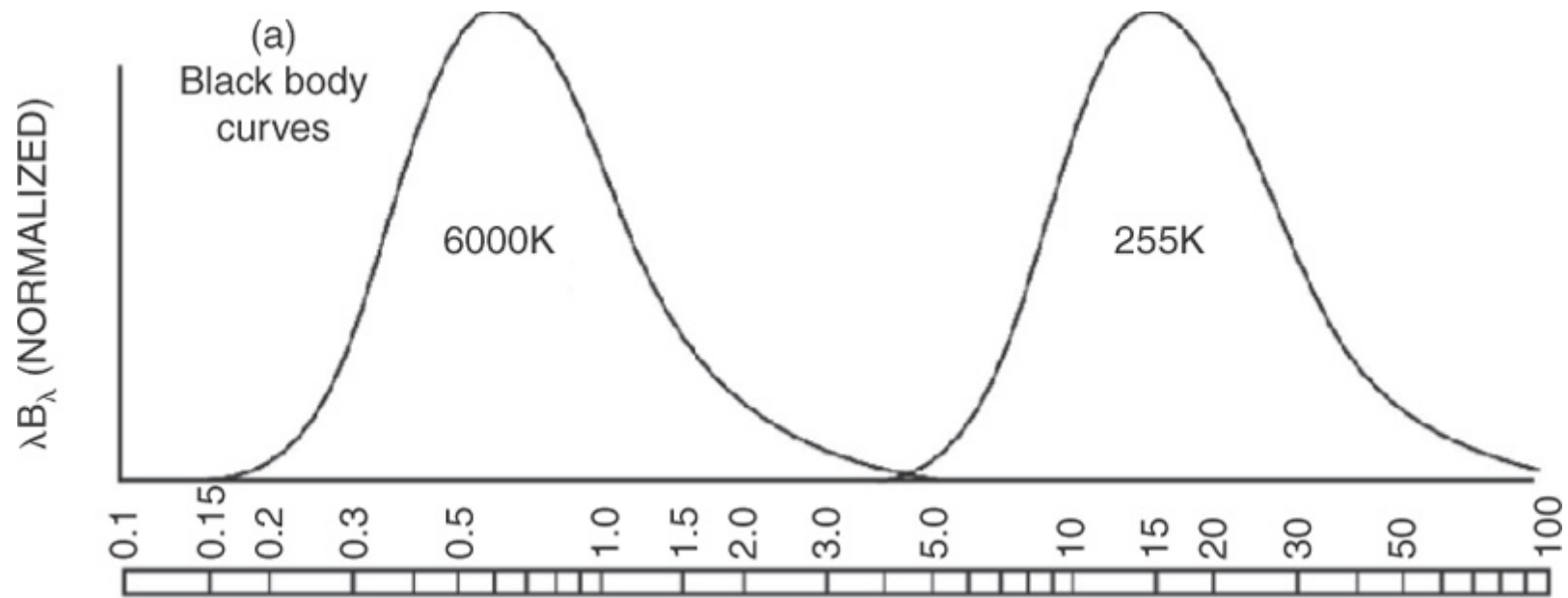
Радиационно-тепловой баланс атмосферы

Космос





Климат Земли сильно зависит от пропускной способности окон





Концентрация CO₂ определяется:

1. Фотосинтезом;
2. Дыханием живых организмов;
3. Обменом между океаном и атмосферой;
4. Антропогенной деятельностью (в современном мире)

Доиндустриальная эпоха	280 PPM
20 000 лет (ледниковый период)	180 PPM
220 млн.лет	1900 PPM
450-550 млн.лет	7500 PPM