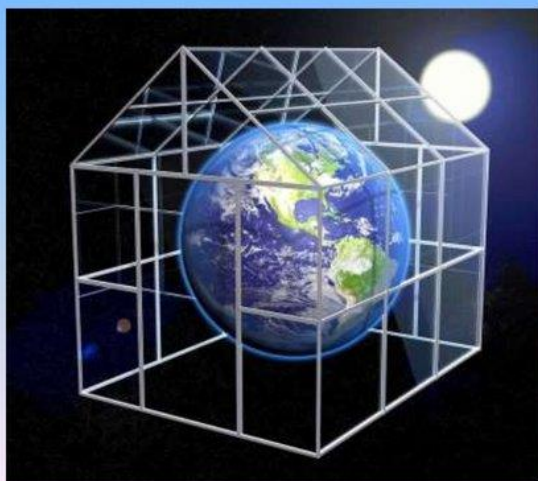


Парниковый эффект – это повышение температуры у поверхности земли по причине нагрева нижних слоев атмосферы скоплением парниковых газов. В результате температура воздуха больше, чем должна быть, а это приводит к таким необратимым последствиям, как климатические изменения и глобальное потепление



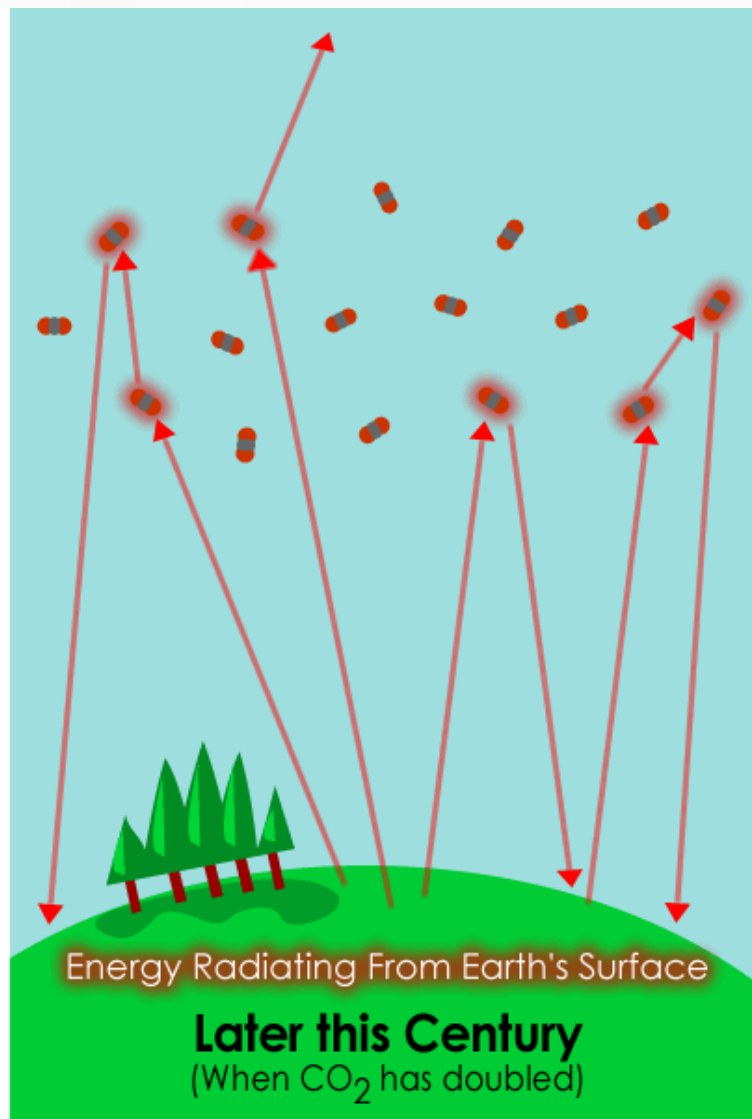
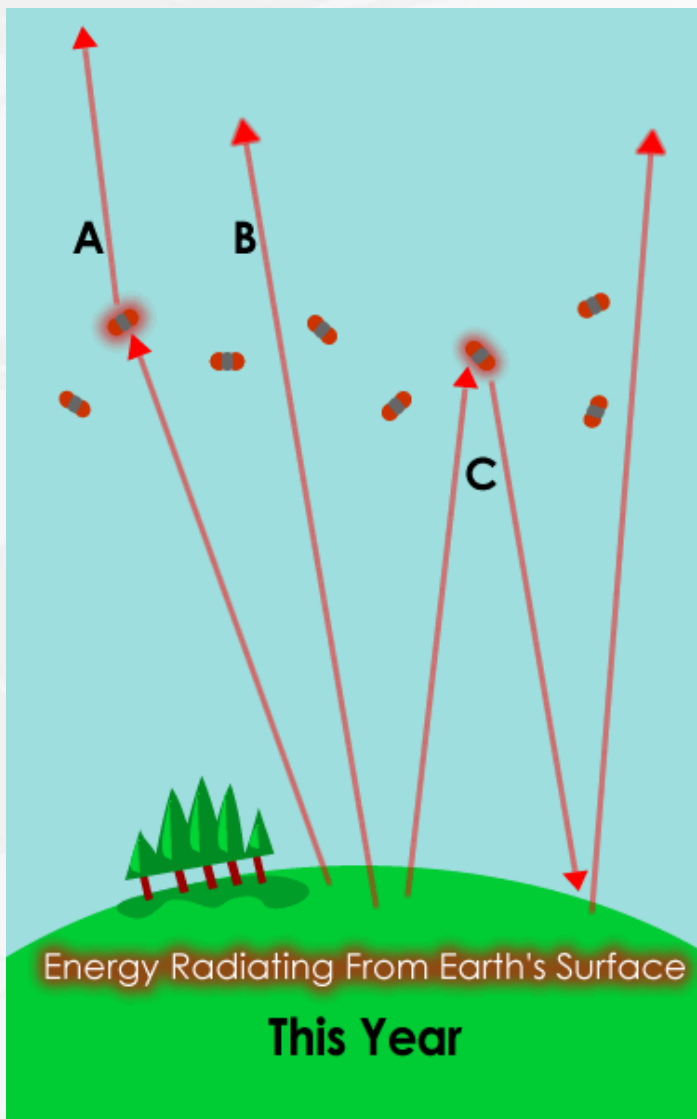
Как работает парниковый эффект? Солнечная энергия, поглощенная на поверхности Земли, излучается обратно в атмосферу в виде тепла в основном в дальнем ИК-диапазоне спектра с максимумом в районе 10 мкм. (Почему?). Когда тепло проходит через атмосферу и возвращается в космос, **парниковые газы** поглощают большую часть этого восходящего от поверхности излучения



Б.М. Смирнов

**ФИЗИКА
ГЛОБАЛЬНОЙ
АТМОСФЕРЫ**

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ,
АТМОСФЕРНОЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО,
ЭВОЛЮЦИЯ КЛИМАТА



(Слева) Поверхность Земли, нагреваемая Солнцем, излучает тепло в атмосферу. Некоторое количество тепла поглощается парниковыми газами, и затем излучается в космос (А). Некоторое количество тепла, излучаемое ПП попадает непосредственно в космос (В). Некоторое количество тепла от ПП поглощается парниковыми газами и затем излучается обратно к поверхности Земли (С). **(Справа)** С увеличением содержания углекислого газа в атмосфере в конце этого столетия парниковые газы будут задерживать выделение большего количества тепла, нагревая планету, т.е увеличивая парниковый эффект.

О.Г.Сорохтин. ИО РАН им. П.П.Ширшова
Адиабатическая теория парникового эффекта

$$T_{\oplus} = T_{\odot} \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2a_{\oplus}}} (1 - A)^{1/4}$$

Среднепланетарная температура поверхности Земли без учета влияния атмосферы:

$$T_{\oplus} \approx 257 \text{ К } (-16^{\circ}\text{C}).$$

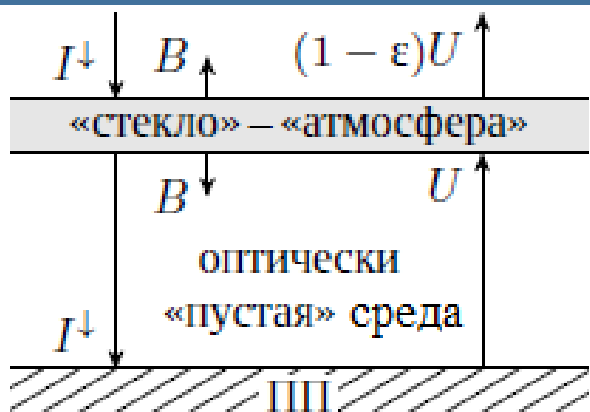


Рис. П1.5. Принцип функционирования парника

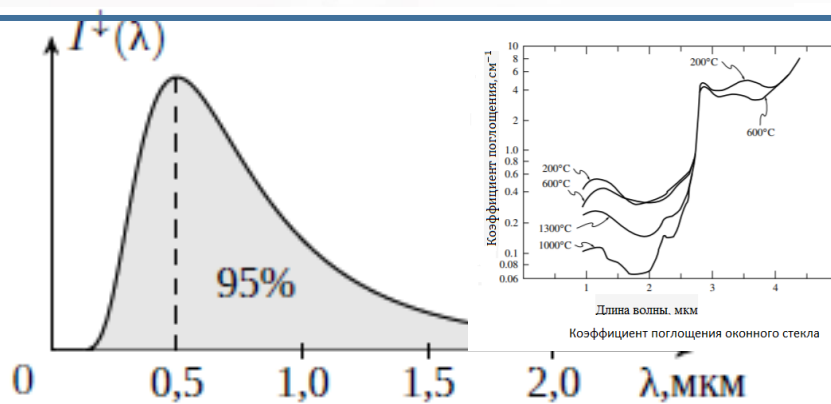


Рис. П1.6. Спектральное распределение излучения, падающего на внешнюю поверхность стекла

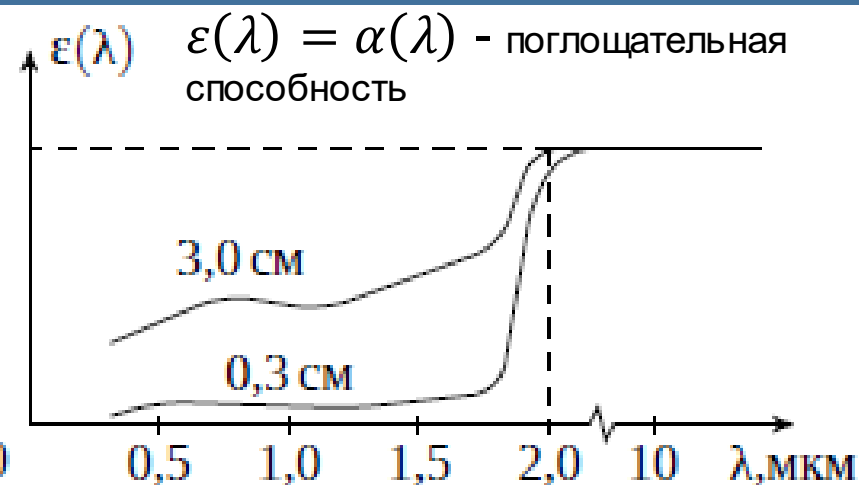
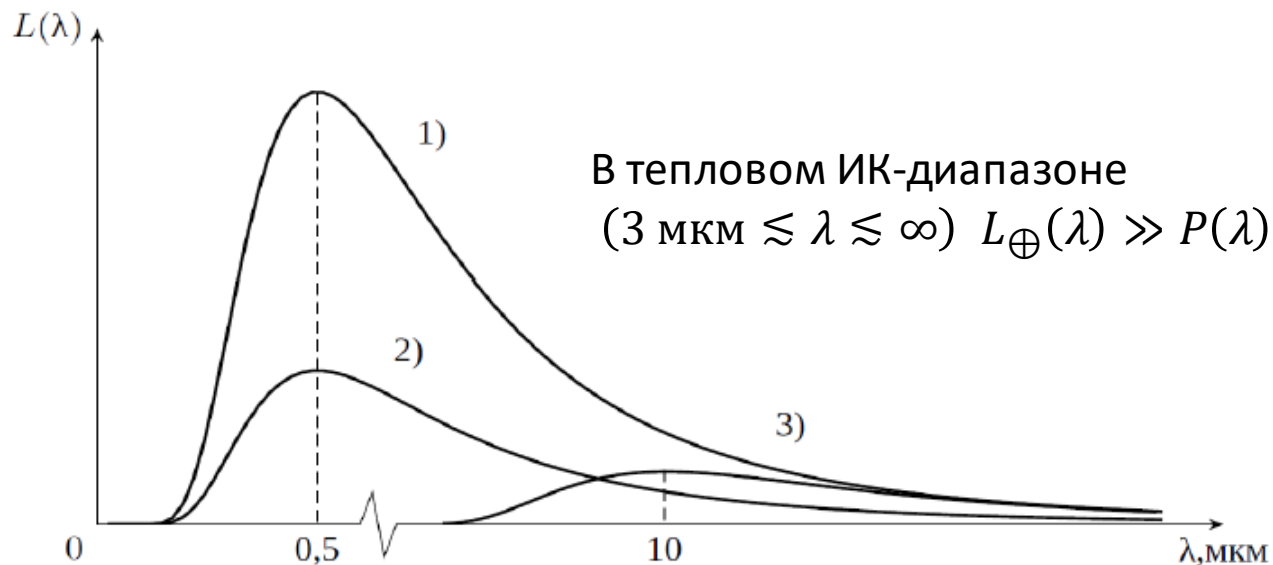


Рис. П1.7. Степень черноты стекла

В условиях стационарности, т. е. уравнивания во времени всех потоков, подстилающая поверхность за счёт прогрева поглощённой энергией приобретает температуру T_s , значение которой будет выше температуры грунта вне парника (T_{s0}). Очевидно, что в условиях, соответствующих системе «Солнце – Земля», ориентировочное значение температуры грунта T_s внутри парника будет превышать фоновое значение температуры T_{s0} не более чем на несколько десятков градусов; т. е. если:

$$T_{s0} \sim 300 \text{ К, то } T_s \simeq T_{s0} + \Delta T_s, \Delta T_s \sim (1 - 5) \cdot 10 \text{ К}$$



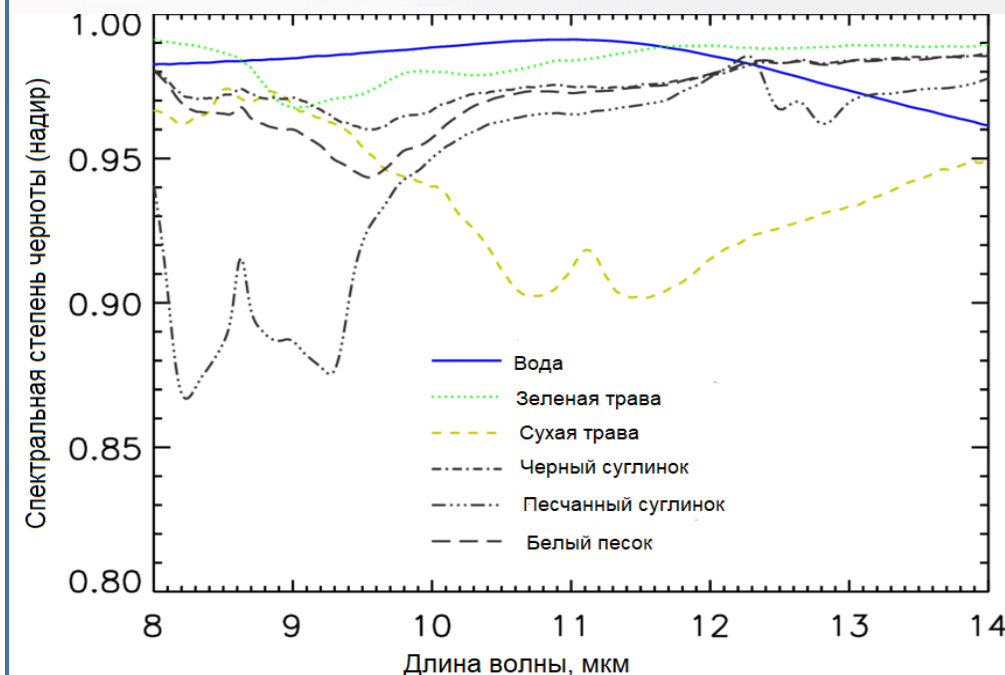
В тепловом ИК-диапазоне
($3 \text{ мкм} \lesssim \lambda \lesssim \infty$) $L_{\oplus}(\lambda) \gg P(\lambda)$

Сравнение спектрального излучения двух сфер АЧТ (Солнце - кривая 1) и (Земля - кривая 3) и излучения, падающего от Солнца на диск Земли (кривая 2)

$$L_{\odot}(\lambda) = 4\pi R_{\odot}^2 \pi B(\lambda, T_{\odot} \approx 5770K) - (1)$$

$$P(\lambda) = L_{\odot}(\lambda) \frac{1}{4} \left(\frac{R_{\oplus}}{a_{\oplus\odot}} \right)^2 - (2)$$

$$L_{\oplus}(\lambda) = 4\pi R_{\oplus}^2 \pi B(\lambda, T_{\oplus} \approx 300K) - (3) \quad L_{\oplus} = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4$$



Спектральная зависимость степени черноты некоторых природных образований в ИК-диапазоне спектра.

$$Q_R^{\uparrow} \approx E \cdot L_{\oplus} \approx 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4$$

E — интегральная по спектру степень черноты поверхности планеты Земля в ИК-диапазоне спектра ($E \approx 1!!!$)

$$1) L_{\odot}(\lambda) = 4\pi R_{\odot}^2 \pi B \quad (T_{\odot} \approx 5770 \text{ K}),$$

$$2) P(\lambda) \text{ (формула (П1.3))},$$

$$3) L_{\oplus}(\lambda) = 4\pi R_{\oplus}^2 \pi B \quad (T_{\oplus} \approx 300 \text{ K}).$$

$$Q_R^{\uparrow} \cong E \cdot 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4, \quad (\text{П1.6})$$

где E — интегральная полусферическая инфракрасная степень черноты поверхности Земли, как планеты.



Рис. П1.4. Сравнение измерения двух сфер (АЧТ): Солнце 1) и Земля 3) с излучением измерением, падающим на поверхность Земли 2)

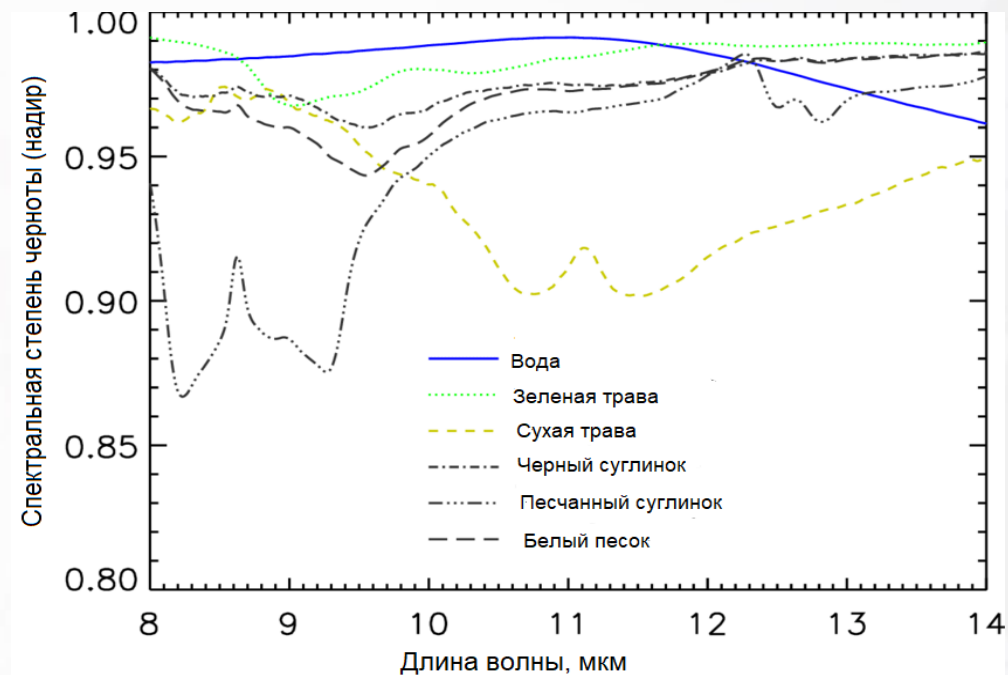


Рис.П.1.5. Спектральная зависимость степени черноты некоторых природных образований в ИК-диапазоне спектра.

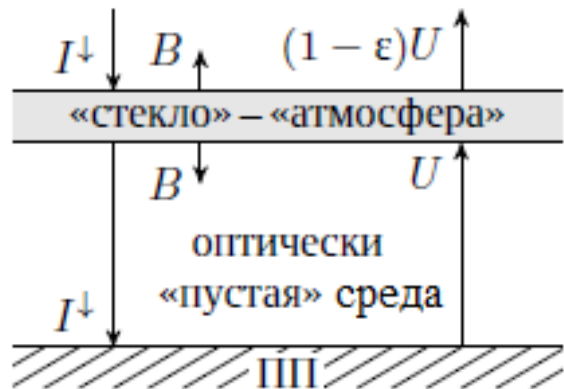


Рис. П1.5. Принцип функционирования парника

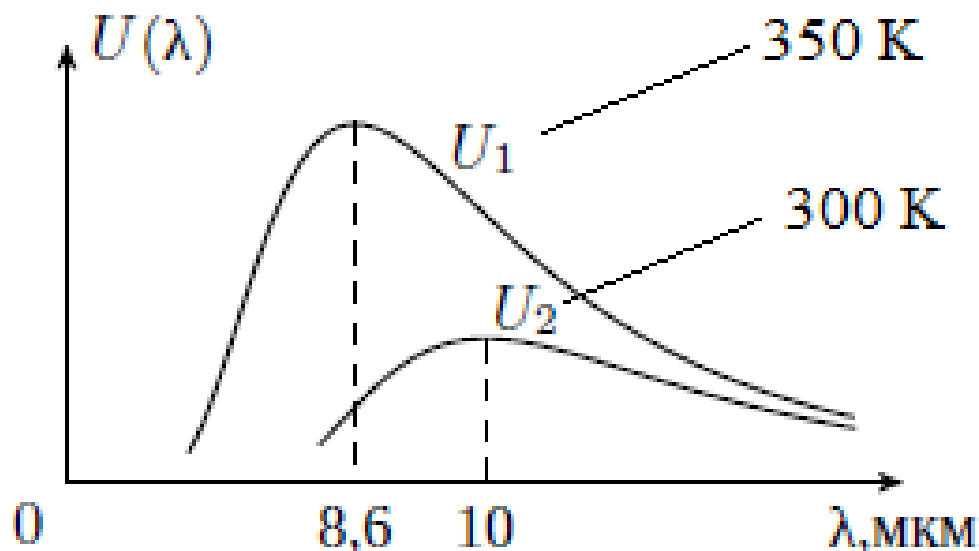


Рис. П1.8. Качественный вид спектра восходящего от ПП излучения

Обобщенные уравнения баланса под «стеклом»:

$$I^{\downarrow} = U - B \quad (\text{П1.11})$$

над «стеклом»:

$$I^{\downarrow} = (1 - \epsilon)U + B \quad (\text{П1.12}).$$

Из (П1.11) и (П1.12) следует:

$$B = \frac{1}{2} \epsilon U \quad (\text{П1.13})$$

Подставляя (П1.13) в (П1.11), получим:

$$U = \frac{I^{\downarrow}}{1 - \frac{\epsilon}{2}} = \sigma T_s^4 \quad (\text{П1.14})$$

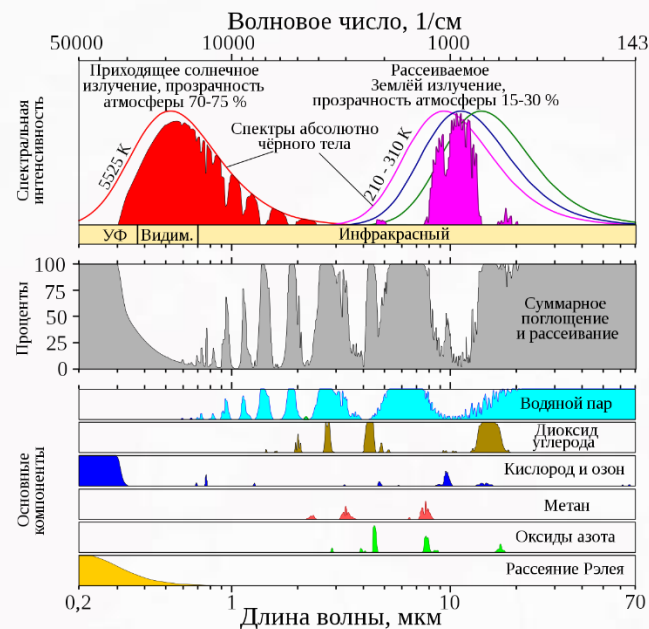
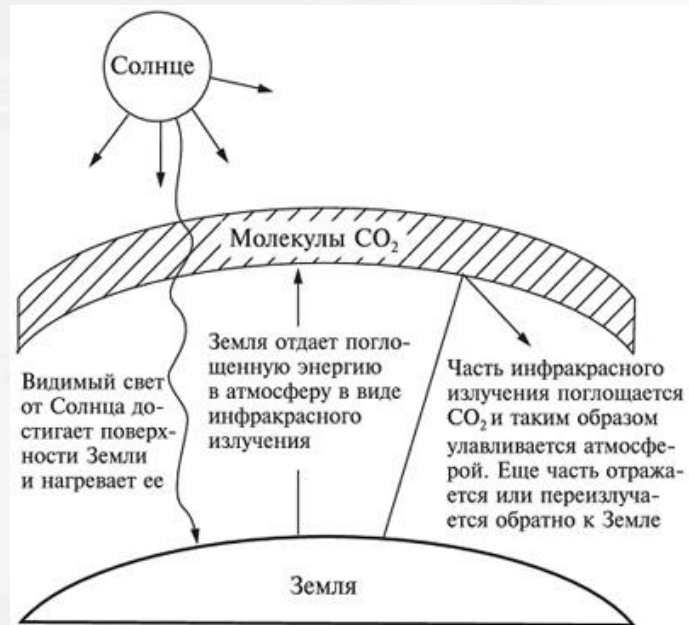
Из (П1.14) следует важный вывод. В случае, если $\epsilon = 0$, т. е. в той области спектра, в которой имеет место перенос лучистой энергии ($\lambda \sim 10$ мкм) «стекло» является оптически прозрачным, температура ПП будет равна:

$T_{s0} = \left(\frac{I^{\downarrow}}{\sigma} \right)^{1/4}$ (П1.15). В другом предельном случае, практически соответствующем реальной зависимости $\epsilon(\lambda)$ при больших

длинах волн (рис. П1.7), можно положить $\epsilon = 1$. В этом случае из (П1.14) имеем: $T_{s0} = \left(\frac{I^{\downarrow}}{\sigma} \right)^{1/4} 2^{1/4}$ (П1.16).

Таким образом, при наличии парникового эффекта получим, что:

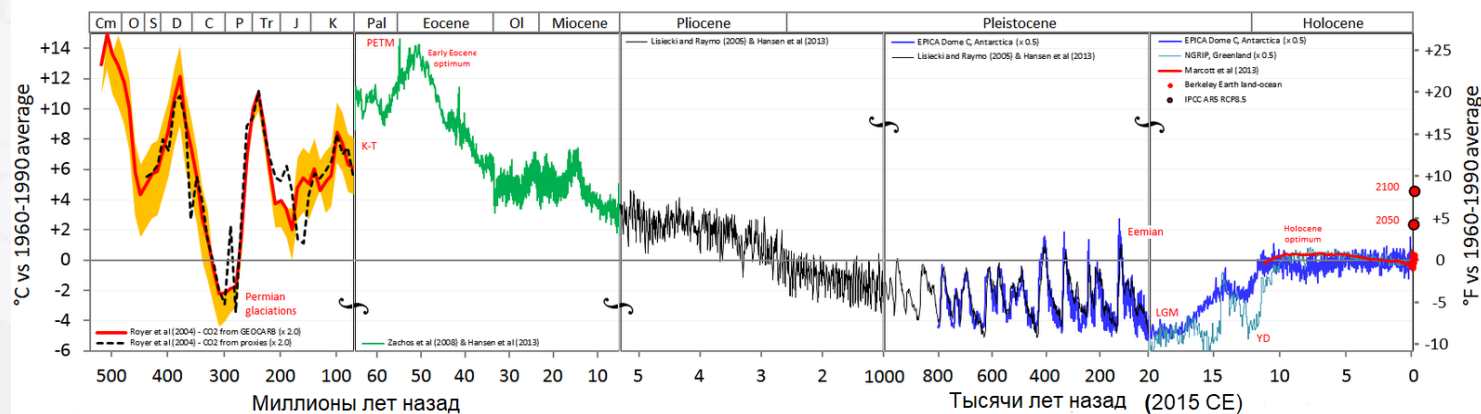
$$T_s \cong 1,19 \cdot T_{s0} \approx (257 \text{ K}) \cdot 1,19 \approx 303,4 \text{ K}$$



<https://www.youtube.com/watch?v=hHvokk4H9Pc>

<https://www.gismeteo.ru/news/klimat/17695-izmenenie-klimata-zemli-za-100-let-video-ot-nasa/>

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ



IPCC AR5 Greenhouse Gas Concentration Pathways

Representative Concentration Pathways (RCPs) from the fifth Assessment Report by the International Panel on Climate Change

