О некоторых дискуссионных проблемах в эволюции ранней Земли

Храмова Елизавета
ИЗМИРАН

Парадокс слабого молодого Солнца

4 млрд. лет назад солнечная светимость была примерно на 30% ниже современной, но геологические и биологические данные указывают на теплую молодую Землю, от 60 до 70 ° С.

Средняя атмосферная температура: в первом приближении

$$L(1-A) = 4\sigma T_e^4$$

A = Earth© s Albedo

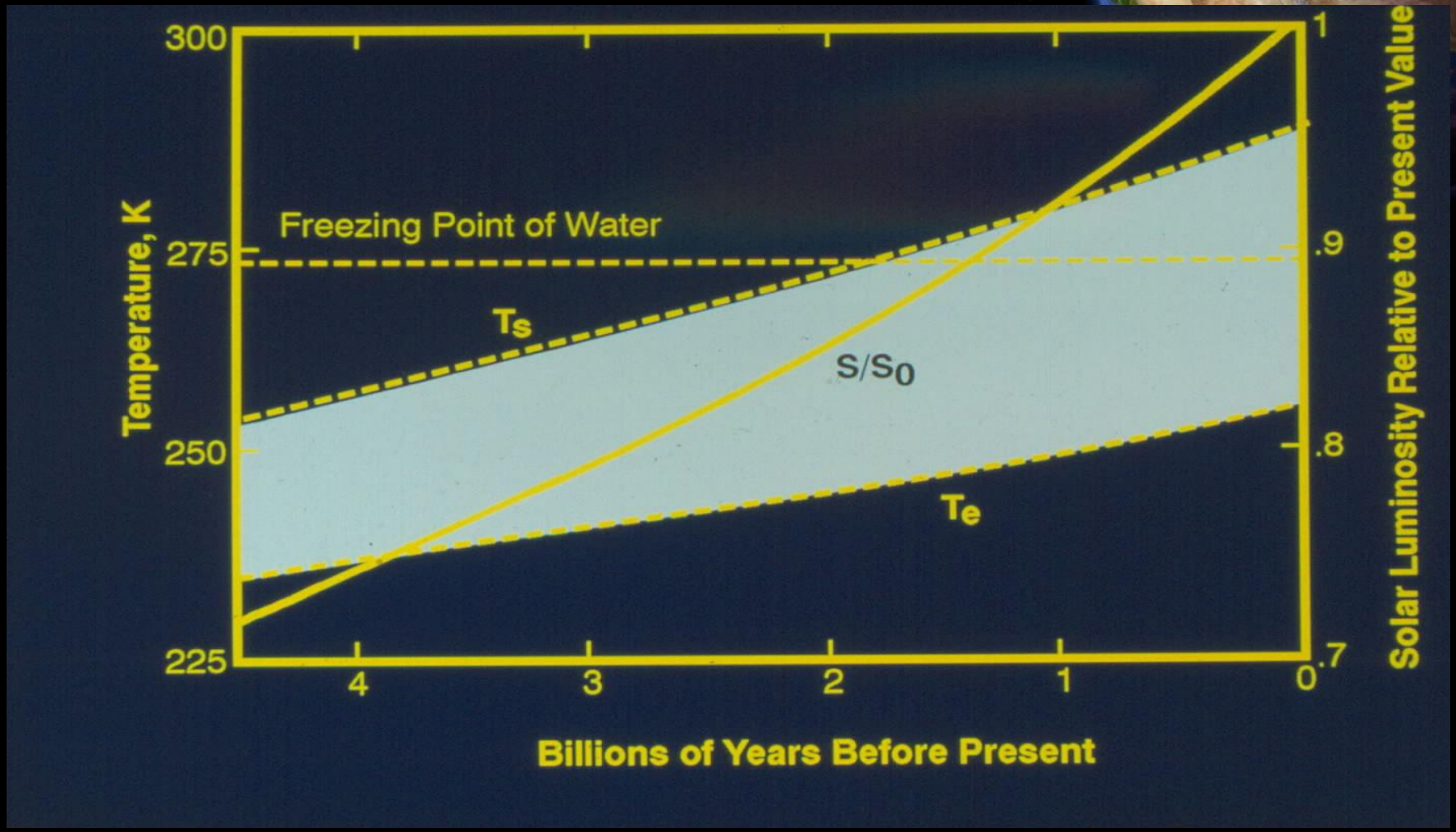
σ = Stefan Boltzmann Constant

T_e = Radiative Equilibrium Temperature

L = Solar Irradiance at Top of Earth© s Atmosphere

$$T_{atm} = T_e + \Delta T_{greenhouse}$$

При слабом молодом Солнце Земля остается замороженным телом



Kasting et al, Scientific American, 1988

Было ли молодое Солнце, действительно, слабым?

- Солнечная светимость сильно зависит от массы: $L_\odot \sim M_\odot^4$
- Планетарное орбитальное расстояние обратно пропорционально солнечной массе: $a \sim M_\odot^{-1}$
- Поток солнечного излучения обратно пропорционален квадрату орбитального расстояния: $S \sim a^{-2}$
- Поток солнечного излучения на орбитальном расстоянии планеты: $S \sim M_\odot^6$

Piet Martens – Montana State University and
Smithsonian Astrophysical Observatory

Потери массы молодым Солнцем

- Поток солнечного излучения на орбитальном расстоянии планеты: $S \sim M_{\odot}^{6}$
- Чтобы поток излучения молодого Солнца на орбите Земли был примерно таким, как сейчас, и компенсировал эффект слабого молодого Солнца (30%), его масса должна была быть на ~5% больше, чем сейчас.
- Следовательно, требуемая потеря массы ~1% в млрд. лет, т.е. должна составлять за год $\dot{M}_{sun} = 10^{-11} M_{sun}/yr$
- Наблюдаемая потеря массы составляет за год $\dot{M}_{sun} = 3x10^{-14} M_{sun}/yr$
- Это в 300 раз меньше необходимого!

Piet Martens – Montana State University and
Smithsonian Astrophysical Observatory

Некоторые результаты наблюдений

70 Ophiuchi, mass ~ 0.92 $M_{sun,}$ age ~ 0.8 billion years, mass loss ~ $3x10^{-12}$ M_{sun}/yr

E-Eridani, mass ~ 0.85 $M_{sun,}$ age ~ 0.5-1.0 billion years, mass loss ~ 10^{-12} M_{sun}/yr

Вывод: те немногие молодые звезды солнечного типа, которые наблюдаются, как правило, имеют гораздо более высокую потерю массы.

В результате расчетов Пит Мартенс получил компенсацию примерно трети недостающего потока.

Piet Martens – Montana State University and
Smithsonian Astrophysical Observatory

Влияние ГКЛ на альбедо

- Гипотеза Кристофера Кэроффа:
  Благодаря повышенной активности молодое Солнце сильно ограничивало уровень ГКЛ, что, в свою очередь, способствовало понижению облачности, следовательно, снижало альбедо.

- Колин Голдлатт и Кевин Занле с помощью компьютерной модели убрали низкую облачность и получили лишь половину роста температуры, необходимого для жидкой воды.

- Не учтен возможный вклад СКЛ в облачность на фоне влажности при 40^{o}C.

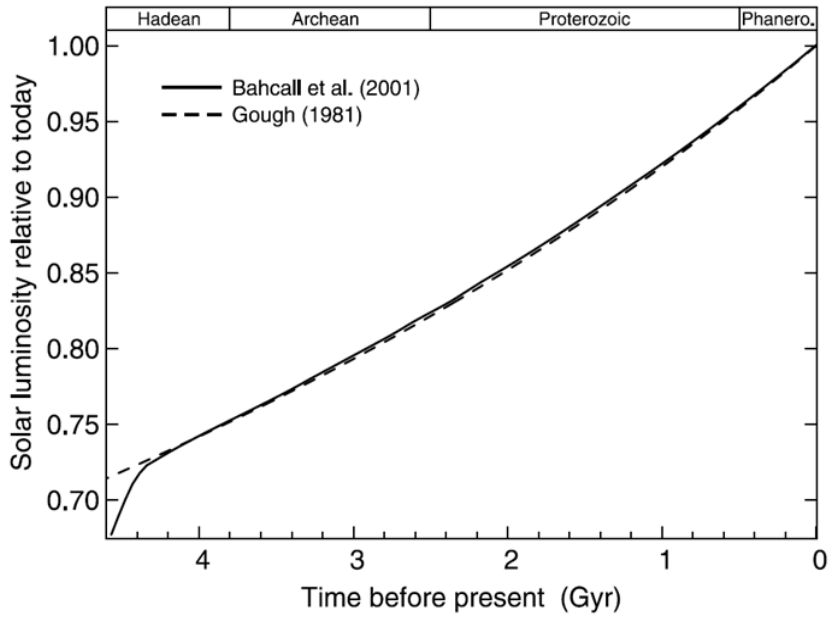
Термические характеристики планет

Планеты	Солнечная постоянная S_o (Вт/м^2)	Планетарн. альбедо A (%)	Эффективная температура T_E (^oK)	Орбитальная температура T_R (^oC)	Средн. знач. темп. поверхн. T_S (^oC)
Марс	589	15	210	- 48	-53
Земля	1367	30	255 ^oK = –18 ^oC	278 ^oK = +5 ^oC	+15
Венера	2613	75	230	+58	+460

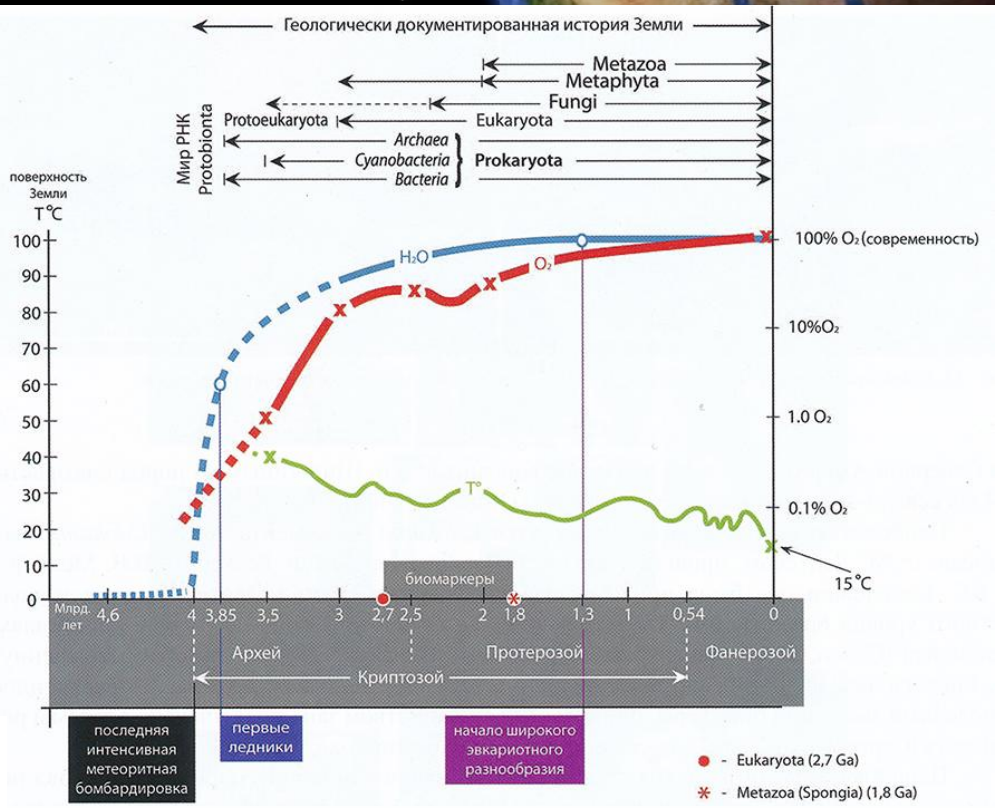
Орбитальная температура планеты (*температура без учета поглощения атмосферы и при альбедо A=0*)

- температура лучистого равновесия (Земли) (эффективная температура)

Особенности Парадокса



Evolution of solar luminosity over the four geologic eons for the standard solar model described in Bahcall et al. [2001] (solid line) and according to the approximation formula [Gough, 1981] (dashed line)



А.Ю. Розанов. Условия жизни на ранней Земле после 4.0 млрд. лет назад

«Бритва Оккама»

Величина, которая падает и с расстоянием от Солнца, и со временем жизни Солнечной системы – солнечная активность.

Возможные механизмы влияния:

1. Уменьшение ГКЛ – уменьшение альбедо.
2. Стимулирование образования парниковых газов.

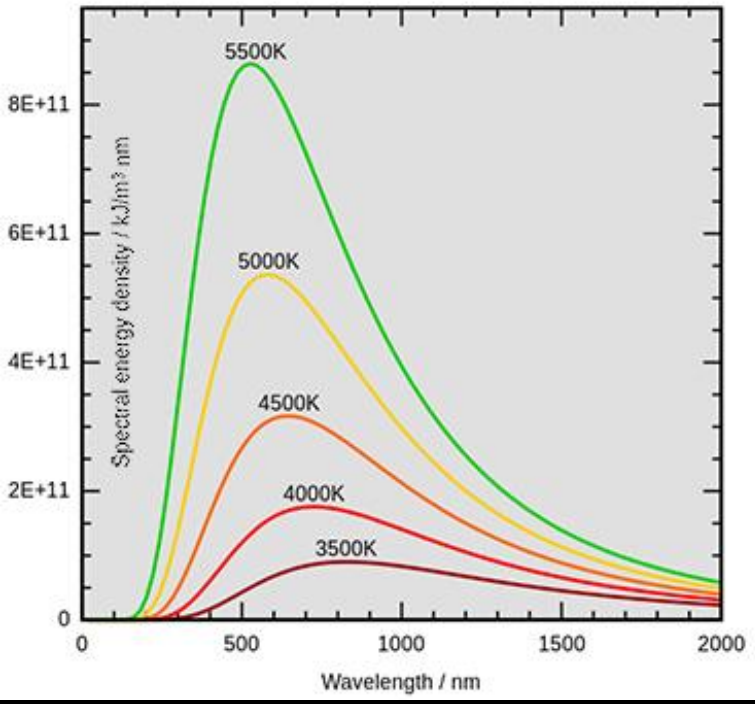
Парниковые газы

Газ	Относительная эффективность
CO_2	1
CH_4	30
N_2O	200
CFC-11	22 000
CFC-12	25 000
HCFC-22	7 500
CH_3CCl_3	1 230

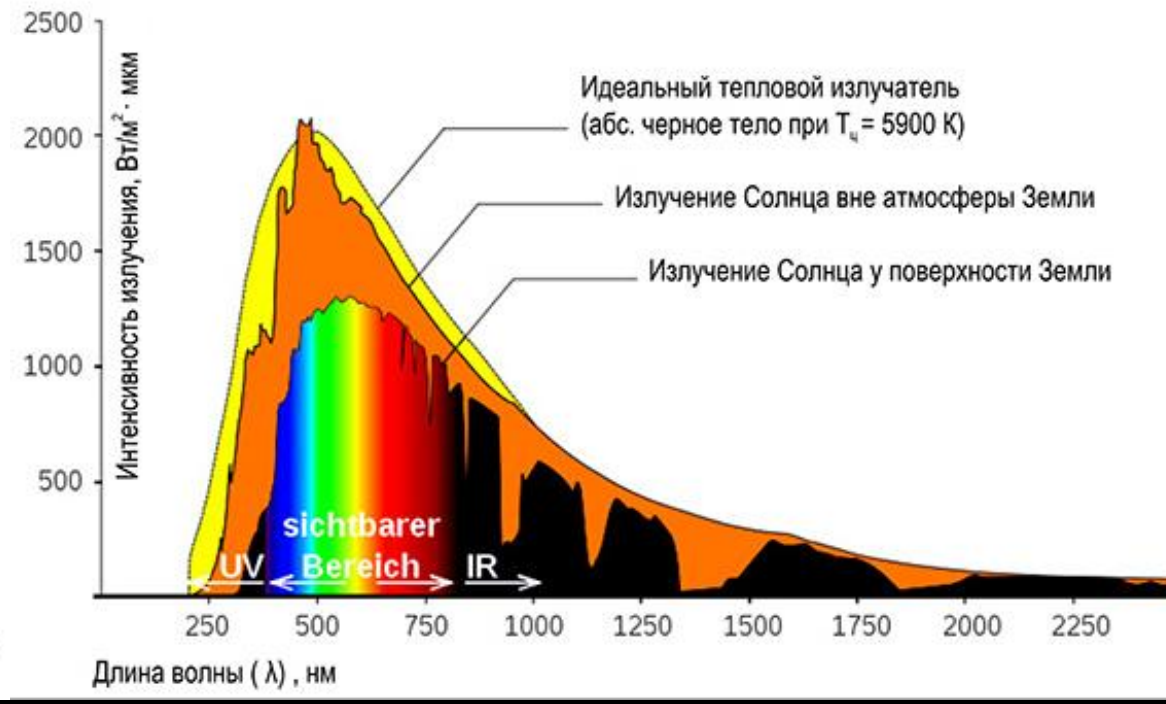
CFCs НЕТ в ПРИРОДЕ!

Атмосфера и источник излучения

Излучение абсолютно черного тела



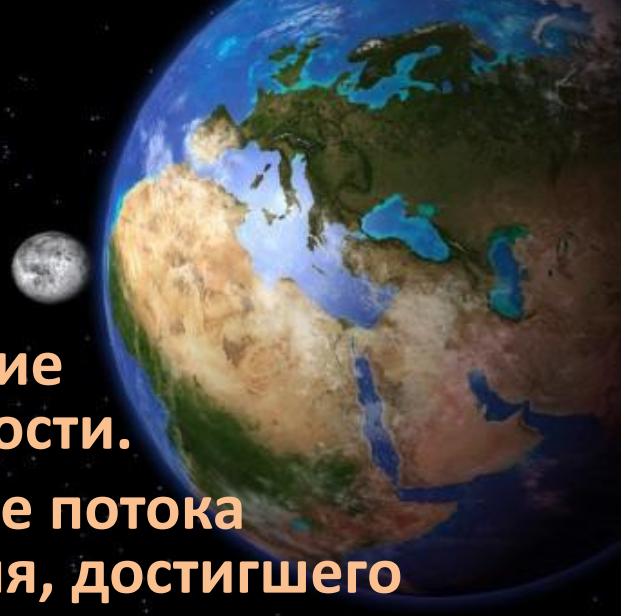
Спектры поглощения атмосферой



Гипотеза:

Абиогенный синтез привел к появлению пленки на поверхности водоемов.

Эффекты пленки:



1. Уменьшение влажности – уменьшение альбедо за счет уменьшения облачности.
2. Уменьшение влажности – увеличение потока инфракрасного солнечного излучения, достигшего поверхности Земли.
3. Возможное увеличение температуры океана за счет уменьшения парообразования.
4. Изменение соотношения концентраций углекислого газа в океане и в атмосфере.
5. Постоянно пополняемый источник парниковых газов.
6. Зависимость парникового эффекта от солнечной активности.
7. Механизм саморегуляции (химический, а позже, и биологический).

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Храмова Елизавета

sinop@yandex.ru