

ПАРНИКОВЫЕ И АНТИПАРНИКОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕРАХ

А.С. Гинзбург

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

В эпоху глобального потепления, обусловленного ростом содержания парниковых газов в атмосфере Земли, важно иметь в виду, что есть и противоположный эффект – антипарниковый, величина которого зависит от наличия слоев аэрозоля, расположенных на различных высотах и состоящих из частиц с различными микрофизическими и оптическими свойствами.

Наиболее известные проявления и последствия аэрозольного эффекта – массовые вымирания видов после падения астероида, мощные вулканические извержения, масштабные лесные пожары, пылевые бури на Марсе, феномен «ядерной зимы», «азиатское коричневое облако», идея смягчения глобального потепления путем введения сернистого аэрозоля в стратосферу и т.п.

Человечество очень боится роста содержания парниковых газов в атмосфере Земли и практически не беспокоится о возможности массового вымирания видов, включая и род человеческий, при мощных аэрозольных похолоданиях.

Глобальное потепление, которое мы довольно слабо пока ощущаем, конечно может привести к различным неприятностям, но, возможно, с ним можно бороться либо адаптироваться к нему. Что же касается аэрозольных катастроф, то они уже случались на Земле.

В докладе описываются основные физические процессы, обуславливающие наличие парникового и/или антипарникового эффекта в атмосферах планет земной группы.

Обсуждаются особенности и различия формирования равновесного температурного режима поверхностей и атмосфер Венеры, Марса и Земли в зависимости от газового и аэрозольного состава и, соответственно, оптических свойств планетных атмосфер.

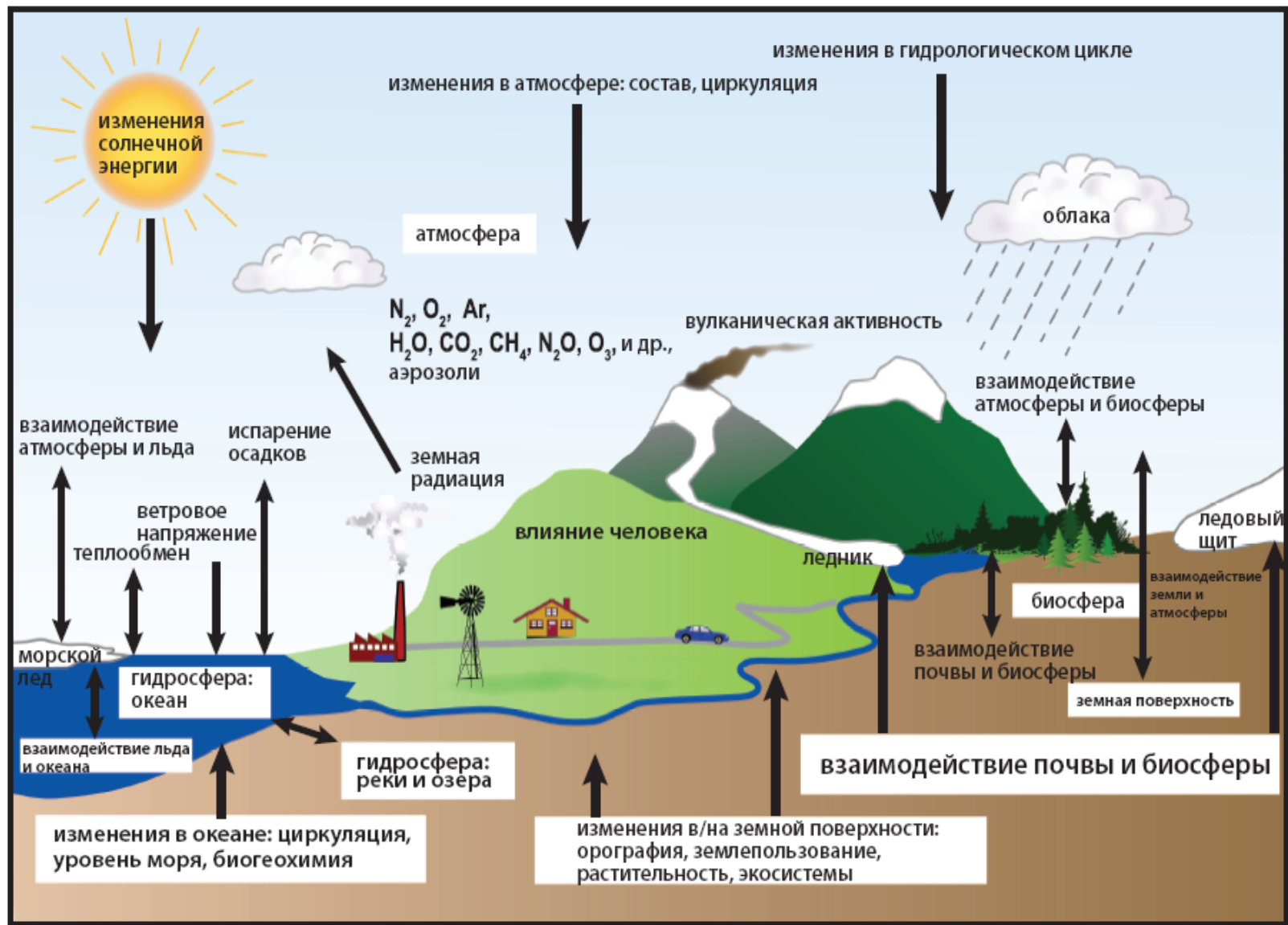
Будут продемонстрированы реальные и гипотетические температурные эффекты мощных газовых и аэрозольных выбросов, а также различная роль облачности в атмосферах планет.

Некоторые публикации автора XX века

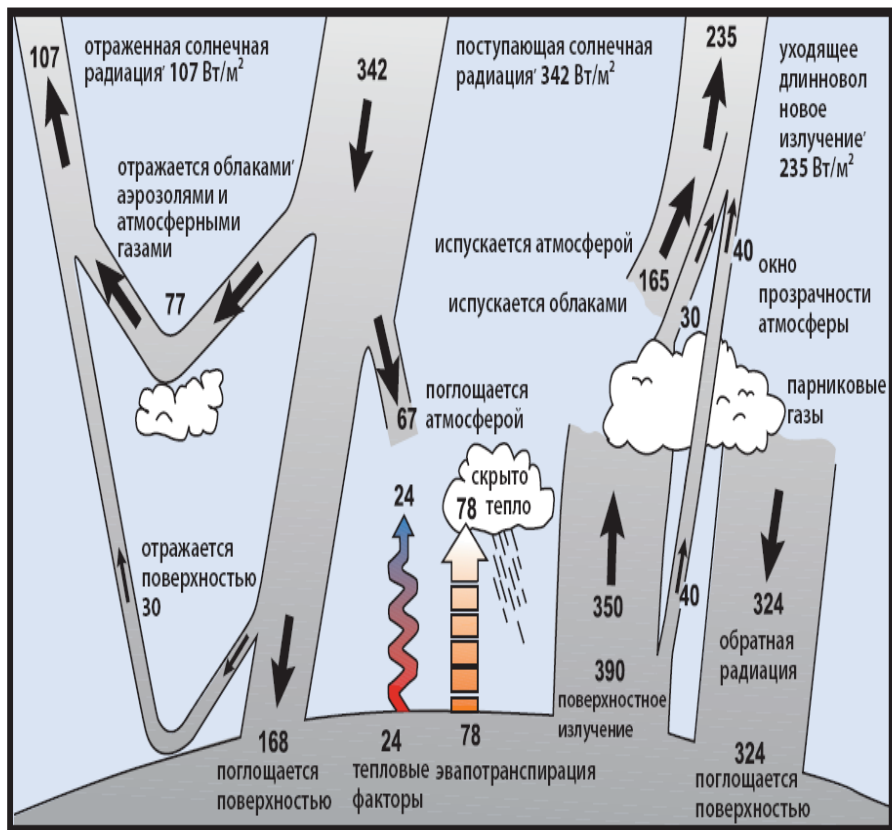
- **Гинзбург А.С., Фейгельсон Е.М. Некоторые оптические свойства атмосферы Венеры и режим лучистого равновесия. Космические исследования. 1969. Т. VII. Вып. 8. С. 258-265.**
- **Гинзбург А.С., Фейгельсон Е.М. Некоторые закономерности лучистого теплообмена в планетных атмосферах. Изв. АН СССР. ФАО. 1971. Т. VII. № 4. С. 377-384.**
- **Гинзбург А.С. О радиационном режиме поверхности и запыленной атмосферы Марса. Докл. АН СССР. 1973. Т. 208. № 2. С. 295 - 298.**
- **Гинзбург А.С. Радиационная энергетика климатической системы. Изв. АН СССР. ФАО. 1982. Т. 18. № 12. С. 1262-1268.**
- Ginzburg A.S., Golitsyn G.S. Comparative estimates of climatic consequences of Martian dust storms and a possible nuclear war. Tellus. V. 37B. 1985. No 3. P. 173-181.
- Ginzburg A.S. Climate and atmospheric consequences of nuclear war. Ambio. XVIII. 1989. No 7. P. 384- 390.

Некоторые публикации автора XXI века

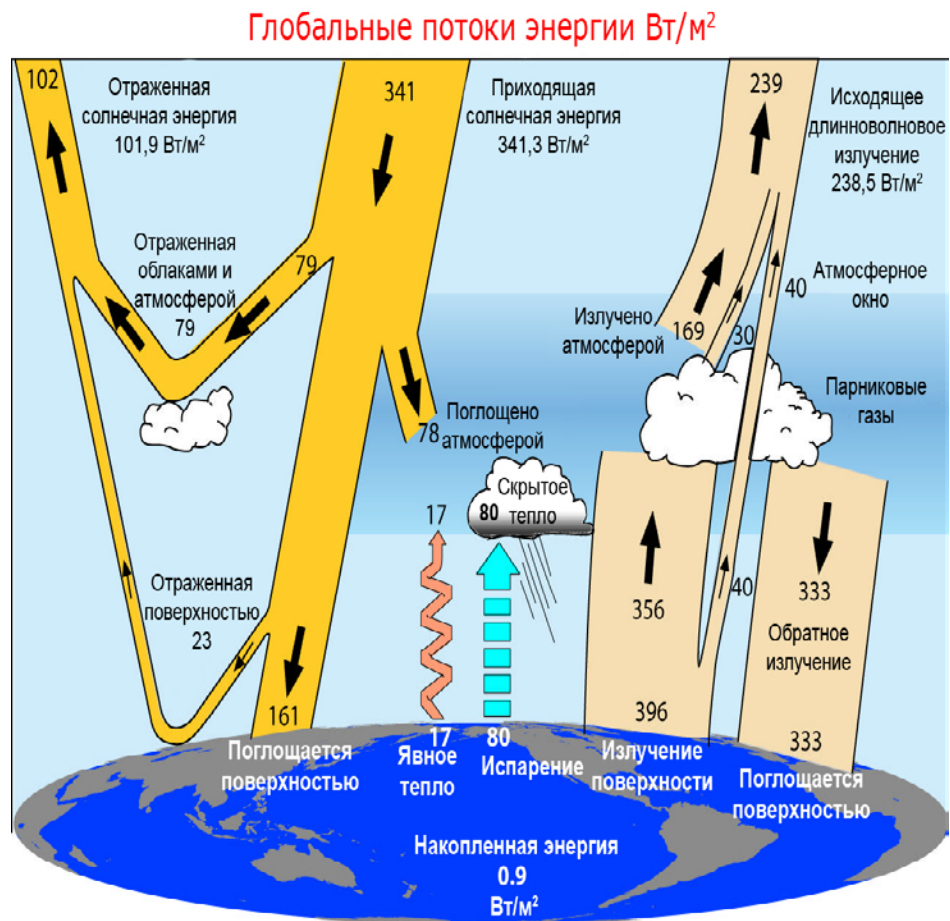
- **Голицын Г. С., Гинзбург А. С. Оценки возможности «быстрого» метанового потепления 55 млн. лет назад. Доклады РАН. 2007. Т. 413. № 6. С. 816–819.**
- **Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат. Рос. хим. ж. 2008. Т. LII. № 5. С. 112-119**
- Ginzburg A. Explosive volcanic eruptions and other atmospheric aerosol catastrophes. Proceedings of the ISTC Workshop "Worldwide early warning system of volcanic activities and mitigation of the global/regional consequences of volcanic eruptions". 2011. P. 112-117.
- **Гинзбург А.С. Региональные максимумы температуры воздуха и возможность их простых энергобалансовых оценок. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 722-728.**
- **Бусыгин В.П., Гинзбург А.С. Атмосферные и гидрогеологические эффекты наземных, воздушных и подземных ядерных взрывов: теория, эксперимент и мониторинг. Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 55-64.**



Earth Climate System

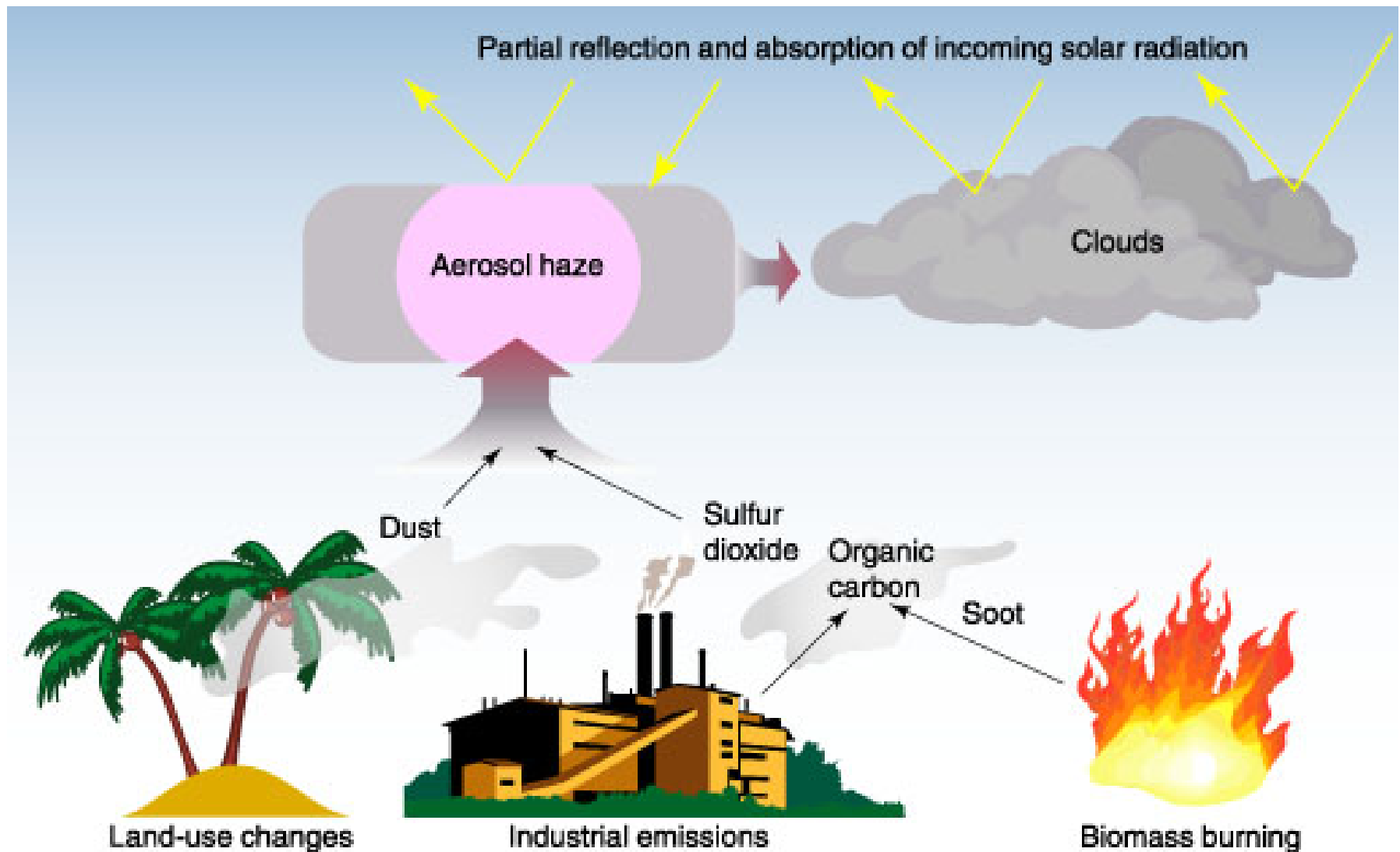


**Kiehl and Trenberth
1997**



**Trenberth, Fasullo and Kiehl
2008**

Some Aerosol Impacts on Climate System



Климатические эффекты атмосферного аэрозоля

Аэрозоли в значительной степени влияют на радиационный баланс атмосферы и Земли в целом.

Два типа радиационного влияния аэрозолей:

- 1. Прямое влияние, при котором аэрозоли сами рассеивают и поглощают солнечное и тепловое инфракрасное излучение**
- 2. Косвенное влияние, когда аэрозоли видоизменяют количество облаков, их микрофизические и радиационные свойства.**

- В результате извержения вулкана Пинатубо на Филиппинах 15 июня 1991 г. 20 млн. тонн двуокиси серы было выброшено в стратосферу, что в результате образования слоя стратосферного аэрозоля, состоявшего преимущественно из капелек серной кислоты, привело к понижению средней глобальной температуры в следующем после извержения году на 0,5 градуса.
- В целом за период с 1958-го по 1992 год уровень солнечного освещения за счет вулканических извержений ежегодно снижался примерно на 0,2 - 0,3 % в год. Вероятно без этого «потемнения» глобальное потепление во второй половине XX века было еще более заметным.
- *Разнообразие типов аэрозольных выбросов по высоте, времени жизни, химическому составу, размерам частиц, оптическим и радиационным свойства делает их климатические эффекты труднопредсказуемыми и требующими комплексного междисциплинарного исследования.*

Возможные воздействия различных типов аэрозоля на атмосферные процессы различной природы, пространственных и временных масштабов варьируют от предотвращения осадков во время праздников до «ядерной зимы».

При этом к настоящему времени практически все методы воздействия на гидрометеорологические процессы сводятся к использованию тех или иных видов аэрозолей.

Climate effects of aerosols

Aerosol particles can influence climate in several ways:

Scatter and absorb (in the case of black carbon) solar radiation (**direct effects**).

Act as cloud condensation nuclei (CCN) around which cloud droplets can form, and thereby influence cloud reflectivity and cloud lifetime (**indirect effects**).

More CCN causes liquid clouds to consist of more, but smaller, droplets. The resulting cloud is more reflective (**first indirect effect**).

Due to the smaller size of cloud droplets, the formation of precipitation may be suppressed, resulting in a longer cloud lifetime and larger cloud cover (**second indirect effect**).

Black carbon can have another indirect effect by changing the albedo of snow and ice.

The aerosol indirect effects are the greatest source of uncertainty in assessing the human impact on climate change.

Climate catastrophes

Mikhail Budyko

Climate catastrophes occur with large-scale environmental changes which cause mass deaths of living organisms. Long-term, strong reductions in temperature cause a considerable decrease in the number of many animal species, even full extinction.

The results of the falling of large meteorites should be a considerable increase in aerosol layer optical density in the atmosphere.

Benjamin Franklin was the first to pay attention to the possible climatic effects of volcanic gases and dust. He proposed that a large eruption of the Laki volcano in Iceland in 1783 resulted in 'dry fog', i.e., haze that caused a cold summer and poor harvests in Europe.



535 - 536 A.D. event – probably the most massive volcanic eruption of New Era took place at the time of King Arthur in Britain

"The sun was dark and its darkness lasted for eighteen months; each day it shone for about four hours; and still this light was only a feeble shadow; the fruits did not ripen and the wine tasted like sour grapes."

Many documents from 535 - 536 A.D. speak of the terrible "dry fog" or cloud of dust that obscured the sun, causing widespread crop failures in Europe, and summer frosts, drought, and famine in China.

This eruption threw so much sulfur dioxide (SO_2) gas into the stratosphere that a "Volcanic Winter" resulted. Sulfur dioxide reacts with water to form sulfuric acid droplets (aerosol particles), which are highly reflective and reduce the amount of incoming sunlight.

Three types of global aerosol atmospheric and climate catastrophes:

1. Impact (asteroid) winter
2. Volcanic winter
3. Nuclear winter

Middle Age warming & Little Ice age

During the last millennium there were periods with high and low volcanic activity.

There were relatively few volcanic eruptions took place between the 11th and 13th centuries during the Middle Age warming period

After that there were at least 100 volcanic eruptions between 1500 and 1800 during the Little Ice age.



Volcanic winter

The eruptions capable of causing "Volcanic Winter" effects severe enough to depress global temperatures by 2°F (1°C) and trigger widespread crop failures for 1 - 2 years afterwards could occur about once every 200 - 300 years.

The Huaynaputina eruption with a magnitude 6 is blamed for the [Russian famine of 1601-1603](#), which killed over half a million people and led to the overthrow of Tsar Boris Godunov.

In the past 200 years, Mt. Pinatubo in the Philippines (June 1991), El Chichon (Mexico, 1982), Mt. Agung (Indonesia, 1963), Santa Maria (Guatemala, 1902) Krakatoa (Indonesia, 1883), and Tambora (1815) all created noticeable cooling.

Last two centuries

Year	Volcano, region	Height of injection, km	Quantity of material	Global temperature decrease and other consequences
1783–1784	Laki, Iceland	> 20	> 122 Mt of SO ₂ , of which about 95 Mt erupted into the lower stratosphere	Almost complete absence of direct solar radiation for 5 months
1815	Tambora, Indonesia	> 50	70–150 Mt of gaseous substances	3–4°C; year without direct solar radiation
1883	Krakatau	> 50	25–55 Mt of gaseous substances	0.5°C
1912	Katmai, Alaska	~20	20 Mt of sulfide aerosols	0.3–0.5°C
1963	Agung, Indonesia	~20	> 16 Mt of sulfide aerosols	0.2–0.3°C
1982	El Chichon, Mexico	~20	~12 Mt of sulfide aerosols	0.3°C
1991	Pinatubo, the Philippines	20–25	~30 Mt of sulfide aerosols, 20 Mt SO ₂	0.3–0.5°C

The most intense volcanic eruptions in the 18th–20th centuries

(from Izrael et al, 2007)

Lord Byron "DREAM"

I had a dream, which was not all a dream.
The bright Sun was extinguished, and the stars
Did wander darkling in the eternal space,
Rayless, and pathless, and the icy earth
Swung blind and blackening in the moonless air;
Morn came and went--and came, and brought no day...

The habitations of all things which dwell,
Were burnt for beacons; cities were consumed,
And men were gathered round their blazing homes
To look once more into each other's face;
Happy were those who dwelt within the eye
Of the volcanoes, and their mountain-torch...

The winds were withered in the stagnant air,
And the clouds perish'd; Darkness had no need
Of aid from them--She was the Universe.



Эйяфьятлайокудль днем, апрель 2010



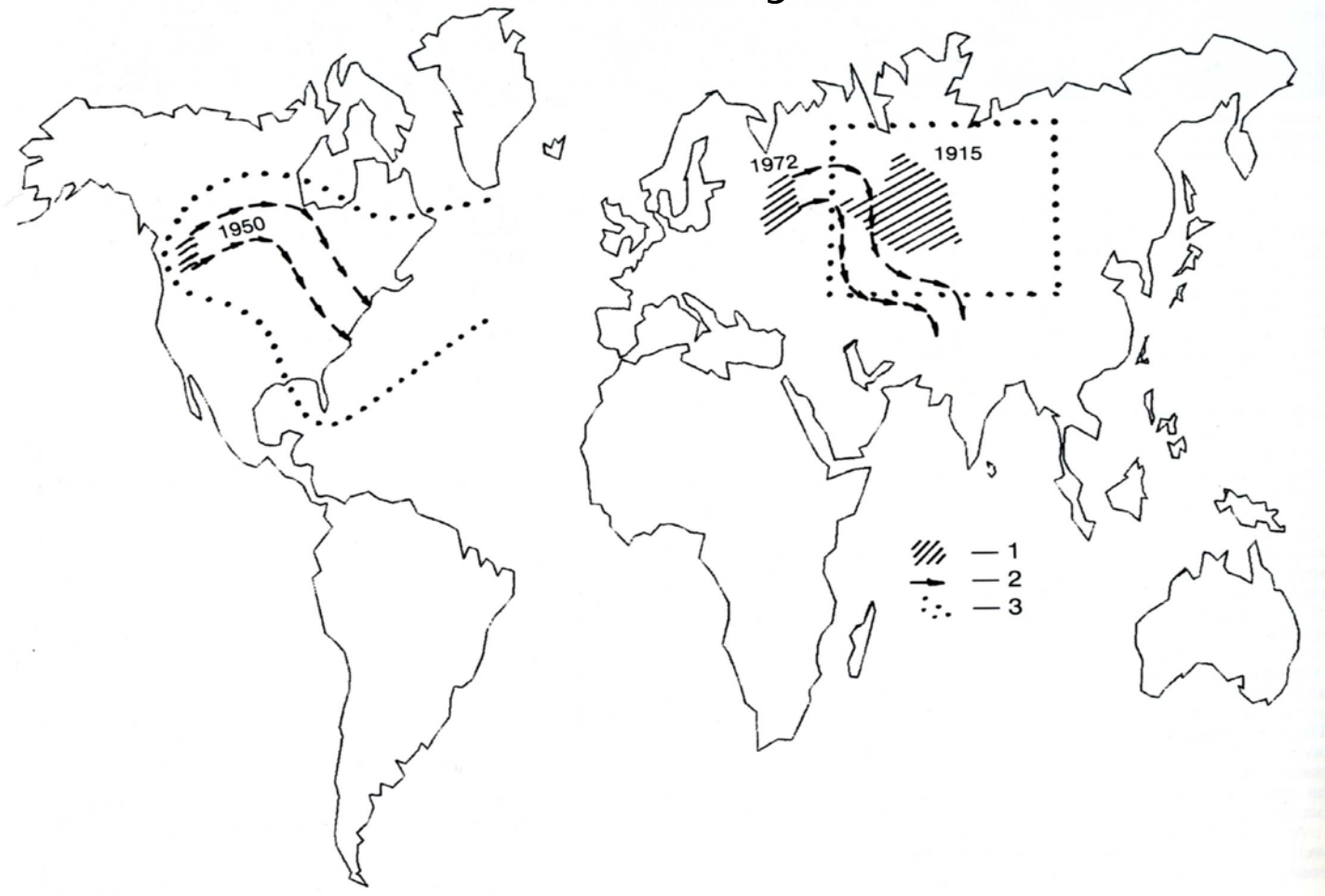
Эйяфьятлайокудль ночью, апрель 2010

М.Ю. Лермонтов

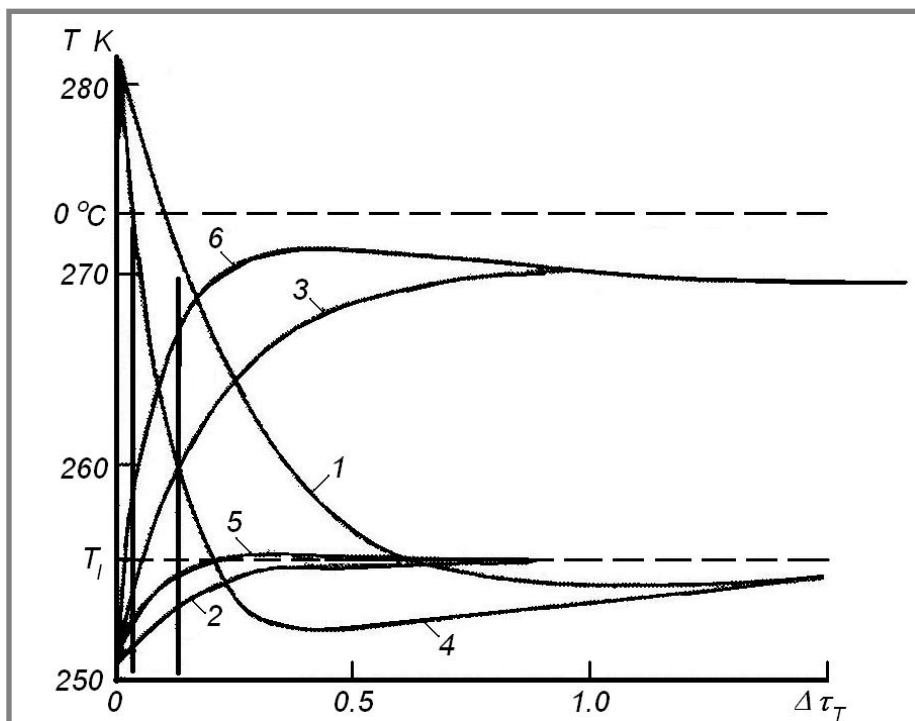
ПРОРОК

**...Посыпал пеплом я главу,
Из городов бежал я нищий,
И вот в пустыне я живу,
Как птицы, даром божьей пищи...**

Some greatest forest and peat fires in XX century

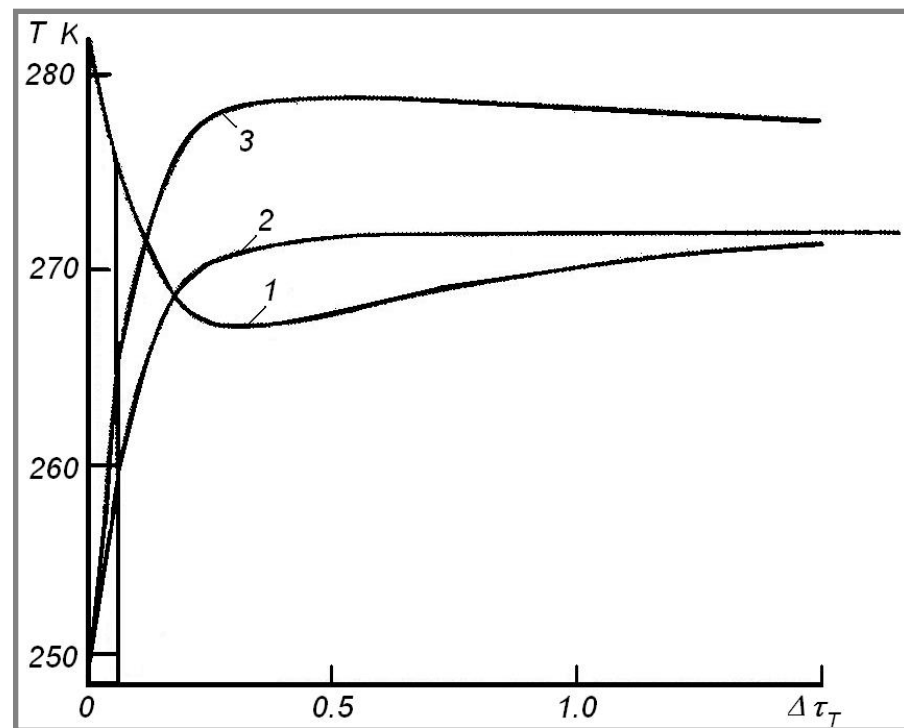


1 – fire areas, 2 - smoke paths, 3 – smoke clouds boundaries



Изменения температуры поверхности и средней температуры атмосферы Земли в зависимости от приращения аэрозольной оптической плотности $\Delta\tau_T$ в тепловом диапазоне.

1 – температура поверхности, 2 – температура атмосферы над сушей, 3 – температура атмосферы над океаном при $\Delta\tau_T / \Delta\tau_V = 1/4$ (пыль), 4-6 – температура земной поверхности (4) и атмосферы над сушей (5) и над океаном (6) для дымового аэрозоля при $\Delta\tau_T / \Delta\tau_V = 1/10$ и альбедо $A=0.3$.



Изменение температуры поверхности (1) и атмосферы над сушей (2) и над океаном (3) при альбедо $A(\tau_T) \rightarrow 0.1$.

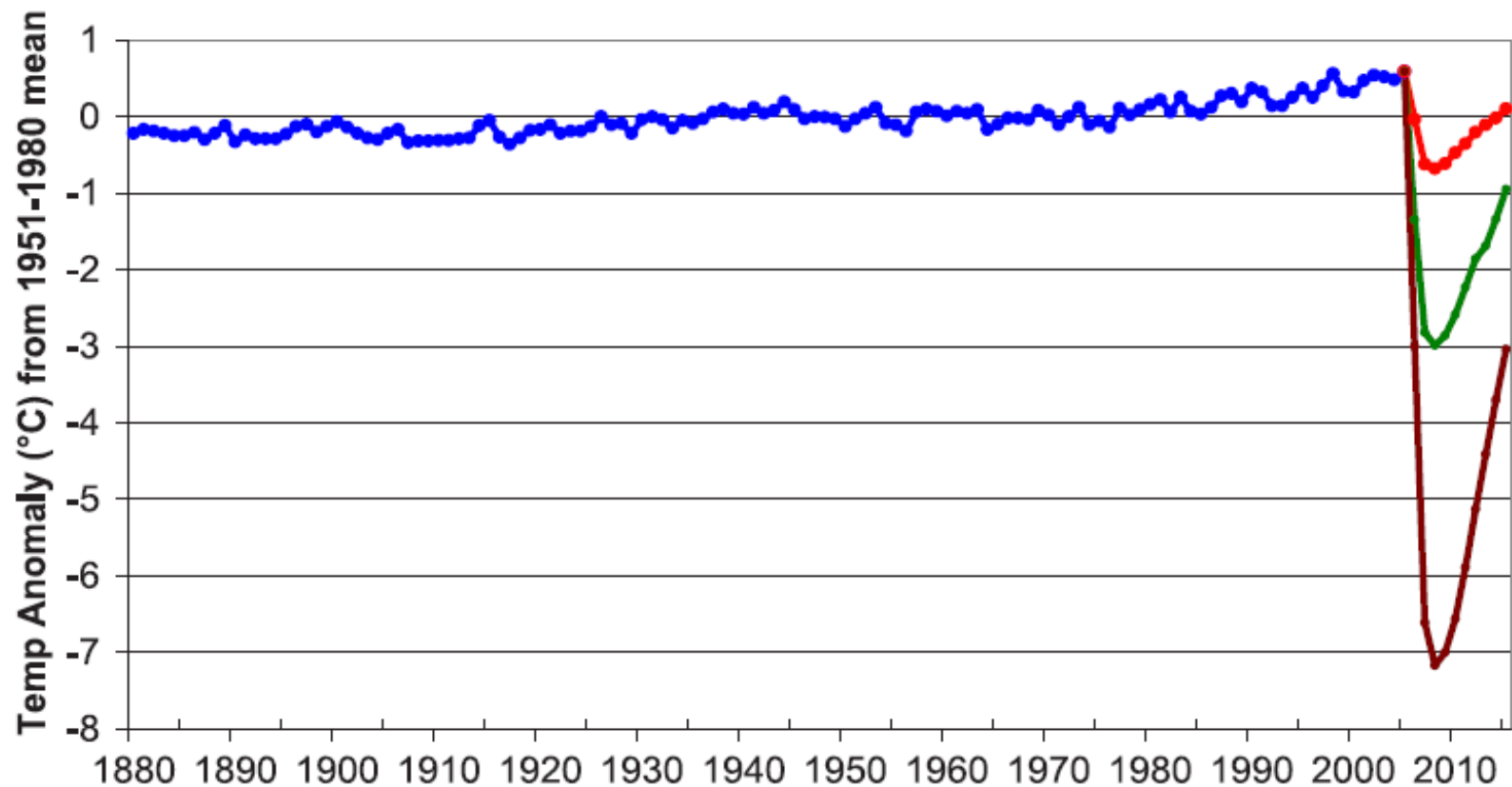
Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences

A. Robock, L. Oman, G.L. Stenchikov

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, D13107, doi:10.1029/2006JD008235, 2007

GISS Global Average Temperature Anomaly

+ 5 Tg, 50 Tg, 150 Tg smoke in 2006



Глобально осредненные температуры поверхности и приповерхностного воздуха на планетах земной группы (кроме Меркурия) обусловлены парниковым эффектом их атмосфер.

Однако Земля, Марс и Венера ярко демонстрируют разнообразие проявления парникового эффекта в атмосферах с различной оптической глубиной, различным газовым и аэрозольным составом и разной облачностью.

Для оценки величины парникового эффекта атмосферы главным параметром является ее оптическая толщина в тепловой области спектра.

$$\sigma T_e^4 = 0,25 I_0 (1-A)$$

$$\sigma T_s^4 D + \sigma T_a^4 (1 - D) = I (1-A)$$

$$\sigma T_s^4 - \sigma T_a^4 (1 - D) = a_s I$$

Газовый состав атмосферы

Газ	Венера	Земля	Марс
Водород, H_2	$< 10^{-3}$	$< 5 \cdot 10^{-5}$	-
Кислород O_2	$< 10^{-3}$	21	0,1
Озон O_3	(?)	$10^{-6} - 10^{-5}$	10^{-5}
Азот N_2	3,5	78,1	2,5
Сера S_2	$\approx 2 \cdot 10^{-5}$	нет	нет
Двуокись углерода CO_2	96,5	$3 \cdot 10^{-2}$	95
Водяной пар H_2O	$\approx 0,2$	$\approx 0,1$	0 - 0,2
Окись углерода CO	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	0,08
Метан CH_4	$< 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Аммиак NH_3	$< 2 \cdot 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
Двуокись серы SO_2	$1,5 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}	$< 10^{-6}$

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Расстояние от Солнца, а.е.	0,387	0,723	1,000	1,524
Период обращения	88,0 сут	224,7 сут	365,3 сут	687,0 сут
Масса (в единицах земной массы)	0,005	0,816	1,000	0,107
Ускорение силы тяжести , см·с ⁻²	370	887	981	371
Период вращения	58,8 сут	243 сут	23 ^h 56	24 ^h 37
Сферическое альbedo	0,006	0,75	0,36	0,24
Солнечная постоянная, Вт·м ⁻²	13600	2600	1360	586
Эффективная температура, К	440	231	249	210
Температура поверхности, К	750(100)	735	288	300(147)
Давление у поверхности, атм.	<10 ⁻¹⁰	90	1,0	0,006

Марс

Атмосфера состоит практически целиком из углекислого газа. Оптическая толщина марсианской атмосферы в тепловой области спектра невелика, поэтому тепловое излучение поверхности Марса прогревает ее практически равномерно по высоте. На Марсе случаются глобальные пылевые бури, которые создают ярко выраженный антипарниковый эффект.

Венера

Целиком покрыта облачностью на высотах выше 50 км, которая создает высокое альbedo планеты и резко уменьшает поток солнечного излучения к поверхности. Нижняя атмосфера Венеры, так же как и Марса, состоит практически целиком из углекислого газа, но имеет огромную оптическую толщину, в результате чего температура у поверхности Венеры – сотни градусов Цельсия.

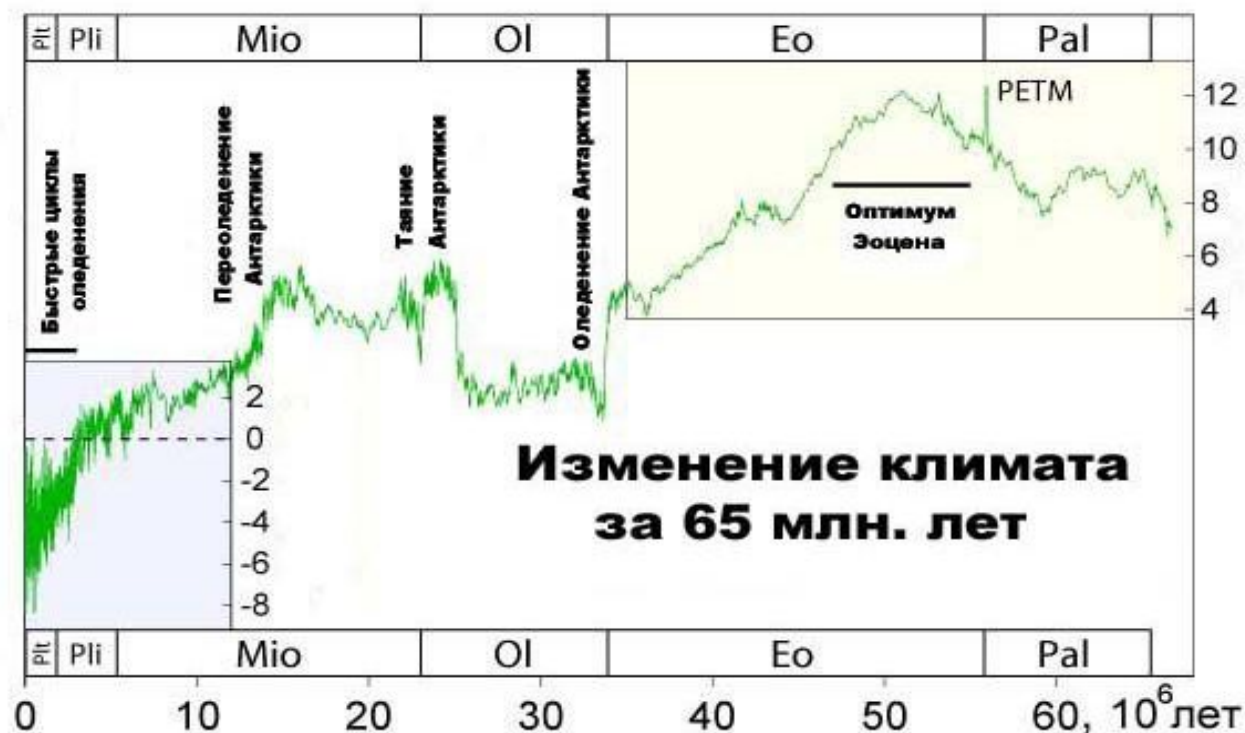
Земля

Оптическая толщина атмосферы Земли в тепловой области много больше марсианской и много меньше венерианской. Облаков на Земле тоже больше, чем на Марсе, и меньше, чем на Венере. Кроме того, в земной атмосфере относительно мало углекислого газа.

При радиационном равновесии вертикальный градиент температуры в нижних слоях земной атмосферы является сверхадиабатическим, поэтому возникают вертикальные потоки, уменьшающие этот градиент до величин, меньших адиабатического, в результате чего в атмосфере Земли существуют тропосфера и стратосфера.

Облака на Земле в основном формируются в толще тропосферы – постоянно перемешиваемом слое воздуха за счет восходящих и нисходящих потоков, поэтому облачность на Земле не может покрывать всю планету, а ее балл не может сильно отличаться от пяти баллов.

Явление Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) имело место примерно 55 млн. лет (Ma) назад и заключалось в глобальном потеплении земной поверхности, оцениваемом в 5-9 °C.



Голицын Г. С., Гинзбург А. С. 2007. Оценки возможности «быстрого» метанового потепления 55 млн. лет назад. — Доклады РАН, т. 413, №6, с. 816–819.

***Спасибо
за внимание,
снисхождение
и терпение***