

## Как работает уравнение климата?

### Простая модель



#### Уравнение климата

Представляем проблему аэрозоля в нескольких простых вычислениях:

В модели климата имеются определенные факторы, которые приводят в действие систему климата. Эти воздействия могут быть положительным и привести к потеплению. Они могут быть также отрицательными и привести к охлаждению. Возмущающее воздействие обозначаем “дельтой Q”. Если возмущающие факторы, такие как накопление парниковых газов, изменение среднего солнечного излучения, изменение облачности, меняются со временем (например, от начала индустриализации до сегодняшних дней), средняя температура на Земле (“дельта T”) также меняется. Изменение температуры тем больше, чем чувствительнее климат реагирует на эти возмущающие факторы. Чувствительность климата выражается греческой буквой "лямбда".

Теперь можем написать:

**Температурное изменение = чувствительность климата × возмущающее воздействие**

$$\Delta T = \lambda \cdot \Delta Q$$

где:

$\Delta T$  [°C] Температурное изменение в рассматриваемом интервале времени

$\lambda$   $\left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт} / \text{м}^2} \right]$  Чувствительность климата

$\Delta Q$  [Вт / м<sup>2</sup>] Изменение возмущающего воздействия в рассматриваемом интервале времени (ватты на квадратный метр)



#### Каковы движущие силы?

Наука о климате изучает, какие химические и физические параметры входят в это возмущающее воздействие. Главный фактор – парниковые газы: углекислый газ, метан, озон, оксид азота, хлорфторуглероды, или так называемые фреоны (CFCs). Их количество в воздухе значительно увеличилось со времени индустриализации. Парниковые газы удерживают энергию инфракрасного излучения у земной поверхности. Это радиационное воздействие приблизительно достигает +2,4 Вт/м<sup>2</sup>.

Имеются и другие менее существенные возмущающие факторы, которые могут быть или положительными или отрицательными. Наконец, аэрозоль играет большую роль прямого

отражая прямой солнечный свет или участвуя при формировании облаков. Мы мало знаем о размере этого эффекта и можем только предполагать, что это воздействие может быть в диапазоне от минус 1 до минус 2 Вт/м<sup>2</sup>.

Мы можем теперь написать очень простое уравнение суммы всех возмущающих факторов:

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{GHG}} + \Delta Q_{\text{other}} + \Delta Q_{\text{aerosol}}$$

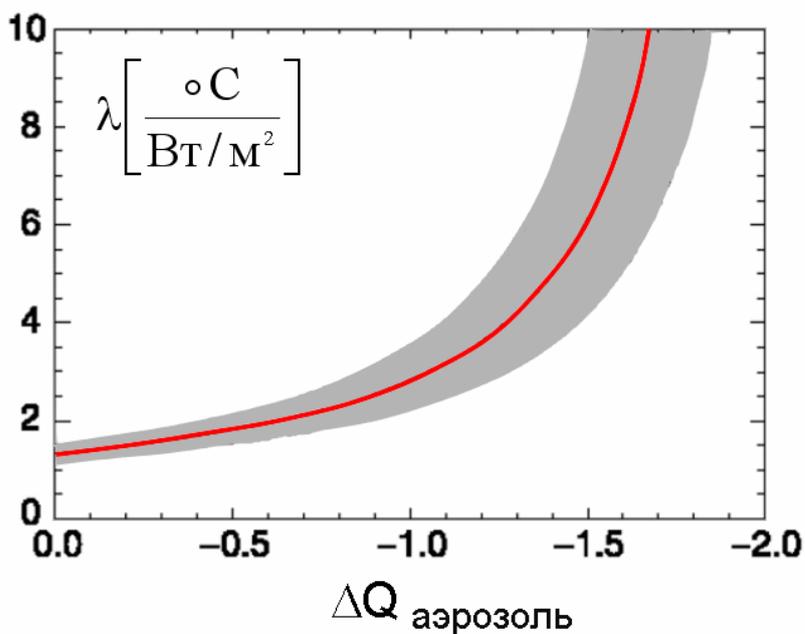


### Насколько сильно охлаждающее воздействие аэрозоля на чувствительность климата?

Простое вычисление с целыми числами демонстрирует, что чувствительность климата сильно зависит от охлаждающего воздействия аэрозоля. Мы предполагаем, что температура изменилась на 2°C. Кроме того, воздействие на климат, из-за парниковых газов и других факторов, может дойти до 2 Вт/м<sup>2</sup>. Так как мы не знаем точно, каков точно вклад аэрозоля в охлаждение, мы принимаем значения: 0; -1; -1,5; -1,75 Вт/м<sup>2</sup>. Какова будет чувствительность климата?

$\Delta T$ [°C]	возмущающее воздействие: парниковые газы + другие	возмущающее воздействие: аэрозоль	$\Delta Q$ [Вт/м <sup>2</sup> ]	$\lambda \left[ \frac{°C}{\text{Вт/м}^2} \right]$
2	+2	0	2	1
2	+2	-1	1	2
2	+2	-1,5	0,5	4
2	+2	-1,75	0,25	8

Мы видим, что чувствительность климата получается со значениями 1, 2, 4 и 8°C на Вт/м<sup>2</sup>. Это очень приблизительно. Такая точность также и в научных вычислениях климата. Для модели климата используется, например, чувствительность от 1,5 до 4,5°C на Вт/м<sup>2</sup>.



На графике слева показан результат научного вычисления с диапазоном неопределенности (серый цвет).

График: оценка чувствительности климата. На основании статьи Андреа, Джонес, Кох. NATURE от 2005-06-30.

 Если чувствительность климата высока...

Что случится, если допустим, что охлаждение аэрозолями будет довольно высоко (приблизительно  $1,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ), но в ближайшем будущем оно уменьшится, а в это время количество парниковых газов в воздухе увеличится? Подобраны некоторые числа:

Возмущающее воздействие: парниковые газы + другие	Возмущающее воздействие: аэрозоль	$\Delta Q [\text{Вт} / \text{м}^2]$	$\lambda \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт} / \text{м}^2} \right]$	$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$
+ 2,5	1	1,5	4	6
+ 3	- 0,5	2,5	4	10

Видим, что глобальная температура увеличилась бы значительно.

Этот пример числовой модели климата сильно упрощен. Но он объясняет основные предположения, которые давно беспокоят ученых.