



Контекст: Простые модели

Ключевые слова:

моделирование, простые модели, радиационный баланс, баланс углерода



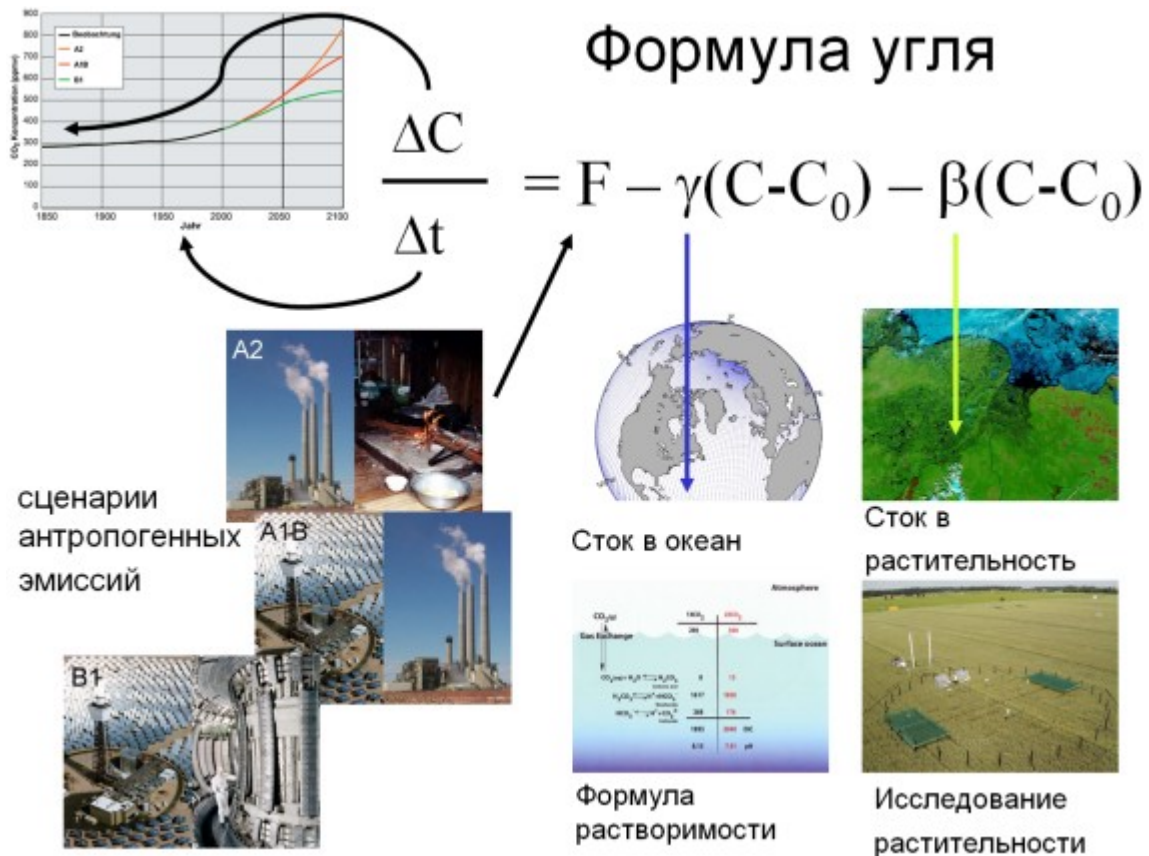
Как факторы климата могут быть описаны формулами?

Окружающая нас среда следует физическим законам. Эти законы выражаются уравнениями. Природа вокруг нас очень сложна. Намного легче сказать, сколько энергии необходимо, чтобы нагреть один литр воды от 10°C до 11°C, чем описать систему климата в уравнениях. Но мы можем показать на нескольких простых моделях, как это делается.



Пример 1: уравнение баланса углерода

С начала промышленной революции использовалось все больше так называемого ископаемого топлива: угля, нефти и природного газа, с целью производства материальных благ и чтобы согреть наши жилища. Одним из продуктов процесса сгорания является парниковый газ – двуокись углерода (CO_2). Выбрасываемая в атмосферу, она измеряется в тоннах атомов углерода, С. Но не весь углерод, поступающий в воздух как CO_2 , остается там навсегда. Растения поглощают CO_2 для роста (иногда даже больше, чем они испускают при отмирании), и много углекислого газа растворяется в океанах. Мы можем выразить эти процессы простым уравнением баланса углерода.



1. Формула углерода: как предсказать будущее изменение углекислого газа в воздухе.

Содержание углерода в воздухе (в качестве углекислого газа) изменяется со временем. Кривая на графике модели климата показывает нам это изменение. Это видно и по левой части уравнения. Но от каких факторов это изменение зависит?

Во-первых, мы имеем эмиссию от человеческой деятельности, F . Мы примерно знаем сколько эмитировали в прошлом. Оценка в будущем должна быть сделана по различным сценариям. От общей суммы эмиссии от человеческой деятельности в течение долгого времени мы должны вычесть часть, которая поглощается растениями (*бета*) и часть, поглощаемую океанами (*гамма*). Коэффициенты поглощения должны быть умножены на количество углерода, который был добавлен позже, это означает различие между существующим количеством углерода, C , и доиндустриальным количеством углерода, C_0 . Ученые получают коэффициент *гамма* из формулы растворимости и пробуют оценить коэффициент *бета* путем исследования растений.



Пример 2: интенсификация круговорота воды

Модели климата показывают, что в будущем более теплом мире, в среднем, будет больше и более сильных дождей. Почему? Теплый воздух может содержать больше воды, чем холодный. Это может быть продемонстрировано кривой насыщенности. Уравнение, описывающее это, довольно сложное.

По термодинамической формуле Клаудиуса-Клапейрона:

$$\frac{dE}{dT} = \frac{q_v E}{R_w T^2}$$

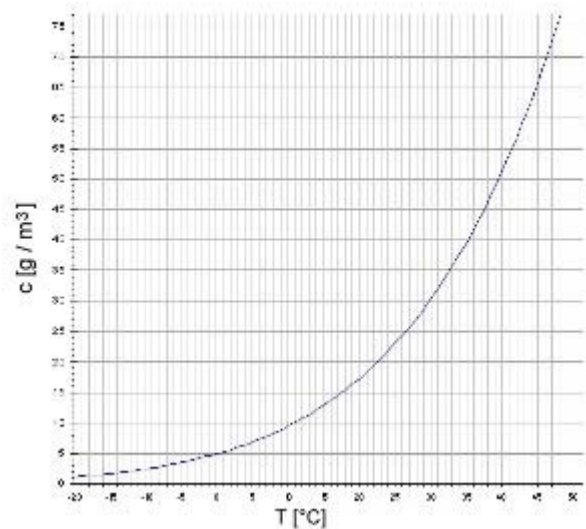
или по упрощенной формуле Магнуса:

$$E_w(t) = E_0 \cdot \exp\left(\frac{17,5043 \cdot t}{241,2^\circ\text{C} + t}\right)$$

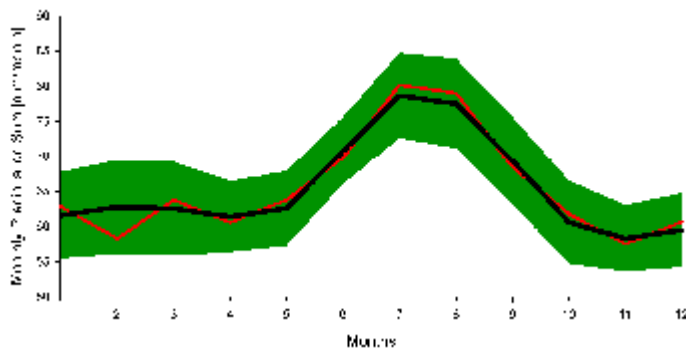
Нет необходимости понять формулу детально, но эта формула показывает экспонентную связь:

$$E(t) = E_0 \exp f(t).$$

Таким образом, максимальное содержание влаги в воздухе увеличивается по экспоненте от температуры.



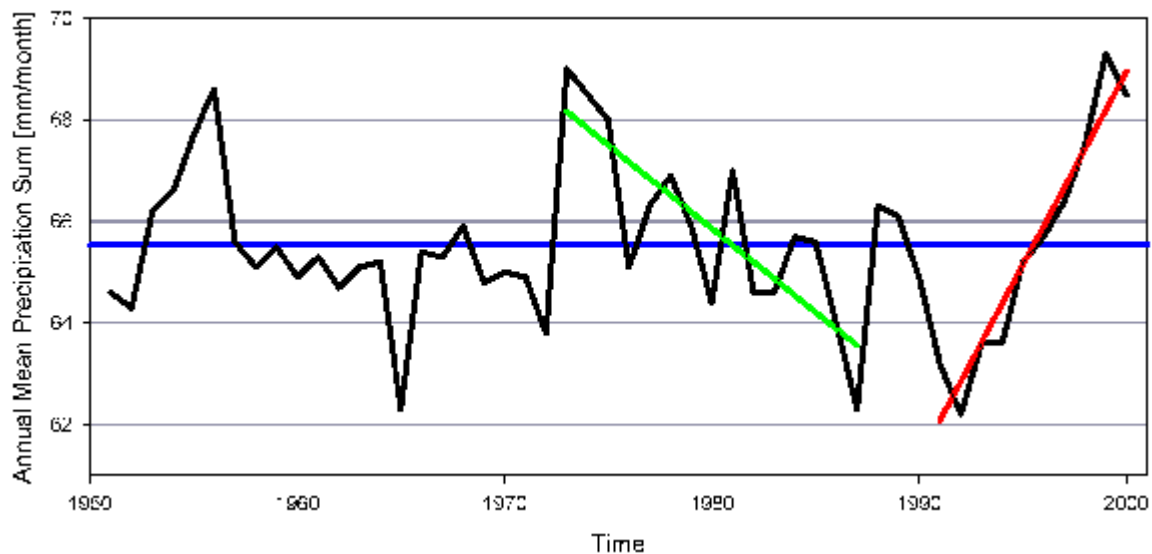
2. Кривая насыщенности водяного пара говорит нам о максимальном количестве воды, которую воздух может содержать при определенной температуре (относительная влажность 100 %)



3. Средний годовой ход глобальных осадков на поверхности суши: черная линия – с учетом различной длины месяцев, красная линия – без учета. Авторы: Юрген Гресер, Христоф Бек; немецкая метеорологическая служба.

Если средняя энергия у поверхности Земли увеличится – большее количество воды испарится, вода затем снова возвратится на Землю. Усилится круговорот воды. Однако это не значит, что дождь выпадет именно на сушу. Много воды испаряется над океанами, что зависит от глобальных систем ветра, как и то, где затем вода выпадет снова.

Хотя средняя температура увеличилась за последние 50 лет, анализ количества осадков показал, что нет никакой тенденции изменения выпадения осадков на сушу. Сильные извержения вулкана уменьшают в среднем осадки на период больше одного года, но заключения не могут быть сделаны из-за общего изменения температуры.



4. Среднегодовые изменения ежемесячной суммы осадков на всю поверхность Земли (кроме Гренландии и Антарктиды). Синяя линия: линейный тренд в течение периода 1951-2000 гг., зеленая линия: линейный тренд в течение периода 1973-1987 гг., красная линия: линейный тренд в течение периода 1991-2000 гг.

Авторы: И. Гресер, С Бек; метеорологическая служба Германии.

Исследованная поверхность Земли (исключая Гренландию и Антарктиду) составляет только 25 %. Исходя из этого, нелегко предположить как интенсификация глобального водообмена в будущем коснется нас, хотя вышеуказанные формулы и кривая, кажется, дают легкий ответ: больше дождей.



Пример 3: простая модель энергии Земли

Энергия, от которой зависит вся наша система климата и которая создает условия на Земле, достаточные для нашего проживания, приходит от Солнца. Но Земля должна эту энергию возвратить в космос, иначе становилось бы все теплее и теплее. Можно ли выразить этот процесс уравнениями?

Мы полагаем, что Солнце посылает энергию нашей планете почти параллельными лучами. Это Солнечная постоянная L . Она равна количеству энергии поступающему на площадь в один квадратный метр и имеет значение приблизительно 1366 Вт/м^2 . Если бы не было отражения от Земли, одна четверть этой энергии достигала бы каждого квадратного метра атмосферы Земли.

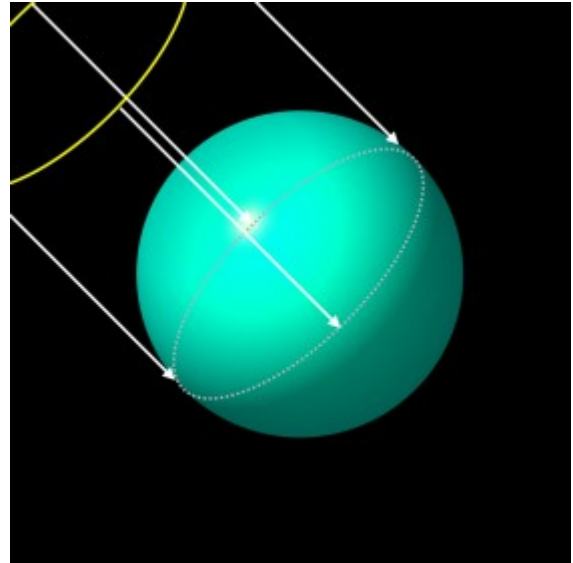
Почему только одна четверть?

Потому что вся вертикально идущая к Земле энергия не охватывает полной ее поверхности, а только поперечное сечение. Известно, что половина Земли всегда находится в тени, а солнечная радиация под низким углом очень слаба. Так как поперечное сечение сферы является одной четвертью ее поверхности, то вся энергия, попадающая на земную поверхность $R = 1/4 L = 342 \text{ Вт/м}^2$.



5. Поверхность Земли, S , выражается поверхностью сферы с радиусом r :

$$S = 4 \pi r^2$$



6. Поверхность Земли, вертикально облученная Солнцем – только поперечное сечение, D , Земли:

$$D = \pi r^2$$

Часть солнечного излучения не принимается земной поверхностью из-за отражения облаками, льдом и снегом. Мы называем эту часть альбедо Земли A , и она находится в диапазоне 30 % от поступающего солнечного излучения. Поэтому, поступающая энергия:

$$E_{in} = (1-A) \pi r^2 S$$

Температура на Земле непрерывно увеличивалась бы, если поступающая энергия не уходила бы снова.

Мы знаем из закона излучения абсолютно чёрного тела Стефана-Больцмана, что доля энергии, теряющейся с уходящим от Земли инфракрасным светом, может быть рассчитана как простая функция температуры:

$$E_{out} = area \sigma T_e^4 = 4 \pi r^2 \sigma T_e^4$$

где: σ – константа Стефана-Больцмана, T_e – температура поверхности Земли.

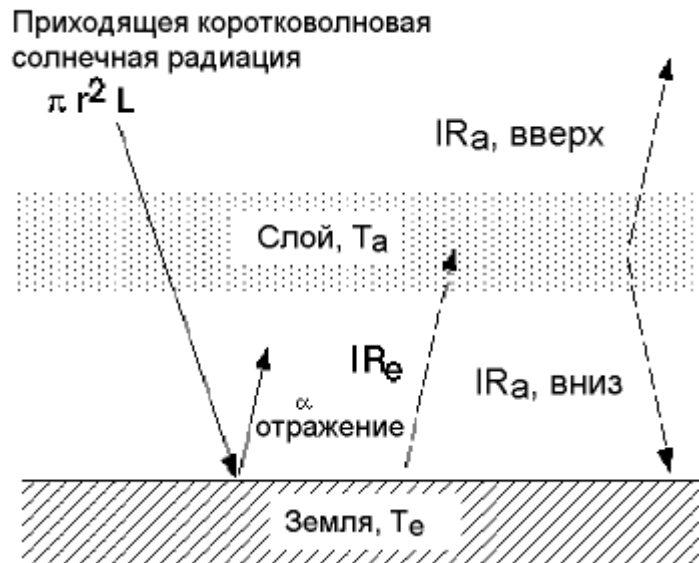
Следовательно, мы можем описать равновесие следующими уравнениями:

$$E_{in} = E_{out}$$

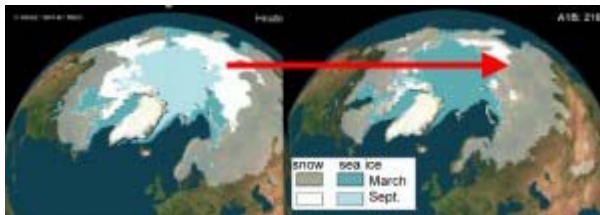
$$\Leftrightarrow (1-A) \pi r^2 L = 4 \pi r^2 \sigma T_e^4$$

$$\Leftrightarrow \frac{(1-A)}{4} L = \sigma T_e^4$$

Это основной энергетический баланс Земли без парниковых газов. Если мы включим в него парниковые газы, фракция инфракрасного излучения, показанная на правой стороне уравнения, возвращается назад, как видно на схеме справа, а температура земной поверхности увеличится. Уравнения становятся более сложными, но вся система может быть описана математически.



7. Упрощенная схема энергетического баланса Земли. Для более детального расчета, пожалуйста, посмотрите сайт Дэвида Аркера из Чикагского университета, откуда эта схема была взята.



Глобальное потепление вызывает таяние льда в полярных областях. Это изменяет отражение солнечного света Землей, часть альбеда A , и поэтому изменяет энергетический баланс нашей планеты.

8. Таяние льдов в Арктике. © MPI Met

Автор: Элмар Ухерек – Институт Химии Макса Планка, Майнц.
 Английская инспекция: Марк Джекоб, TU Фрейберг.