

Кривая армагеддона

А. С. Байгашов,^{*a} И. И. Иванов,^{b‡}

2099.01.01

2099.01.01

В работе проведено исследования изменений параметров биосферы Земли в результате её столкновения с различными космическими телами. Приводятся результаты моделирования различных вариантов столкновений, в которых участвуют гипотетические и реально существующие объекты. Построена зависимость последствий столкновения от массы и скорости объекта.

1 Введение

Возможное столкновение нашей планеты с космическими объектами может нести угрозы для всего живого на Земле. Несмотря на то, что в процессе формирования планеты из протопланетного облака, находившиеся на её орбите малые космические объекты были ею поглощены, вероятность столкновения с космическими телами сохранилась. Конечно, следует учитывать, что размеры объектов Солнечной системы по сравнению с расстояниями между ними крайне малы, и, как следствие, такие столкновения могут происходить крайне редко. Тем не менее, прецеденты уже случались – достаточно вспомнить вымирание динозавров или иные «великие вымирания», одной из причин которых могло быть столкновение Земли с астероидом или кометой.

Следует понимать, что в этом случае вымирание не было моментальным. Сокращение популяции животных происходило постепенно, преимущественно в результате изменений климата, вызванных выбросом в атмосферу огромного количества пыли и пепла при столкновении. Накрывшие всю Землю тучи заслонили Солнце, вызвав глобальные изменения климата, которые и погубили множество животных и растительных форм жизни.

Для изучения этого процесса необходимо, во-первых, определить зависимость покрытия пеплом поверхности Земли от времени, считая, что она обратно пропорциональна времени и площади покрытия. Во-вторых, нужно сформулировать закон изменения температуры в предположении, что она падает обратно пропорционально квадратному корню из времени.

2 Постановка дифференциальной задачи

Исходя из модельных условий, в качестве изменяемой величины возьмем площадь поверхности Земли S , которая покрыта пеплом и с течением времени изменяется по закону:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_{area}}{St} \quad (1)$$

где k_{area} - коэффициент пропорциональности изменения площади размерности m^4 .

Далее определим закон изменения температуры на поверхности Земли со времен. Исходя из условий задачи, он будет иметь вид:

$$\frac{dT}{dt} = -k_{tem}\sqrt{t} \quad (2)$$

где k_{tem} - коэффициент пропорциональности изменения температуры размерности $K \cdot \text{год}^{-3/2}$.

Уравнения (1) и (2) – это дифференциальные уравнения, описывающие изменение условий на Земле. Дополнительно можно модельно определить критические условия, при превышении которых биосфера не может существовать. Положим, что таким условием является снижение средней температуры на поверхности Земли ниже $-5^\circ C$. Это приведёт к тому, что вся планета покроется толстой коркой льда, вследствие чего большая часть жизни на ней прекратится.

3 Начальные условия и численное решение

Для решения поставленных задач необходимо определить с начальными условиями. Поскольку оба дифференциальных уравнения имеют первый порядок, то для их решения необходимо и достаточно определить начальное значение температуры на поверхности Земли, которое составляет $T_0 = 15^\circ C$, а также начальную площадь покрытия пеплом. Будем считать, что она составляет 1/100 от всей площади поверхности Земли, т.е. $S_0 = \frac{S_{Earth}}{100} = \frac{4\pi R_{Earth}^2}{100}$.

^a Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, Россия. E-mail: a.baigashov@gmail.com

^b МАОУ Лицей №999, Калининград, Россия. E-mail: i.ivanov@gmail.com

Далее необходимо определить значения коэффициентов пропорциональности. Чтобы смоделировать относительно реалистичную картину изменения условий, определим несколько коэффициентов для каждого дифференциального уравнения. Распространение пепла по поверхности смоделируем в случаях с коэффициентом $k_{area} = S_{Earth}^2/10; S_{Earth}^2/15; S_{Earth}^2/20$. Изменение температуры смоделируем в случаях с коэффициентом $k_{tem} = 1 \text{ К} \cdot \text{год}^{-3/2}; 2 \text{ К} \cdot \text{год}^{-3/2}; 5 \text{ К} \cdot \text{год}^{-3/2}$.

Значения коэффициентов зависят от многих факторов, которые присущи земной атмосфере (скорости и направлению ветра на разных высотах, влажности и т.п.), поэтому более точное их определение в значительной степени усложняет задачу и выходит за рамки настоящей работы. Более того, начальные условия покрытия пеплом также могут меняться в зависимости от массы астероида и скорости, с которой он врывается в Землю. В силу этого решение имеет качественный характер и допускает значительные модификации. Моделирование поставленной задачи будем проводить при помощи библиотек Scipy, Numpy и Matplotlib языка программирования Python 3 и компилятора Spider.

4 Результаты моделирования

Для определенных выше начальных параметров и коэффициентов, входящих в уравнения, были получены следующие результаты:

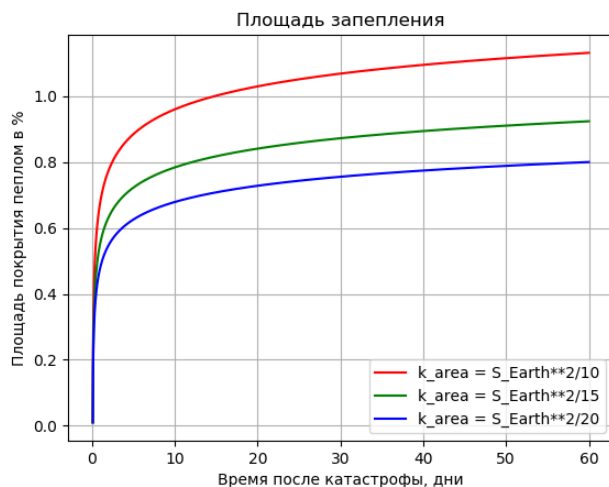


Fig. 1 Кривые, показывающие сколько процентов от полной площади планеты покрыто пеплом. На оси X – время, прошедшее после столкновения с астероидом. Из графиков видно, что незначительное изменение коэффициентов приводит к достаточно сильным изменениям функций покрытия. Для случая $S_{Earth}^2/20$ (синяя кривая) полного покрытия планеты может и не наступить, в связи с чем жизнь на Земле может сохраниться. Зеленая кривая близка к покрытию 80-ти процентов площади планеты, что может привести к глобальному вымиранию. Красная кривая показывает, что полное покрытие пеплом всей поверхности планеты произойдет примерно за 15 дней, и процесс вымирания будет быстрым.

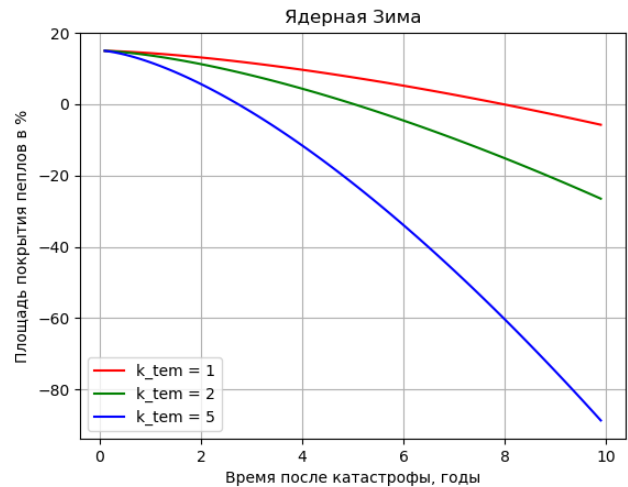


Fig. 2 Кривые показывают изменение температуры за один год. Из графиков видно, что изменение температуры сильно зависит от выбранных коэффициентов. В случае красной кривой охлаждение будет проходить достаточно медленно и может не затронуть многие участки Земли. Зеленая кривая демонстрирует неизбежность сильного падения температуры за пятилетний срок. В случае сочетания параметров, отмеченных синей кривой, последствия будут максимально катастрофичны и наступят за несколько лет

5 Заключение

Проведенные исследования показывают, что столкновение Земли с космическими телами достаточно больших масс всегда приводит к глобальным климатическим изменениям. В то же время, для биосферы Земли такие изменения могут не быть фатальными. В каждом конкретном случае можно провести расчёт для параметров конкретного объекта, с достаточной точностью определив вероятные последствия столкновения с ним.

Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с., ил.

NumPy Reference Release 1.15.1 Written by the NumPy community August 23, 2018

SciPy Reference Guide Release 1.1.0 Written by the SciPy community May 05, 2018

SciPy Reference Guide Release 1.1.0 Written by the SciPy community May 05, 2018