

ТЕРРАФОРМИРУЕМ ВЕНЕРУ?

*«...И на Марсе будут яблони цвести»
(Долматовский Е.А.)*

Среди проектов, связанных с космосом, у мечтателей популярностью пользуется терраформирование планет – преобразование условий на них в подобные земным и пригодные для жизни человека. Правда, реализованы они все пока только в области художественной литературы, а именно в научной фантастике – думаю, что каждый, читающий эти строки, без труда вспомнит хотя бы пару таких произведений. Тем не менее попытки придумать способы сделать пригодными для обитания некоторые планеты Солнечной системы вполне себе обсуждаются и в научном сообществе, несмотря на утопичность самих этих способов (на данный момент развития человечества и его технологий).

Вот и мне захотелось пофантазировать на тему терраформирования Венеры. Что мы имеем по условиям на ней в текущий момент? В Википедии нетрудно отыскать следующую информацию по этой планете:

Средний радиус Венеры R : $6,052 \cdot 10^6$ м;

Ускорение свободного падения на экваторе g : $8,87$ м/с²;

Среднее давление атмосферы у поверхности p : $9,3 \cdot 10^6$ Па;

Средняя температура у поверхности, T : 464 °С (737 К);

Основные компоненты атмосферы: углекислый газ CO_2 – 96,5%, азот N_2 – 3,5% [1].

Легко видеть, что, пожалуй, главной причиной дискомфорта пребывания человека на Венере будет её атмосфера, состоящая почти целиком из углекислого газа, создающая у поверхности огромное давление и мощный парниковый эффект, из-за которого и температура у той же поверхности просто адская. Первое, что хочется сделать с углекислотой – как-то химически её связать и в этом случае лично мне наиболее подходящим на эту роль реагентом представляется оксид кальция, который способен реагировать с CO_2 с образованием карбоната:

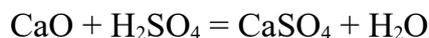


Теперь сделаем следующее допущение: в будущем человечество стало настолько крутым, что может себе позволить такую роскошь, как длительную массивованную бомбёжку Венеры кусками оксида кальция (ну, например, в промышленных масштабах люди ловят мелкие каменные астероиды, расщепляют их материал до атомов и выбирают из них кальций с кислородом, после чего штампуют кирпичи из CaO) вплоть до полного поглощения углекислого газа из венерианской атмосферы.

Чем такой способ связывания CO_2 был бы хорош?

Во-первых, хотя приведённая выше реакция и обратима, но поскольку она идёт с уменьшением объёма (CO_2 поглощается), то в соответствии с принципом Ле Шателье высокое давление атмосферы будет прекрасно способствовать смещению равновесия вправо (то есть в сторону образования карбоната кальция). Реакция, конечно, ещё и экзотермична (идёт с выделением тепла), однако стоит помнить, что обратная реакция (разложение карбоната кальция) проводится на Земле при промышленном обжиге известняка (получении негашёной извести), а для этого требуется температура выше 900 °С, что ниже средней температуры на поверхности Венеры. Также не стоит забывать, что обжиг успешно проходит ещё и по другой причине – образующийся углекислый газ удаляется из зоны реакции, которая проводится в специальных печах, то есть условия обжига известняка специально создаются сильно неравновесными.

Во-вторых, использование CaO с засыпкой его прямо с орбиты также позволяет решить проблему с ещё одной «милой» чертой Венеры – облаками из концентрированной серной кислоты H_2SO_4 , поскольку оксид кальция будет реагировать и с ней, нейтрализуя её:



В-третьих, Венера находится ближе к Солнцу, чем Земля, поэтому имеет смысл позаботиться и о сохранении высокого альbedo планеты (степени её белизны, позволяющей значительную долю света отражать обратно в космос, а не нагреваться за счёт этого). Сейчас альbedo Венеры обеспечивается всё теми же облаками из серной кислоты, но вместо них аналогично могут работать и карбонат, и сульфат кальция (CaSO_4), которые в мелкораздробленном виде имеют белый цвет.

Ну а теперь пора попробовать получить кое-какие конкретные числа касающиеся рассматриваемого способа преобразования планеты. Массу атмосферы Венеры можно вычислить по формуле из книги Бялко А.В. «Наша планета – Земля» [2, с. 107], где приведён и её вывод:

$$m_{\text{атм.}} = \frac{4 \pi p R^2}{g} \quad (2)$$

Подставляем данные и получаем:

$$m_{\text{атм.}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 9,3 \cdot 10^6 \cdot (6,052 \cdot 10^6)^2 / 8,87 = 4,82 \cdot 10^{20} \text{ кг.}$$

Теперь вычислим массу углекислого газа с учётом его концентрации в атмосфере:

$$m(\text{CO}_2) = 4,82 \cdot 10^{20} \cdot 0,965 = 4,65 \cdot 10^{20} \text{ кг}$$

В соответствии с уравнением реакции (1) при взаимодействии 1 моль оксида кальция с 1 моль углекислого газа образуется 1 моль карбоната кальция. С учётом молярных масс данных веществ (0,056 кг/моль, 0,044 кг/моль и 0,1 кг/моль соответственно) можно сказать, что 0,56 кг CaO при взаимодействии с 0,44 кг CO₂ дают 1 кг CaCO₃. Если составить две простенькие пропорции, то из них можно получить такие значения:

1. Масса требуемого оксида кальция составит величину

$$m(\text{CaO}) = 0,56 / 0,44 \cdot 4,65 \cdot 10^{20} = 5,92 \cdot 10^{20} \text{ кг;}$$

2. При этом образуется карбонат кальция в количестве равном

$$m(\text{CaCO}_3) = 1 / 0,44 \cdot 4,65 \cdot 10^{20} = 1,06 \cdot 10^{21} \text{ кг.}$$

По первому числу можно сказать следующее. Если весь необходимый CaO «слепить» в сферу, то с учётом плотности оксида кальция, равной $\rho(\text{CaO}) = 3370 \text{ кг/м}^3$ [31], её диаметр должен будет составить:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m(\text{CaO})}{\pi \cdot \rho(\text{CaO})}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 5,92 \cdot 10^{20}}{3,14 \cdot 3370}} \approx 700 \text{ км}$$

Образовавшийся при взаимодействии с венерианским воздухом карбонат кальция должен будет осесть на поверхность планеты. Если предположить, что он будет представлен в виде минерала кальцита, имеющего плотность $\rho(\text{CaCO}_3) = 2720 \text{ кг/м}^3$ [4, с. 297], и распределится по поверхности ровным плотным (нерыхлым) слоем, то толщина последнего составит величину:

$$h = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{\rho(\text{CaCO}_3) \cdot 4 \pi R^2} = \frac{1,06 \cdot 10^{21}}{2720 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (6,052 \cdot 10^6)^2} \approx 850 \text{ м}$$

Последнее вычисление сделано без учёта кривизны поверхности Венеры – дело в том, что если учесть и это (то есть высчитывать толщину шарового слоя заданного объёма), то результат получается не превышающим точности вычислений и исходных данных, но сами расчёты будут немного сложнее.

Прикинем ещё величину атмосферного давления у поверхности после удаления CO₂ из атмосферы, для чего вычислим массу оставшегося в ней азота

$$m(\text{N}_2) = 4,82 \cdot 10^{20} \cdot 0,035 = 1,69 \cdot 10^{19} \text{ кг}$$

и снова воспользуемся формулой (2), выразив из неё p :

$$p = \frac{m(\text{N}_2) \cdot g}{4 \pi R^2} = \frac{1,69 \cdot 10^{19} \cdot 8,87}{4 \cdot 3,14 \cdot (6,052 \cdot 10^6)^2} = 3,26 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 3,2 \text{ атм.}$$

Вот теперь стоит подвести несколько неутешительные итоги выполненных математических упражнений.

Во-первых, количество необходимого оксида кальция для связывания углекислого газа таково, что потребуется его «кусочек» размером, превышающим размеры Паллады или Весты – одних из самых крупных астероидов в Солнечной системе ^[5].

Во-вторых, поверхность планеты окажется укрыта почти километровым слоем «побелки» (мел с химической точки зрения тоже представляет собой карбонат кальция). Туда же осядет и сульфат кальция (скорее всего в виде частиц минерала ангидрита), образовавшийся из венерианских облаков. Кстати, на этот процесс потребуются дополнительные количества СаО, которые в данной заметке не рассматриваются.

В-третьих, даже в случае успешного удаления из атмосферы всего углекислого газа, давление венерианского воздуха всё равно будет довольно высоким – примерно как если нырнуть под воду на глубину 20-30 метров.

В общем, при взгляде на получившиеся результаты складывается ощущение, что засыпать планету оксидом кальция может и здорово, но проще и результативнее будет изобрести какие-нибудь нуль-порталы, как у Дэна Симмонса в тетралогии «Песни Гипериона» и разместить один такой портал на Венере, а второй – в открытом космосе на околосолнечной орбите (ну или на Марсе), после чего включить их, чтобы стравить тем самым через них лишнюю атмосферу.

Ссылки:

[1]. Статья «Венера» // RU.WIKIPEDIA.ORG: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Венера> (дата обращения: 21.05.2020)

[2]. Бялко А.В. Наша планета – Земля. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 208 с. (Библиотечка «Квант», Вып. 29)

[3]. Статья «Оксид кальция» // RU.WIKIPEDIA.ORG: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_кальция (дата обращения: 21.05.2020)

[4]. Химическая энциклопедия. В 5 т.: т. 2: Даффа – Меди / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – 671 с.

[5]. Статья «Список объектов Солнечной системы по размеру» // RU.WIKIPEDIA.ORG: Википедия. Свободная энциклопедия. URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_объектов_Солнечной_системы_по_размеру (дата обращения: 21.05.2020)

© Широков Александр, 21.05.2020