

# «СТРОЙКА» КОСМИЧЕСКИХ МАСШТАБОВ: ТЕРРАФОРМИРОВАНИЕ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И КОЛОНИЗАЦИЯ ПЛАНЕТ



Луна. Фото: NASA

*«Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство». Так говорил великий ученый Константин Эдуардович Циолковский. В этой фразе надежда на будущее наук и современной космонавтики, надежда на человека, который станет первым марсианином или венерианцем. Сможет ли человечество однажды жить на других планетах и чего нам будет это стоить?»*

Первые разумные предки человека не могли оставаться на одном месте долгое время. В поисках пищи они исследовали ближайшие территории. С изобретением примитивных плотов и лодок люди по воде отправлялись в поисках неизвестных земель. С изобретением телескопов люди смогли лучше рассмотреть звезды и планеты. С изобретением космических ракет человечество не просто стало изучать дальние просторы Солнечной системы, но и ступило на поверхность Луны. Нам всегда было мало видимых горизонтов. Что-то внутри человека заставляло отправляться на поиски нового. Что это? Любопытство, инстинкты, страсть к знаниям? Можно сказать, все вместе.

Сегодня с развитием технологий нас греет надежда, что скоро мы вновь сможем расширить границы нашего обитания в глобальном масштабе. Как отважные мо-

реплователи делали шаг по новой земле, современное человечество мечтает сделать этот шаг в космосе. Любопытство, страсть к знаниям и, самое главное, инстинкты заставляют нас задуматься о космических горизонтах, которые необходимо покорить, о планетах, которые можно освоить, о новых землях, на которых однажды можно сделать первый шаг. Однако не все так просто.

Планеты Солнечной системы — это миры, кардинально отличающиеся от привычного мира на Земле. Кажется несбыточной мечта человека, жить, скажем, на Луне или на Марсе. Конечно, колонизация и освоение планеты — это не переезд в новую квартиру. Скорее, это долгое строительство дома, чтобы в итоге там могли жить наши внуки. Теоретики освоения новых планет называют такое строительство терраформированием и возлагают на него большие надежды. Тераформирование — это не просто



Земля. Фото: NASA

процесс создания новой среды обитания человечества, это изменение и улучшение существующих условий для возможного заселения. Основа такого процесса — условия, сохраняющие жизнь на Земле.

Сегодня на основе полученных данных можно с уверенностью сказать, что планетами, категорически непригодными к терраформированию, являются Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Газовые планеты-гиганты не имеют твердой поверхности, но обладают высоким радиационным фоном и сверхвысокой гравитацией. Эти и другие параметры невозможно изменить. Но есть определенные условия, при которых терраформирование более пригодных планет может быть реализовано.

В Солнечной системе, в зависимости от типа звезды, существует условная область — зона обитаемости, где параметры планет будут схожи с параметрами на Земле, а также сможет обеспечиваться существование воды в жидком состоянии. Такие планеты или их спутники будут благоприятны для возможного возникновения среды, похожей на земную.

В англоязычной литературе обитаемую зону называют зоной Златовласки (Goldilocks Zone). Название представляет собой отсылку к английской сказке Goldilocks and the Three Bears, на русском языке известной под названием «Три медведя». В сказке девочка, попавшая в дом трех медведей, пытается воспользоваться несколькими наборами из трех однородных предметов, в каждом из которых один из предметов оказывается по какому-либо параметру избыточным, другой — недостаточным, а третий, промежуточный между ними предмет приходится «в самый раз». Чтобы оказаться в зоне обитаемости, или в зоне Златовласки, планета не должна находиться слишком далеко или слишком близко к звезде. Именно благодаря тому, что Земля имеет «правильное» удаление от Солнца, жизнь на планете существует и даже пытается найти новый дом.

Очевидно, что если Земля обладает подходящими параметрами для зоны обитаемости, необходимо рассматривать ближайших соседей, так называемые планеты земной группы. Наиболее подходящими «кандидатами» являются Марс, в меньшей степени — Венера и Луна. Остальные планеты и спутники либо совершенно непригодны к терраформированию, либо терраформирование связано с глобальными трудностями преобразования атмосферы и климатических условий. В целом пригодность планеты определяется набором физических условий.

**Сила тяжести.** Гравитация — важнейшее условие для терраформирования. Гравитация планеты должна быть достаточной для удержания нужной атмосферы с необходимым газовым составом и влажностью. Атмосфера на планете с небольшой массой и, соответственно, с низкой гравитацией практически непригодна к терраформированию, поскольку будет происходить значительная «утечка» атмосферы в космическое пространство.

**Уровень солнечной энергии.** Освещенность планеты Солнцем должна быть достаточной при условиях искусственного парникового эффекта, чтобы поддерживать нужную температуру на поверхности и сохранять воду в жидком состоянии.

**Вода.** Это необходимый растворитель во многих биохимических реакциях, который важен для поддержания заселения планеты микроорганизмами и растениями, и, соответственно, успешного терраформирования планеты. Научные данные свидетельствуют о том, что в Солнечной системе достаточно миров, располагающих

значительным количеством воды. Кроме Земли, **воду можно найти** на Марсе (в форме льда в полярных широтах), на спутниках Юпитера — Европе, Ганимеди, Каллисто, на спутнике Сатурна — Титане, предположительно, на Луне под слоем лунного грунта, а также в составе астероидов и комет.

Казалось бы, не так уж много условий для возможного освоения планеты и изменения ее климатических условий. Но это лишь ключевые параметры, необходимые для попыток терраформирования. Каждая планета — это набор индивидуальных условий. Это и химический состав, физические характеристики — наклон оси, сторона и угол вращения, магнитные поля, работа внутреннего ядра, взаимодействие с движением и силой гравитации других планет. Данные показатели необходимо учитывать, чтобы для каждой планеты выработать индивидуальный план по освоению и терраформированию. Только при правильном распределении ресурсов возможен успех в освоении планет. Наиболее перспективной и изученной планетой является Марс.

## МАРС

Красная планета, названная в честь бога войны, — первый кандидат для колонизации и возможного терраформирования. Иронично, что холодная планета пустынь и песчаных бурь, названная суровым именем, может стать нашим вторым домом. Однако ученые с высокой долей уверенности говорят о терраформировании и колонизации Марса.

Марс всегда притягивал умы и взгляды людей. Было в нем что-то родное, что-то похожее на Землю, что-то, что дарило надежду, скрытую за красным неприветливым ландшафтом.

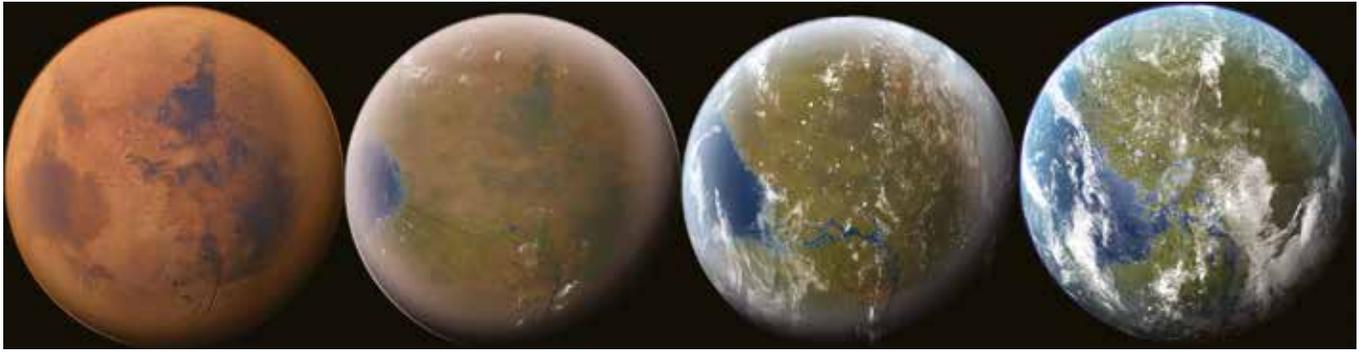
Площадь поверхности Марса около 144 млн км<sup>2</sup> (28 % поверхности Земли), а гравитация в три раза меньше земной. Атмосфера преимущественно состоит из углекислого газа, а уровень солнечной энергии, принимаемой Марсом, составляет 43 % от земного. Но самое главное — то, что на Марсе, согласно многочисленным научным данным, есть вода.

На Марсе найдено значительное количество воды, а также диоксида углерода в полярных зонах. Диоксид углерода — парниковый газ, необходимый для прогрева планеты, но при низких температурах газ принимает форму льда. Если воздействовать на полярные шапки Марса, можно высвободить и воду, и парниковый газ, который значительно повлияет на климат.

Еще одним парниковым газом, способным прогреть планету, является аммиак. Даже небольшое количество



Марс. Фото: National Geographic



Терраформирование Марса



Кратер на Марсе. Фото: NASA



Освоение Марса глазами 3D-художника. Источник: NASA

этого вещества в атмосфере может поднять среднюю температуру выше точки замерзания воды. Это можно сделать, если использовать микроорганизмы, которые синтезируют аммиак из азота на Земле.

С развитием космических технологий, в особенности мощных ракетных двигателей, станет возможной доставка ракет и тяжелых грузов к поверхности Марса. Тогда одним из доступных материалов для терраформирования станут астероиды из водно-аммиачного льда, которые могут наполнить атмосферу, а вскоре и гидросферу Марса азотом, кислородом и водой. При точном расчете можно контролировать движение астероида или кометы в сторону орбиты Марса, а затем медленно направлять его к поверхности. Большая часть астероида будет сгорать в атмосфере и выделять водяной пар. Таким образом, удастся свести к минимуму поверхностные повреждения, но максимизировать доставку нужных веществ для обогащения атмосферы Марса.

При разумном использовании парниковых эффектов углекислого газа и аммиака можно будет подвести температуру поверхности Марса ближе к точке замерзания воды и приступить к следующим этапам терраформирования. Температура будет расти благодаря давлению водяного пара в атмосфере, генетически модифицированные микроорганизмы и растения начнут выделять кислород, а поверхность планеты станет медленно видоизменяться по составу и свойствам.

## ВЕНЕРА

Утренняя звезда Венера за свой красивый блеск на фоне зари получила имя богини красоты. Ранние исследования Венеры показали, что планета очень схожа по размеру и массе с нашей родной планетой Землей. Часто Венеру называли «сестрой Земли». Первые теории о наличии жизни на Венере описывали океаны воды, обширные леса и живых существ. Дальнейшие наблюдения показали, что на Венере присутствуют плотные облака из серной кислоты. Космические аппараты Маринер-2 и Венера-7, собравшие научные данные, окончательно развеяли все мечты и теории о возможной жизни на поверхности Венеры.

Планета безжизненна, температура на поверхности 462 °C, облака состоят из серной кислоты, а давление на поверхности в 92 раза больше, чем на Земле. Это сравнимо с давлением на глубине в 900 метров. Стандартная гипотеза об истории Венеры предполагает, что в ранней Солнечной системе Венера была более пригодной для жизни планетой, с температурой поверхности, достаточно низкой, чтобы на планете присутствовали океаны жидкой воды.

Поскольку яркость Солнца увеличилась, количество водяного пара в атмосфере Венеры также увеличилось. В конечном итоге кульминацией стал парниковый эффект, в котором океаны постепенно закипали, а температура поверхности увеличивалась до такой степени, что карбонатные породы разлагались, возвращая содержание углекислого газа в атмосферу, приводя к стабильному равновесию высокой температуры.

Тем не менее Венера — второй возможный кандидат для терраформирования. Масса планеты практически совпадает с массой Земли, соответственно, сила тяжести близка к земной. Числа эти очень большие и измеряются в секстиллионах тонн. Но для наглядности можно отметить, что 1 земной килограмм на Венере будет равен 815 граммам.

Но, определенно, основная проблема терраформирования Венеры — мощный парниковый эффект. Если снизить количество углекислого газа, климат на планете может стать более мягким и влажным. Первые идеи терраформирования Венеры описывал американский



Венера. Фото: NASA

астроном Карл Саган в статье в Science в 1961 г. Саган предложил ввести фотосинтезирующие бактерии в атмосферу Венеры, которые бы переработали углекислый газ в восстановленный углерод, преобразуя атмосферу. Но в 1961 г. знания об атмосфере Венеры были неточными, и Саган уже в 1991 г. признал, что его первоначальная идея не будет работать, поскольку атмосфера планеты намного плотнее, чем было известно в 1961 г.

За более чем 55 лет после первоначальной концепции Сагана предлагались разные варианты терраформирования Венеры. Все они предполагают «удаление» 99 % атмосферы. Среди возможных способов — контролируемые химические реакции, секвестрация атмосферы или физическое воздействие. Джеффри Лэндис из исследовательского центра НАСА описывал возможные химические реакции для преобразования атмосферы Венеры. По одной из версий, можно разделить углекислый газ на углерод и кислород. Затем отделить углерод в виде графита или «угля», а кислород использовать для реакций окисления поверхностных пород Венеры, что уменьшит содержание углекислого газа в атмосфере. Такой метод называется секвестрацией и применяется на Земле для сокращения парникового эффекта. Углекислый газ отделяют от остальных продуктов сгорания (примерно так же, как на фильтрах современных электростанций из дыма выделяют загрязнения типа сажи или двуокиси серы), а затем закладывают вещество глубоко под землей или океаном. Однако такой способ очень затратный даже на Земле, не говоря уже о Венере.

Среди других возможных процессов выведения углекислого газа из атмосферы Венеры — бомбардировка поверхности водно-аммиачными астероидами. Это поможет доставить на Венеру воду, а также приведет к остыванию планеты. Процесс этот будет долгим, так как породы на Венере очень теплостойкие. Но в конечном итоге атмосфера станет менее плотной. Также бомбардировка Венеры астероидами рассматривается как возможность «раскрутить» Венеру вокруг своей оси, сократив тем самым слишком длинные венерианские сутки — 243 земных дня. Это также повлияет на температуру Венеры, которая принимает слишком много тепла от Солнца.

Помимо применения чисто химических и физических условий терраформирования, необходима работа над инженерными и космическими сооружениями. Заманчиво выглядит технология солнечного экрана между Солнцем и Венерой. При уменьшении подачи солнечной энергии планета постепенно будет охлаждаться, а углекислый газ в атмосфере — конденсироваться в жидкость, а после замораживаться в виде сухого льда.

Терраформирование Венеры — не менее сложная задача, чем терраформирование Марса. Однако характеристики планеты, схожие с земными, дают возможность надеяться, что при изменении атмосферы Венера способна поддерживать жизнь в течение сотен миллионов лет. При правильном процессе терраформирования на Венере могут появиться значительные океанские площади и огромные материки суши. При достаточном объеме информации и большом количестве энергоносителей это вполне реально.

## ЛУНА

Луна, естественный спутник Земли, — также один из возможных кандидатов для терраформирования. Однажды человечеству уже удалось ступить на поверхность Луны, изучить грунт и состав газовой оболочки, что позволило в дальнейшем сделать выводы о возможностях колонизации. Луна — самое близкое к Земле крупное небесное тело, поэтому возможности для ее терраформирования достаточно велики. Искусственно созданную атмосферу Луна удержать способна, но из-за невысокой гравитации такая атмосфера будет достаточно быстро рассеиваться в космосе. При постоянном пополнении атмосферы, в частности с помощью астероидов, можно сохранить ее на длительное время.

Ключевым вопросом при терраформировании с помощью бомбардировки астероидами является вопрос безопасности. Так как процесс будет происходить в непосредственной близости к Земле, важно, чтобы проведение таких ударов происходило только после точных математических и физических расчетов. Очевидно, что астероиды, нужные для терраформирования Луны, должны быть небольшими (не более сотни метров в поперечнике). Но и здесь встает вопрос о безопасности такого влияния на спутник Земли. Два объекта очень взаимозависимы. Луна, ее гравитационное поле воздействует на земную биосферу и вызывает изменения в магнитном поле Земли. Движение Луны влияет на приливы и отливы, давление воздуха, действие ветра и уровня воды. Поэтому единственным безопасным способом освоения Луны является построение



Лунное поселение. 3D-рисунок Rick Guidice. Источник: NASA

изолированных купольных модулей, где будут созданы искусственные условия для жизни человека.

## СПУТНИКИ ЮПИТЕРА И САТУРНА

Чем дальше от зоны обитаемости, тем меньше возможностей для терраформирования планет, но выше вероятность получения ресурсов. В этом смысле пристальное внимание направлено на спутники планет-гигантов — Юпитера и Сатурна.

Можно заметить, что система спутников Юпитера представляет собой солнечную систему в миниатюре. Однако Ганимед, Европа, Ио и Каллисто — безжизненные холодные планеты, возможностей для терраформирования здесь практически нет. При изучении Ганимеда стало ясно, что поверхность спутника — это огромные запасы водного льда. Существуют теории, что под его поверхностью находятся целые океаны воды, но убедиться в этом пока невозможно. Дальнейшее изучение спутника позволит в будущем понять, насколько велики шансы для его терраформирования или получения водных ресурсов для других планет-кандидатов.

Европа — космический океан. Значительные запасы жидкой воды под поверхностью вроде бы указывают на хорошие перспективы терраформирования. Но есть ряд параметров, из-за которых это мало возможно. Так, например, Европа находится в мощном радиационном поясе вокруг Юпитера. Развитие современных технологий пока недостаточно, чтобы разработать специальное оборудование, защищающее от радиации. Может быть, дальнейшие исследования Европы позволят использовать кислород и водород в составе атмосферы и поверхности для поставки на другие планеты.

Каллисто — вероятный кандидат на терраформирование, ведь, в отличие от Европы, спутник находится вне радиационного фона Юпитера. Каллисто обладает



Астероиды. Фото: Flickr



Спутники Юпитера Ио, Европа, Каллисто, Ганимед. Фото: NASA



Титан. Фото: NASA

огромными запасами воды в виде льда и высокой гравитацией, способной удерживать атмосферу. По некоторым данным, атмосфера на Каллисто есть, но она разреженная и состоит из углекислого газа. Так как Каллисто малоизученна, вопросы о терраформировании пока остаются открытыми, но вполне вероятными.

Спутник Сатурна Титан также представляет интерес. Однако перспективы терраформирования минимальны. В немалой степени этому способствуют его удаленность от Солнца и, как следствие, его холодная поверхность. Исследование Титана показало наличие значительного количества углеводородов. Моря и озера, состоящие в основном из жидкого метана, — это огромное богатство Титана. Поскольку ускорение свободного падения, а соответственно, и вторая космическая скорость здесь невелики, то добыча углеводородов — вполне выполнимая задача. Усиленная добыча сырья позволит снизить объем углеводородов в атмосфере и поспособствует прогреву планеты. Вскоре после удачной колонизации Марса, Венеры и Луны Титан тоже может стать планетой не просто для получения сырья, но и в перспективе — планетой для терраформирования.

Теоретики терраформирования из разных стран убеждены, что сейчас самое время задуматься об освоении других планет. Марсианское общество, или Mars Society, — крупнейшая в мире космическая организация, занимающаяся изуче-

нием возможностей для освоения красной планеты. Созданное доктором Робертом Зубриным в 1998 г. общество работает над просвещением человечества, СМИ и правительства о преимуществах изучения Марса и постоянного присутствия людей на Марсе.

Исследовательский центр Эймса — одна из основных научных лабораторий НАСА — является создателем проекта Hundred-Year Starship («Столетний космический корабль») для подготовки пилотируемого полета и создания колоний.

Процессы, происходящие в нашей Солнечной системе, заставляют искать пути для переселения человека и более серьезного изучения космоса. Среди нас живут мечтатели — ученые и теоретики, космонавты и астронавты, чей пример вдохновляет. Проекты Mars One от компании Space X, совместные проекты «Роскосмоса» и Европейского космического агентства EXOMARS и «Венера-Д», проекты «Роскосмоса» «Луна-Глоб» и другие запланированные программы способны приблизить человечество к возможностям освоения планет нашей Солнечной системы. Путь будет нелегким, затраты на ресурсы невероятно высокими. Но человечество привыкло расширять свои границы.