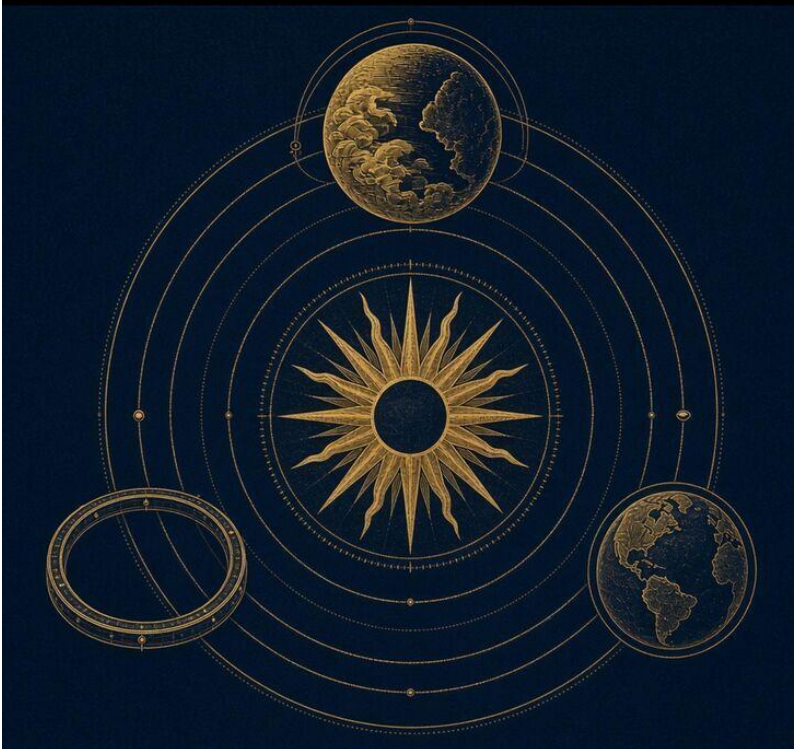
12+

Алексей Дмитриевич Часов

Освоение миров



Алексей Часов

Освоение миров

https://litres.ru/74985979
ISBN 9785007142601

Аннотация

Мало добраться до другой планеты. Нужно сделать её пригодной для жизни.

В книге — принципы терраформирования: атмосфера, климат, поверхность, экосистемы. Особое место занимает авторская концепция «Колесо Солнечной системы» — сеть станций для перевозки грузов между планетами и поясом астероидов без постоянных тяжёлых запусков с поверхности.

Практический взгляд на инфраструктуру освоения ближайшего космоса.

Содержание

Введение 5
Глава 1. Терраформирование 8
Параграф 1. Первый и второй дни творения 12
Параграф 2. Третий день творения 45
Параграф 3. Четвёртый день творения 51
Конец ознакомительного фрагмента. 78

Освоение миров

Алексей Дмитриевич Часов

Из цикла «Астра — справочник фантазёра»

© Алексей Дмитриевич Часов, 2026

ISBN 978-5-0071-4260-1
Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Введение

Книга рассказывает о том, как сделать из чужой, не пригодной для жизни человека планеты, мир, приспособленный для долгого существования его в нем. И не просто на день или месяц, а на долгий срок, для возможности в нем дышать, ходить, бегать вконец концов, а не ходить в скафандре по поверхности и жить в закрытом от атмосферы модуле. Хотя стоит упоминать, что существует и другой путь, и это изменить самого человека, приспособить его к среде планеты, но эта книга не о нём.

Вспомните, когда говорят о жизни на других планетах, о чём обычно идёт речь? Почти всегда рассуждают об одном и том же: ближайшей мир, где попроще совершить посадку на поверхность, и постройка маленькой базы. Как будто других вариантов не бывает, а они есть. В Солнечной системе хватает тел, которые по размеру и массе не уступают Земле, только воздух там другой, в нем человеку не выжить, ни по давлению, ни по температуре, ни по составу. Если не разделять эти миры по отдельным проектам по терраформированию, разговор постепенно смещается к расписанию ближайших миссий, инженерный анализ подменяется планами того, что и так уже решено. Эта книга и начинается с того, что заранее выносит их в отдельную категорию.

Главный пример таких тел — Венера. Не потому, что это

«трудная цель», а потому, что по сочетанию параметров это самая сложная инженерная задача в Солнечной системе. И так, если рассматривать ее радиус, массу и силу тяжести, то эта планета почти такая же как Земля, при этом она способна удерживать плотную атмосферу. Поверхность и воздух Венеры устроены совершенно иначе, чем на Земле: у поверхности около +464° С, давление в 93 раза выше земного, атмосфера почти целиком из углекислого газа, свободной воды практически нет. В системе расположены Марс, Луна, Меркурий и крупные ледяные спутники, эти миры являются точками сравнения в терраформировании. На них видны ограничения другого рода: тонкая атмосфера, вакуум, нехватка тепла, удалённость от Солнца. Венера нужна, чтобы более резко выявить ограничения и различия, а соседи, чтобы не принять локальную трудность за общую для всех миров.

О чём эта книга? Во-первых, в ней приведены размышления о том, что нужно сделать с планетой, чтобы на ней можно было жить долго и под открытым небом, исследуется тепловой баланс планеты, состав и масса атмосферы, источник воды, биосферный контур, удержание полученного состояния, включая защиту от солнечного ветра. Во-вторых, рассматривается вопрос как всё это туда доставить, потому что без возможности доставки провизии, любая похожая затея остаётся разговором. В основном тексте последовательность работ сопоставлена с порядком дней книги Бытия: свет и тепловой режим, разделение сред, вода и суша, появление

жизни, закрепление достигнутого. Это готовая сетка этапов, которая различает качественно разные шаги. Книга не выдаёт чертежей, не расписывает стройку по годам и не решает за человечество, что пришло время начинать.

И ещё одно, важное уточнение. Изменение среды и системная логистика — это разные вещи, и их не надо смешивать. Терраформирование планеты — это перемещение вещества и затраты энергии, разовыми пусками с Земли такой объём не закрыть, постройка заводов на планете может заблокироваться политическими, социальными или экономическими причинами. Поэтому у книги есть и вторая часть, которая повествует о системе регулярных грузовых каналов внутри Солнечной системы. Это решение для любой многолетней планетарной и логистической программы. Как именно устроена эта сеть, где её узлы и с чего начинать, все во второй главе.

В книге использованы открытые данные планетологии и инженерные оценки по состоянию на середину 2020-х годов. И последнее, книга не утверждает, что выбранный пример — это единственно разумная цель для человечества. Все значительно более масштабно и жёстче, когда речь идёт о превращении негостеприимного тела земной массы в среду для долгой жизни.

Глава 1. Терраформирование

В данной главе предложен проект терраформирования Венеры на основании Книги Бытия.

Вдохновляясь древним повествованием о сотворении порядка из хаоса, человечество обращает свой взор на ближайшую, но крайне негостеприимную соседку — Венеру. Идея её терраформирования, превращения из раскалённого ядовитого мира в планету, пригодную для жизни, стала дерзким космическим аналогом библейского акта творения. Этот проект — не только техническая задача, но и масштабная философская и инженерная попытка буквально переписать судьбу целого мира, следуя вдохновляющему, но метафорическому «мануалу» из глубин человеческой культуры. Вызов заключается в преодолении чудовищно враждебных условий, делающих Венеру воплощением планетарного ада.

Учёные и мечтатели второй половины XX века и начала XXI века предложили этапы этого «космического творения», переводя поэтические образы в язык физики и инженерии. Эти стратегии, подобно библейским дням творения, включали фундаментальные шаги: «отделение света» (охлаждение планеты), «создание тверди и вод» (стабилизация поверхности и доставка воды) и, наконец, «заселение жизнью» (формирование биосферы). Каждый этап породил смелые концепции — от гигантских орбитальных конструкций

до масштабных манипуляций с небесными телами, — представляющие сложнейшие инженерные решения, призванные переломить векторы планетарной эволюции.

Однако мечта о Венерианском Эдеме упирается в суровую реальность космических масштабов. Проект терраформирования Венеры предстаёт как предприятие, требующее ресурсов, энергии и времени, не имеющих прецедентов в человеческой истории. Сложность технологий для управления глобальными планетарными системами кажется почти непреодолимой. Ресурсоёмкость и энергоёмкость необходимых процессов измеряются в масштабах, сопоставимых с мощностью звёзд и массой малых планет. И самое главное — время. Сроки, требуемые для реализации даже первых этапов, исчисляются веками или даже геологическими эпохами, ставя под вопрос саму осуществимость проекта в рамках обозримого будущего человечества. Эта глава исследует не только «как», но и «во что обойдётся» попытка сотворить новый мир по собственному замыслу.

Терраформирование (формирование Земли) — это гипотетический процесс преднамеренного изменения атмосферы, температуры, топографии поверхности или экологии планеты, Луны или другого тела, чтобы оно стало похоже на окружающую среду Земли и пригодным для жизни людей.

Концепция терраформирования возникла как в научной фантастике, так и в реальной науке. Карл Саган, астроном, предложил планетарную инженерию Венеры в 1961 году,

что считается одним из первых серьёзных описаний этой идеи. Термин ввёл Джек Уильямсон в научно-фантастическом рассказе «Орбита столкновения», опубликованном в 1942 году в журнале Astounding Science Fiction.

Даже если окружающую среду планеты удастся изменить намеренно, возможность создания полностью земной планетарной среды на другом небесном теле ещё предстоит проверить. Хотя Венера, Земля, Марс и даже Луна изучены в связи с этой задачей, Марс обычно считается наиболее вероятным кандидатом на терраформирование. Проведено множество исследований возможности нагрева планеты и изменения её атмосферы, а НАСА неоднократно проводило дебаты на эту тему. Несколько потенциальных методов терраформирования Марса могут находиться в пределах технологических возможностей человечества, однако, по словам Мартина Бича, экономический подход, отдающий предпочтение краткосрочной прибыли перед долгосрочными инвестициями, вряд ли поддержит подобный проект.

Длительные сроки и практичность терраформирования остаются предметом острых дискуссий. По мере развития темы исследования расширились на другие направления, включая биологическое терраформирование, паратерраформирование и модификацию людей для лучшей адаптации к условиям планет и лун. Тем не менее, по-прежнему остаются открытые вопросы в областях этики, логистики, экономики, политики и методологии изменения окружающей среды вне-

земного мира, что создаёт серьёзные препятствия для реализации концепции.

Инструкция по терраформированию была у человечества уже многие тысячелетия и описана во многих священных текстах.

Рассмотрим совмещение современной науки и религиозными текстами Христианства на примере Библии.

Параграф 1. Первый и второй дни творения

В книге используются гравюры Юлиуса Шнорра фон Карольсфельда из серии «Библия в картинках», 1860 год.

Первый день творения. Бытие 1:1—5

> В начале сотворил Бог небо и землю. Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною, и Дух Божий носился над водою. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет. И увидел Бог свет, что он хорош, и отделил Бог тьму. И назвал Бог свет днём, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один.»

Второй день творения. Бытие 1:6—10

> И сказал Бог: да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды. [И стало так.] И создал Бог твердь, и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так. И назвал Бог твердь небом. [И увидел Бог, что это хорошо] И был вечер, и было утро: день второй. И сказал Бог: да соберётся вода, которая под небом, одно место, и да явится суша. И стало так. [И собрала вода под небом в свои места, и явилась суша] И назвал Бог сушу землёю, а собрание вод назвал морями. Увидел Бог, что это хорошо.



Первый день. Первая и вторая строки — оттолкнёмся от того, что мир уже существовал в виде каменного планетоида с плотной атмосферой. Если формирование тела с нуля, то введём термин планетоформирование.

Происхождение Земли с глубокой древности интересовало учёных, и по этому поводу было выдвинуто множество гипотез, которые можно разделить на гипотезы горячего и холодного происхождения.

Немецкий философ Иммануил Кант (1724—1804) выдвинул гипотезу, согласно которой Земля образовалась из ту-

манности, состоящей из пылеватых частиц. Между ними действовали силы притяжения и отталкивания, что привело к возникновению кругового движения туманности.

Французский математик и астроном Пьер-Симон Лаплас (1749—1827) предложил гипотезу, что Земля сформировалась из единой раскалённой туманности, однако движение этой туманности он не объяснил. По Канту Земля возникла независимо от Солнца, а по Лапласу она стала продуктом распада Солнца с образованием колец.



В XIX и XX веках в Западной Европе появилось ещё несколько гипотез происхождения Земли и других планет (Чемберлена, Мультона, Джинса и др.), однако они оказались либо идеалистическими, либо механическими и научно необоснованными. Значительный вклад в изучение происхождения Земли и космоса внесли русские учёные — академик О. Ю. Шмидт и академик В. Г. Фесенков.

Академик О. Ю. Шмидт научно обосновал, что планеты, в том числе и Земля, образовались из твёрдых раздробленных частиц, захваченных Солнцем. При прохождении сквозь скопление таких частиц силы притяжения захватывали их, и они начинали двигаться вокруг Солнца. В результате движения частички образовывали сгустки, которые группировались и превращались в планеты. Согласно гипотезе О. Ю. Шмидта, Земля, как и другие планеты Солнечной системы, с самого начала была холодной. В дальнейшем в её недрах начался распад радиоактивных элементов, что привело к разогреву и расплавлению внутренних слоёв, а масса планеты расслоилась на отдельные зоны или сферы с различными физическими свойствами и химическим составом.

Академик В. Г. Фесенков исходил из того, что Солнце и планеты образовались в едином процессе развития и эволюции из большого сгустка газово-пылеватой туманности. Этот сгусток имел вид очень сплюснутого дископодобного облака. Из наиболее густого горячего облака в центре образовалось Солнце. На периферии, где плотность была неодинако-

вой, более плотные частички стали центрами формирования будущих девяти планет Солнечной системы, включая Землю. В. Г. Фесенков сделал вывод, что Солнце и его планеты возникли почти одновременно из газово-пылеватой массы, имевшей высокую температуру.

По современным космогоническим представлениям Земля образовалась около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в Солнечной системе газово-пылеватого вещества. В результате дифференциации веществ под действием гравитационного поля и разогрева недр возникли и развились различные по химическому составу, агрегатному состоянию и физическим свойствам оболочки — геосферы: ядро (в центре), мантия, земная кора, гидросфера и атмосфера.

Современные исследования 2025—2026 годов (завершение миссии Akatsuki 18 сентября 2025 г. и финальный пролёт Parker Solar Probe 6 ноября 2024 г.) подтверждают, что ранние этапы формирования планет включали интенсивные процессы аккреции и дифференциации, что согласуется с основными положениями гипотез Шмидта и Фесенкова, хотя сегодня они дополнены данными о магнитных полях древних пород и CFD-моделированием ударных процессов.

Вопрос о происхождении Земли изучен ещё недостаточно, и учёные всего мира усиленно работают в этом направлении[1].

Остальные строки рассмотрим с позиции терраформиро-

[1] http://mse-online.ru/pochva/teorii-proisxozhdeniya-zemli.html

вания.

В нашей Солнечной системе есть всего пять мест, которые в теории могут быть подвергнуты терраформированию: Меркурий, Венера, Марс, Ганимед (спутник Юпитера, размером больше Меркурия) и Титан (спутник Сатурна, тоже больше Меркурия, но меньше Ганимеда). Два последних слишком далеко, а Меркурий мал, да к тому же слишком близок к Солнцу. Остаются две внутренние планеты — соседки Земли: Венера и Марс.

По данным 2025—2026 годов (завершение Akatsuki и финальный пролёт Parker Solar Probe) список кандидатов остаётся прежним, однако новые CFD-модели суперротации атмосферы и предложение «Cloud Continents» (2025 г.) подчёркивают, что Венера требует наибольших усилий из-за экстремального парникового эффекта.

Освоить Венеру несравненно сложнее, чем Марс. Естественно, это должно происходить после получения на Марсе необходимого опыта планетно-космической инженерии и начала исследования пояса астероидов. Расчёты показывают, что освоить Венеру вполне возможно.

Зачем вообще нужно осваивать столь негостеприимную планету?

Во-первых, это единственно известная планета-дублёр Земли, а также единственная планета в Солнечной системе, которая могла бы стать «второй Землёй», где землянину жить могло бы полностью комфортно. Например, на Марсе

это будет непросто — слишком мала масса планеты, слишком разрежённую атмосферу может он удержать, слишком далеко Марс от Солнца.

Во-вторых — ресурсы. Геологи утверждают, что на Венере имеются большие запасы тяжёлых элементов, в том числе урана.

То есть освоение Венеры — в перспективе кардинальное решение двух важнейших проблем, стоящих перед человечеством: перенаселения Земли и истощения её ресурсов. Любая из этих проблем исключительно серьёзна и в среднесрочной перспективе ставит под вопрос выживание человечества.

Третья очень важная причина: Венера — исключительно важный шаг в приближении к Солнцу для использования его энергии. Земля получает лишь ничтожную часть солнечной энергии, этот гигантский природный термоядерный реактор у нас под боком впустую «обогревает» космическое пространство. Солнечная энергетика будущего должна играть колоссальную роль для космического человечества, например снабжая энергией космические заводы, перерабатывающие астероиды. Естественно, располагать такие заводы и энергетические станции выгоднее всего как можно ближе к Солнцу. Для создания, обслуживания и управления такими присолнечными заводами и энергостанциями Венера подходит идеально.

Среднее расстояние от Венеры до Солнца — 108 млн км,

количество солнечной энергии на единицу поверхности примерно в 2 раза больше, чем на Земле. Венера должна стать ключевым пунктом строительства и управления всей системой околосолнечной энергетики, включая орбиту Меркурия.

Четвёртая очень важная причина: Венера, как космический близнец Земли, поможет предсказать геологические угрозы планетарного масштаба и подсказать пути решения проблем. Очевидно, что выполнения этих задач человечеству не избежать[2].

Вене́ра — вторая внутренняя планета Солнечной системы с периодом обращения в 224,7 земных суток. Названа именем Венеры, богини любви из римского пантеона. Это единственная из восьми основных планет Солнечной системы, получившая название в честь женского божества.

Венера — третий по яркости объект на небе Земли после Солнца и Луны и достигает видимой звёздной величины в —4,6. Поскольку Венера ближе к Солнцу, чем Земля, она никогда не удаляется от него более чем на 47,8°(для земного наблюдателя). Лучше всего она видна незадолго до восхода или через некоторое время после захода Солнца, что дало повод называть её также Вечерняя звезда или Утренняя звезда.

Венера классифицируется как землеподобная планета и иногда называется «сестрой Земли», потому что обе планеты похожи по размерам, силе тяжести и составу. Однако усло-

[2] http://www.rusproject.org/node/309

вия на двух планетах очень разнятся. Поверхность Венеры скрывают чрезвычайно густые облака серной кислоты с высокой отражательной способностью, что мешает увидеть её поверхность в видимом свете (и тьма над бездною). При этом её атмосфера прозрачна для радиоволн, с помощью которых впоследствии и был исследован рельеф планеты. Споры о том, что находится под густой облачностью Венеры, продолжались до двадцатого столетия, пока многие из тайн Венеры не были приоткрыты планетологией. У Венеры самая плотная среди известных землеподобных планет атмосфера, состоящая главным образом из углекислого газа. Это объясняется тем, что на Венере нет круговорота углерода и жизни, которая могла бы перерабатывать его в биомассу.

В глубокой древности Венера, как полагают, настолько разогрелась, что подобные земным океаны, которыми, как считается, она обладала, полностью испарились, оставив после себя пустынный пейзаж с множеством плитоподобных скал. Одна из гипотез полагает, что из-за слабости магнитного поля водяной пар (расщеплённый солнечным излучением на элементы) был унесён солнечным ветром в межпланетное пространство. Установлено, что атмосфера планеты и сейчас теряет водород и кислород в соотношении 2:1.

Атмосферное давление на поверхности Венеры в 92 раза больше, чем на Земле. Детальное картографирование поверхности Венеры проводилось в течение последних 22 лет, в частности проектом «Магеллан». Поверхность Венеры но-

сит яркие признаки вулканической деятельности, а атмосфера содержит много серы. Некоторые эксперты полагают, что вулканическая деятельность на Венере продолжается и сейчас. Однако явных доказательств этому не было найдено, поскольку пока ни на одной из вулканических впадин — кальдер — не было замечено лавовых потоков. Удивительно низкое число ударных кратеров говорит в пользу того, что поверхность Венеры относительно молода: ей приблизительно 500 миллионов лет. Никаких свидетельств тектонического движения плит на Венере не обнаружено, возможно, потому что её литосфера из-за отсутствия воды слишком вязкая и, следовательно, недостаточно подвижна. Полагают также, что Венера постепенно теряет внутреннюю высокую температуру.

Среднее расстояние Венеры от Солнца — 108 млн км (0,723 а. е.). Расстояние от Венеры до Земли меняется в пределах от 40 до 259 млн км. Её орбита очень близка к круговой — эксцентриситет составляет всего 0,0068. Период обращения вокруг Солнца равен 224,7 земных суток; средняя орбитальная скорость — 35 км/с. Наклон орбиты к плоскости эклиптики равен 3,4°.

Венера вращается вокруг своей оси, отклонённой на 2° от перпендикуляра к плоскости орбиты, с востока на запад, то есть в направлении, противоположном направлению вращения большинства планет. Один оборот вокруг оси занимает 243,02 земных суток. Комбинация этих движений даёт вели-

чину солнечных суток на планете 116,8 земных суток. Интересно, что один оборот вокруг своей оси по отношению к Земле Венера совершает за 146 суток, а синодический период составляет 584 суток, то есть ровно вчетверо дольше. В результате в каждом нижнем соединении Венера обращена к Земле одной и той же стороной. Пока неизвестно, является ли это совпадением, или же здесь действует гравитационное притяжение Земли и Венеры.

По размерам Венера довольно близка к Земле. Радиус планеты равен 6051,8 км (95% земного), масса — $4{,}87 \cdot 10^{24}$ кг (81,5% земной), средняя плотность — 5,24 г/см^3. Ускорение свободного падения равно 8,87 м/с^2, вторая космическая скорость — 10,46 км/с[3].

Терраформирование Венеры — процесс создания условий, пригодных для жизни человека на Венере.

Современные условия на Венере. Температура и давление на различных высотах от поверхности Венеры.

Средняя температура +464° С (Венера — одна из самых горячих планет Солнечной системы), атмосферное давление — около 93 атм (бар), состав атмосферы: углекислый газ — 96,5%, азот — 3,5%, угарный газ и сернистый газ — 0,3%, кислород и водяной пар — 0,12%.

Привлекательность освоения:

Венера — сестра-близнец нашей планеты: диаметр Ве-

---

[3] https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0

неры 12 104 км (95% диаметра Земли), масса $4{,}87 \cdot 10^{24}$ кг (81,5% массы Земли), ускорение силы тяжести 8,9 м/с^2 (91% земной силы тяжести).

Венера является ближайшей к нам планетой Солнечной системы.

На Венеру попадает много солнечной энергии, которую потенциально можно использовать для терраформирования.

Трудности освоения и терраформирования:

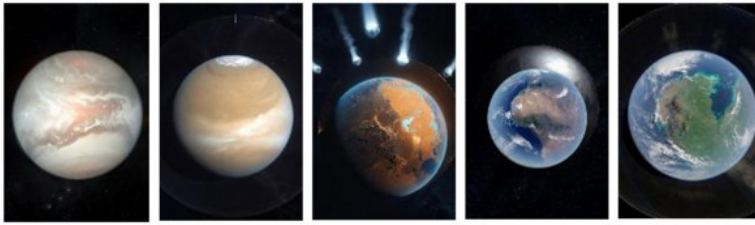
Давление на Венере на различных высотах.

На Венере очень жарко — средняя температура на поверхности +464° С (жарче, чем на Меркурии).

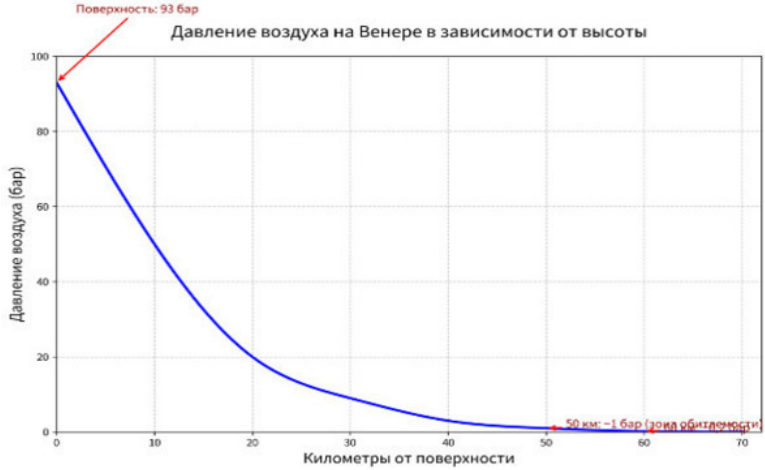
Давление на поверхности Венеры 93 атмосферы.

Атмосфера Венеры состоит на 96,5% из CO_2.

На Венере практически нет воды, поэтому её необходимо доставить туда искусственным путём. Например, из комет или астероидов, либо найти способ синтеза воды (например, из атмосферного CO_2 и водорода). Венера вращается в обратную сторону по сравнению с Землёй и другими планетами Солнечной системы, наклон оси вращения к перпендикуляру плоскости орбиты составляет 178°. Из-за такого необычного сочетания направлений и периодов вращения и обращения вокруг Солнца смена дня и ночи на Венере происходит за 117 земных суток, поэтому день и ночь продолжаются по 58,5 земных суток.



Исходная Венера | Охлаждение солнечным щитом | Доставка воды | Биологическое засевание | Землеподобная Венера



Магнитосфера Венеры значительно слабее земной, кроме того, Венера расположена ближе к Солнцу, чем Земля. Вследствие этого в ходе терраформирования (при уменьше-

нии массы атмосферы) уровень радиации на поверхности планеты может оказаться повышенным в сравнении с Землёй.

На первом этапе Венеру исследуют автоматы, посылаемые с пилотируемой или автоматической орбитальной станции. Из-за экстремальных условий раскалённой планеты такие аппараты-разведчики будут работать недолго. Их задача — собрать детальные данные о Венере и информацию о месторождениях полезных ископаемых.

16 ноября 1965 г. Венеры впервые достигла советская автоматическая станция.

Для исследования атмосферы, рельефа поверхности и связи со станциями на поверхности планеты используются аэростаты и дирижабли, которые месяцами и даже годами могут дрейфовать в атмосфере на высоте более 50 км. Атмосфера Венеры состоит практически полностью из углекислого газа, поэтому в качестве газа для аэростатов и дирижаблей можно использовать даже азот, а не только как на Земле — дорогие водород или гелий. Освещённость под облачным слоем Венеры достаточно велика, чтобы питать солнечные батареи. Управляя нагревом оболочки аэростата, например, с помощью отражения или поглощения части лучей, можно менять подъёмную силу аэростата, опускаясь или поднимаясь практически без затрат энергии.

Аэростатный парашют может также использоваться для спуска особо ценных модулей.

Первые аэростаты работали над Венерой ещё в 1985 году, доставленные туда советскими межпланетными станциями «Вега-1» и «Вега-2».

Практически вся атмосфера Венеры представляет собой гигантский ураган — она вращается вокруг планеты со скоростью до 150 м/с у верхней границы облаков (50 км). Новые CFD-модели суперротации атмосферы (2025 г., данные Akatsuki) подтверждают, что этот сверхбыстрый поток существует на высотах 50—70 км, хотя причины его формирования до сих пор до конца не ясны. В то же время ветер у поверхности весьма слаб — не более 1 м/с.

Поверхность Венеры — раскалённая каменистая пустыня, изрезанная ручейками свинца, олова и цинка. Низкие облака напоминают коричневый туман. На поверхность планеты опускается «рой» роботов с искусственным интеллектом, работающих по сетевому принципу как единое целое. Они могут управляться и с орбитальной станции. Одни роботы собирают образцы породы, другие занимаются бурением, собранные образцы передаются аэростатной станции, которая поднимает их в высокие слои атмосферы. Там поднимаемый модуль забирает орбитальный беспилотный самолёт и доставляет на орбитальную станцию.

Исследования Венеры дадут мощный толчок развитию электроники и робототехники, способных работать в условиях экстремальных давлений и температур.

Паратерраформирование и «Cloud Continents» (2025

г.). Паратерраформирование — это строительство искусственных закрытых или полуоткрытых сред обитания в верхних слоях атмосферы Венеры на высоте 50—60 км («полоса жизни»). Здесь давление близко к земному (~1,1 бар), а температура составляет около +30° С.

Основная концепция 2025 года — проект «Cloud Continents» (плавающие континенты-острова). Это крупные аэростатные платформы и дирижабли, способные объединяться в целые летающие архипелаги площадью от нескольких квадратных километров. Они служат промежуточным этапом между атмосферным и поверхностным терраформированием: на них размещаются лаборатории, жилые модули, солнечные электростанции и стартовые площадки для посева микроорганизмов.

Платформы изготавливаются из сверхлёгких материалов и заполняются азотом или водородом. Они могут дрейфовать десятилетиями, используя подъёмную силу плотной атмосферы Венеры. По оценкам 2025—2026 годов, первые «Cloud Continents» можно развернуть уже через 400—600 лет после начала охлаждения, что значительно ускорит биологическое засевание и научные исследования. Создание в атмосфере Венеры аэростатных платформ, с которых могут спускаться роботы для исследования поверхности на многоразовых аэростатах, отбрасывая их после «приземления». Такой аэростат или маленький дирижабль потом поднимается назад на летающую платформу, работающую в «полосе

жизни» на высоте около 60 км.

Аэростатные платформы-дирижабли со временем могут объединяться в настоящие летающие острова, на которых смогут жить космонавты с Земли. Они будут снабжать себя кислородом за счёт фотосинтеза с использованием привезённых с Земли зелёных растений. Впоследствии такие острова станут основными центрами контроля и проведения процесса преобразования ядовитой атмосферы Венеры.

Идёт монтаж радиоантенны на «летающем острове» в атмосфере Венеры. Она нужна не только для связи с Землёй — для связи с орбитальной станцией достаточно и меньшей антенны. Эта антенна будет координировать первый в истории человечества проект изменения климата целой планеты — строительство отражательного щита-«зонтика» от Солнца. Венера вращается очень медленно: день длится 58 земных суток и столько же ночь. С таких атмосферных станций удобнее, чем с орбиты, управлять роботами, строящими зонтик из сверхтонкой плёнки, подобной той, что используется в солнечных парусах.

Главная причина высокой температуры Венеры — парниковый эффект, создаваемый углекислым газом и парами воды, которые образуют многослойный облачный покров толщиной в десятки километров. Задача №1 освоения Венеры — её охлаждение до приемлемых температур.

Солнечные экраны между Солнцем и Венерой

Главный из проектов охлаждения, предложенный совет-

скими учёными, — создать в точке Лагранжа (где силы притяжения планеты и Солнца уравновешиваются) отражающее зонтик-зеркало из сверхтонкой плёнки. Примерно за 200—400 лет температура Венеры упадёт ниже 100° С, но первый эффект охлаждения можно будет наблюдать уже через несколько лет[4].

Оценки такого зонтика по расчётам 2025—2026 годов (с учётом данных Akatsuki и CFD-моделей) дают массу 30—76 млн т при плотности материала 30—50 г/м^2. Изготовление предлагается вести из лунного грунта, переработав примерно 2% лунной поверхности. На снижение температуры до 373 К требуется около 300—400 лет. Затем саморазмножающиеся машины произведут $7{,}9 \cdot 10^{17}$ кг кислорода за 134—200 лет, что позволит получить парциальное давление кислорода 150 мбар. Общее время терраформирования Венеры по этому сценарию в реалистичном варианте составляет 3000—5000 лет.

В другом проекте размеры зонтика составляют порядка 18 тыс. км в диаметре, при массе 76 млн т и плотности материала 30 г/м^2. Предполагается, что как только температура снизится до 304 К при давлении 26 бар, начнётся сжижение углекислоты, и она образует моря. После снижения температуры ниже 217 К и давления 5 бар (тройная точка CO_2) моря замерзнут. По оценке автора, на замораживание атмосферы потребуется от 90 до 300 лет. Окончательный состав атмо-

[4] http://www.rusproject.org/node/309

сферы — азот с парциальным давлением 2 бар, с примесью CO_2 и CO.

Импорт азота и других газов. Для финальной корректировки атмосферы Венеры после биологического этапа потребуется довести состав до земного (примерно 78% азота). Азот можно импортировать из внешних источников:

Атмосферы Титана (спутник Сатурна).

Азотсодержащих комет и астероидов из пояса Койпера.

Доставка осуществляется с помощью ядерных двигателей или гравитационных манёвров. По расчётам 2025—2026 годов, для создания земноподобного азотного фона потребуется около $1{,}4 \times 10^{19}$ кг азота. Это можно выполнить в течение 300—600 лет на этапе 6-го дня, параллельно с адаптацией человека.

Принудительное охлаждение планеты также вызывает определённые вопросы. Предлагаются холодильные установки на летающих в атмосфере островах или даже спущенные с орбиты. Спустить вниз трубы, по которым циркулирует вода и аммиак, и таким образом откачивать тепло и переизлучать его в космос. Конструкция выглядит несколько фантастично. Тем более что вокруг планеты предлагается построить гигантское кольцо для крепления этих конструкций.

Сомнительно, что данная система существенно ускорит охлаждение атмосферы. Единственные плюсы — ускорение отсоса тепла и большая эффективность излучения тепла специализированными излучателями — могут быть нивелиро-

ваны их недостаточным количеством. Если потребуется построить тысячи или сотни тысяч холодильных установок, а на строительство этого оборудования нужно время и ресурсы, в итоге ускорение охлаждения не будет достигнуто из-за временных затрат на строительство. Однако даже оптимистические оценки отводят на терраформацию Венеры по такой схеме не менее 300 лет, а реалистичные — 400—800 лет[5].

Предполагается, что такие «зонтики» смогут резко снизить поток солнечной энергии, достигающей Венеры, и как следствие — снизить температуру на планете до приемлемого уровня. Причём при достаточном экранировании Венеры от Солнца температуру можно понизить до такой степени, что атмосфера Венеры вымерзнет и значительная её часть выпадет на поверхность в виде сухого льда (твёрдый CO_2). Результатом будет значительное падение давления и дополнительное (за счёт повышения альбедо) охлаждение планеты.

> И сказал Бог: да будет свет. И стал свет. И увидел Бог свет, что он хорош, и отделил Бог тьму.

Одним из вариантов таких проектов является установка в качестве экранов сверхлёгких отражающих зеркал, свет от которых можно использовать для одновременного прогрева более холодных планет (например, Марса). Экран также мо-

[5] http://marsmeta.narod.ru/venera.html

жет служить исполинским фотоэлементом для мощнейшей солнечной электростанции.

Человек может опуститься на поверхность Венеры, но вездеход будет напоминать не марсоход, а глубоководный батискаф. Термический скафандр для Венеры совершенно необычен: он защищает от высокого давления и высокой температуры, а не от вакуума и холода космоса или давления воды, как скафандр водолаза.

У Венеры почти нет наклона оси к плоскости эклиптики, поэтому на планете нет времён года и день всегда одной и той же длины.

Вездеход исследует раскалённые вулканические районы. Венера может раскрыть многие тайны формирования планет — из-за слабости ветровой и водяной эрозии должны сохраниться следы невероятной древности: миллиарды лет истории планеты земного типа — древние вулканы, сдвиги коры и т. д.

На Венере много вулканов. Вулканологи исследуют кратеры, главная задача — построить модель эволюции планеты, что необходимо для её правильного освоения.

Учёные пытаются ответить на очень важный вопрос — почему у Венеры почти нет магнитного поля? Это результат удара астероида или что-то ещё? Магнитное поле Земли защищает нас от смертоносного потока солнечных заряженных частиц. У Венеры такого щита нет, а поток примерно в 2 раза сильнее, чем на Земле.

Атмосфера, более плотная, чем на Земле, и солнечный зонтик могут решить проблему. Учёные ломают голову над вопросом, который был немыслим ещё несколько десятков лет назад: можно ли как-то включить механизм формирования магнитного поля, сделав ядро планеты более жидким и обеспечив циркуляцию мощных токов в его глубине.

Через 400—800 лет (реалистичные оценки 2025—2026 гг.) возможно промышленное освоение Венеры. Начнётся разработка месторождений урана и других тяжёлых металлов на Венере. Это нужно и для обеспечения строительства солнечного экрана, и для солнечных электростанций, которые начали строиться. Плотная углекислотная атмосфера всё ещё обеспечивает большую подъёмную силу для дирижаблей с обогащённой рудой. Там, в более комфортных условиях, её обработают до концентрата и отправят на космический завод. На поверхность Венеры поставляется оборудование для добычи руды.

Прошло около 800—1500 лет, цвет атмосферы изменился — она стала голубой, насыщенной кислородом, как на Земле. Но давление атмосферы всё ещё велико — более 10 земных атмосфер. Начинает сказываться крупный недостаток Венеры — её медленное вращение. Многокилометровые облака, в течение миллиардов лет как одеяло закрывавшие поверхность планеты, рассеяны. Теперь за 58 дней дневная сторона планеты сильно раскаляется, а ночная — сильно остывает. Начинаются ураганные ветры и сильная электризация

атмосферы. Над вулканическими районами постоянно маячат огромные шаровые молнии. Тонкая кора постоянно разламывается.

На Венере под куполом, защищающим от жары, холода и радиации, построен первый город технологов и учёных. Идёт интенсивная добыча полезных ископаемых для строительства энергетического пояса около Солнца. Прошло около 800—1500 лет (реалистичные оценки 2025—2026 гг.). Скальные породы покрыты первыми лишайниками. На планете уже можно дышать, но вне купола приходится надевать специальный дыхательный прибор и термокостюм — днём на Венере +70° С (жарче, чем в Сахаре), ночью —50° С. Но самое неприятное — двухмесячная ночь.

Чтобы ослабить ураганы, солнечный экран через 400—800 лет разделяется на две неравные части: одна предохраняет дневную сторону от перегрева и радиации, другая начинает освещать ночную сторону, что значительно компенсирует медленное вращение планеты. По-прежнему это условия явно не для особо комфортной жизни. Зеркала — это, к сожалению, полумера.

Кардинальным решением проблемы будет только увеличение скорости вращения Венеры до земной или хотя бы в 2—3 раза меньше земной, то есть примерно в 25 раз.

На современном уровне знаний практически единственное технически возможное решение этой проблемы — точный удар астероидом или серией астероидов по касательной

к поверхности Венеры по направлению её вращения. Технически возможно даже в ближайшем будущем отбуксировать объект из пояса астероидов до орбиты Венеры, используя направленные взрывы с последующей корректировкой одноразовыми двигателями. Астероид пойдёт к Солнцу с ускорением, увеличивая свою кинетическую энергию. Однако это можно делать только после детального исследования пояса астероидов и очень чёткого овладения перемещениями крупных объектов в космосе[6].

Существует мнение, что точно рассчитанная бомбардировка позволит «раскрутить» Венеру вокруг своей оси, сократив таким образом слишком длинные венерианские сутки. И назвал Бог свет днём, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один.

По закону сохранения момента импульса, вне зависимости от подробностей, в случае касательного удара на экваторе скорость вращения Венеры увеличится на величину

(радиан/с), где m и M — массы астероида (кометы) и Венеры соответственно, V — скорость кометы или астероида, R — радиус планеты. Так как относительные скорости комет могут составлять десятки километров в секунду (вплоть до третьей космической скорости для Венеры, то есть до более чем 70 км/с), то даже относительно небольшого по сравнению с планетой астероида хватит, чтобы придать ей довольно заметное вращение. Однако «небольшой» по сравнению

[6] http://www.rusproject.org/node/309

с планетой — это очень большой в абсолютных величинах, поэтому для решения этой задачи потребовалось бы гораздо больше астероидов, чем просто для доставки воды.

$$\Delta\omega \approx \frac{m}{M} \cdot \frac{V}{R}$$

Количество воды, которое необходимо доставить на Венеру, огромно: для создания приемлемой гидросферы требуется не менее 10^{17}тонн воды, что примерно в сто тысяч раз превышает массу кометы Галлея. Требуемый ледяной астероид должен иметь диаметр около 600 км (в 6 раз меньше диаметра Луны).

Основным источником воды должны стать кометы, которых немало пролетает мимо Солнца. Всего потребуется доставить на Венеру около 14 миллионов кубических километров воды; для этого понадобится несколько десятков комет диаметром в несколько десятков километров. Этот процесс

в реалистичном сценарии займёт 400—800 лет[7].

Бомбардировка кометами или водно-аммиачными астероидами

Размеры ледяного астероида, необходимого для снабжения Венеры водой, в сравнении с размерами Венеры, Земли и Луны.

Кроме ледяных комет и астероидов, большое количество воды содержат некоторые спутники Юпитера и Сатурна, а также кольца Сатурна.

Для освоения Венеры потребуются ещё одни объекты Солнечной системы — кометы. Ещё одна серьёзная проблема освоения этой планеты — вода. На Венере она есть, но её общая масса примерно в 6000 раз меньше, чем на Земле. Жить можно, но комфортом это назвать сложно. Человеку нужны если не моря, то реки и озёра. Нужна нормальная гидросфера, чтобы поддерживать большое количество растительности.

[7] http://www.rusproject.org/node/309



Доставка воды на Венеру путём астероидной бомбардировки, решая одни проблемы, одновременно создаёт новые. Перечислим некоторые:

• Во-первых, удар одним большим астероидом может привести к разрушению коры планеты и привести её в ещё более непригодное для жизни состояние, поэтому, видимо, придётся использовать множество ударов послабее.

• Во-вторых, горные породы Венеры обладают огромной теплоёмкостью и относительно небольшой теплопроводностью, поэтому процесс их остывания в любом случае затянется на многие годы.

• В-третьих, нынешняя температура поверхностных сло-

ёв атмосферы гораздо выше температуры кипения воды при этом давлении (см. таблицу). Следовательно, без существенного охлаждения ниже 300° С (при венерианских 90 атм.) нельзя ожидать появления на поверхности планеты свободной воды. Вода будет присутствовать в атмосфере в виде водяного пара, который тоже является парниковым газом. Однако поднятые тучи пыли будут способствовать понижению температуры, порождая эффект «ядерной зимы».

Вывод астероидов на орбиту Венеры, их разрушение и падение осколков на поверхность. После коррекции траектории астероид или комета сначала выводится на высокоэллиптическую орбиту вокруг Венеры. Для этого используются те же методы, что и для Апофиса: направленные взрывы или гравитационные манёвры у других тел Солнечной системы. На орбите Венеры объект постепенно тормозится атмосферным торможением или дополнительными импульсами, снижая перигей до верхних слоёв атмосферы. При входе в плотные слои астероид начинает разрушаться под действием аэродинамического нагрева и ударных волн. Контролируемое разрушение позволяет распределить осколки по большой площади, минимизируя риск образования гигантского кратера и глобальной катастрофы.

Падение осколков на поверхность происходит в виде метеорного дождя. Ледяные и водно-аммиачные фрагменты испаряются в верхних слоях, высвобождая воду и аммиак, которые конденсируются в виде дождя или снега. Твёрдые

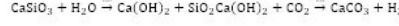
силикатные и металлические осколки достигают поверхности, обеспечивая дополнительный материал для почвообразования и строительства. По оценкам CFD-моделей 2025—2026 годов, серия из 20—30 таких контролируемых бомбардировок позволит не только доставить необходимую воду, но и увеличить скорость вращения Венеры на 20—30% от земной, что существенно сократит продолжительность суток.

В реалистичном сценарии 2025—2026 годов (с учётом данных Akatsuki и Parker Solar Probe) такие операции возможны только после 400—800 лет предварительных исследований пояса астероидов и отработки технологии на небольших объектах. Риски включают временное усиление парникового эффекта от пылевой завесы и локальные землетрясения, однако они значительно ниже, чем при одиночном ударе крупного тела.

Ожидается, что свободная вода станет разрушать венерианские горные породы и, в частности, вымывать оксид кальция из венерианского грунта. Образующийся щелочной раствор начнёт поглощать CO_2 из атмосферы Венеры, связывая его в виде карбонатов ($CaCO_3$, $MgCO_3$).

Химическое связывание CO_2 (silicate weathering). После доставки воды и начала биологического засевания важнейшим процессом становится естественное химическое связывание углекислого газа. Метод silicate weathering заключается в реакции силикатных пород Венеры (базальтов) с водой и CO_2.

Основные реакции:



В результате CO_2 переходит в стабильные карбонатные породы (известняк, доломит). Этот процесс дополняет биологическое связывание и солнечные экраны. По оценкам CFD-моделей 2025—2026 годов, при наличии достаточного количества воды и повышенной температуры (первые десятилетия после охлаждения) скорость weathering может быть в 5—10 раз выше, чем на Земле. Это позволит снизить давление атмосферы до приемлемого уровня за 500—1200 лет.

Таким образом, за некоторый срок понизится концентрация CO_2 и атмосферное давление на Венере, после чего станет возможным запускать туда фотосинтетические земные организмы для преобразования оставшегося венерианского CO_2 в кислород.

Следует заметить, что водяной пар является ещё более сильным парниковым газом, чем CO_2, поэтому такой способ

преобразования венерианского климата всё равно придётся совмещать с рассмотренными выше солнечными экранами — для того, чтобы не допустить нового витка разогревания Венеры.

Температура кипения воды при разных давлениях:

Давление, атм Температура кипения воды, °C

Давление, атм	Температура кипения воды, °C
1,033	100,00
1,500	110,79
5,000	151,11
10,000	179,04
20,000	211,38
25,000	222,90
50,000	262,70
100,000	309,53

Ударное распыление в атмосфере металлического метеора может привести к связыванию серной кислоты в соли, с сопутствующим выделением воды или водорода (в зависимости от точного состава метеора). При входе в плотные слои атмосферы метеор вызывает яркую вспышку и плазменный след. В результате ударного нагрева происходит химическая реакция серная кислота (H_2SO_4) связывается в соли, а в атмосферу выделяется вода (H_2O) или водород (H_2). Такой процесс может способствовать очищению атмосферы

от серной кислоты и появлению свободной воды. Астероиды типа (216) Клеопатра представляют определённую ценность для этого решения. Возможно, глубинные породы Венеры также имеют подходящий состав. В таком случае достаточно использовать водородную бомбу достаточной мощности, чтобы одновременно вызвать пылевую «ядерную зиму» и этой же пылью связать кислоту.



Вот и закончился первый день творения. При развитии соответствующих космических технологий мы можем уже в течение 800—1500 лет (реалистичные оценки) воплотить этот день в реальность.

День второй — последствия наших действий дня первого Творения. Все взаимосвязано.

Параграф 2. Третий день творения

Третий день творения. Бытие 1:11—13

> И сказал Бог: да произрастит земля зелень, траву, сеющую семя [по роду и по подобию её, и] дерево плодовитое, приносящее по роду своему плод, в котором семя его на земле. И стало так. И произвела земля зелень, траву, сеющую семя по роду [и по подобию] её, и дерево [плодовитое], приносящее плод, в котором семя его по роду его [на земле]. И увидел Бог, что это хорошо. И был вечер, и было утро: день третий.

Доставка на Венеру земных водорослей или других микроорганизмов.



В 1961 году Карл Саган предложил забросить в атмосферу Венеры некоторое количество хлореллы. Предполагалось, что, не имея естественных врагов, водоросли будут бурно размножаться в геометрической прогрессии и относительно быстро разложат находящийся там в большом количестве углекислый газ. В результате атмосфера Венеры обогатится кислородом. Это, в свою очередь, снизит парниковый эффект, благодаря чему температура поверхности Венеры понизится.

Подобные проекты предлагаются и сейчас. В частности,

рассматривается распыление в атмосфере Венеры генно-модифицированных (для приживания в условиях полёта в атмосферных течениях) сине-зелёных водорослей (цианобактерий) или спор плесени на уровне 50—60 км от поверхности, где давление составляет около 1,1 бар, а температура — около +30° С[8].

По данным 2025—2026 годов (завершение миссии Akatsuki и финальный пролёт Parker Solar Probe) эта высота остаётся наиболее перспективной для биологического засевания: здесь давление близко к земному, а температура позволяет выживать генетически модифицированным микроорганизмам. Предложение «Cloud Continents» 2025 года развивает эту идею, предлагая использовать плавающие аэростатные платформы в качестве стартовых площадок для массового посева.

Зелёные водоросли типа земной хлореллы будут выброшены в атмосферу на высоте 50—70 км и начнут процесс фотосинтеза, насыщая атмосферу кислородом и уменьшая содержание углекислого газа. Это усилит охлаждение планеты, а облачное «одеяло» начнёт разрушаться.

Деление водорослей, если нет тех, кто их ест, идёт по геометрической прогрессии до полного заполнения экологической ниши. Для Венеры это оценивается примерно в 20 лет; это могло бы быть и быстрее, но на ночной стороне «летаю-

---

[8] https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0

щие водоросли» бездействуют 58 дней. Пленочный экран отфильтровывает только инфракрасные лучи, пропуская большую часть жёлто-синего спектра для фотосинтеза и солнечных батарей энергии. Да и не очень приятно было бы первопроходцам Венеры работать в полной темноте.

Солнечный щит со временем станет первой энергетической солнечной фабрикой, не просто отражающей свет, а превращающей его в удобные для использования виды энергии и энергоёмкие материалы. Если углекислый газ, находящийся в атмосфере Венеры, перевести в осадочные породы, то их будет столько же, сколько на Земле. В своё время неисчислимое количество живых организмов связали углекислый газ атмосферы Земли в своих костяках-оболочках. Такой же процесс начнётся и на Венере — в атмосферу будут выброшены тщательно подобранные или специально выведенные микроскопические организмы, углекислый газ будет трансформирован в осадочные породы и выпадет на поверхность планеты.

В реалистичном сценарии 2025—2026 годов (с учётом CFD-моделей суперротации атмосферы) на снижение давления атмосферы до приемлемого уровня потребуется 500—1200 лет. При снижении температуры поверхности Венеры менее 100° С уже возможен посев земных бактерий-экстремофилов (как в горячих источниках) и лишайников для начала формирования плодородных почв. Наземные растения

начнут связывать атмосферный азот, и давление упадёт ещё[9].

Среди таких биологических пионеров, способных к выживанию в экстремальных условиях, невосприимчивые ни к низким температурам, ни даже к радиации — мхи и лишайники. Они питаются очень скромным количеством воды, ухода не требуют, живут на камнях и радуют глаз. Но самое главное — они поглощают солнечный свет и перерабатывают его в полезные вещества, которые в скором будущем станут элементами плодородной почвы, столь необходимой деревьям.

После этого приступим «садоводству». Генной инженерией модифицируем привычные нам растения под условия Венеры. Либо начнём с нуля конструировать растения. За несколько десятков лет мы вырастим леса, джунгли, тайгу, буш.

Уже сейчас существуют способы восстановления земель — рекультивация земель (от лат. re- — приставка, означающая возобновление, и ср.-век. лат. cultivo — обрабатываю, возделываю) — комплекс горнотехнических, инженерно-строительных, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесокультурных и озеленительных работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных горными работами земель; является основным средством их воспроизводства, улучше-

[9] http://www.rusproject.org/node/309

ния условий окружающей среды[10].

[10] http://www.mining-enc.ru/r/rekultivaciya

Параграф 3. Четвёртый день творения

Четвёртый день творения. Бытие 1:14—19



И сказал Бог: да будут светила на тверди небесной [для освещения земли и] для отделения дня от ночи, и для знамений, и времён, и дней, и годов; и да будут

они светильниками на тверди небесной, чтобы светить на землю. И стало так. И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днём, и светило меньшее, для управления ночью, и звёзды; и поставил их Бог на тверди небесной, чтобы светить на землю, и управлять днём и ночью, и отделять свет от тьмы. И увидел Бог, что это хорошо. И был вечер, и было утро: день четвертый

Вопросы по приведению атмосферы Венеры к привычной земной мы рассматривали ранее. Теперь изучим этот день буквально.

Термин «окно прозрачности» здесь приобретает буквальный смысл: создание условий, при которых солнечный свет и тепловое излучение смогут свободно проходить через атмосферу, отделяя день от ночи и устанавливая привычный суточный цикл.

Под туманоподобными облаками Венеры, которые занимают интервал высот от 49 до примерно 75 км, лежит огромный газовый океан, в основном состоящий из раскалённого углекислого газа CO_2 — его в атмосфере 96,5%. Свет проникает сквозь атмосферу, но рассеяние так велико, что даже находясь под нижней кромкой облаков, различить поверхность планеты невозможно. С глубиной плотность углекислотной атмосферы растёт и у поверхности Венеры достигает 65 кг/м^3. Это только в 14 раз меньше плотности воды. Масса газовой оболочки Венеры составляет $4{,}8 \times 10^{20}$ кг, что в 93 раза превосходит массу земной атмосферы и вполне срав-

нимо с массой земных океанов ($1{,}37 \times 10^{21}$ кг). Вторым по содержанию следует азот, на который приходятся почти все оставшиеся 3,5%. По абсолютному содержанию это в 3,5 раза больше, чем в земной атмосфере.

С высотой в атмосфере быстро падают плотность, давление и температура. На высоте 30 км это 9,4 бар, 10 кг/м^3 и 222° С, а на высоте 65 км — 0,9 бар, 0,2 кг/м^3 и —30° С. Выше 150 км атмосфера Венеры из-за высокого молекулярного веса уже более разрежена, чем атмосфера Земли на тех же высотах. Ещё выше резко возрастает относительное содержание гелия и водорода (хотя, конечно, падает по абсолютной величине). Угарный газ (CO), кислород и водород образуются в стратосфере за счёт диссоциации (разрушения) молекул углекислого газа и водяного пара ультрафиолетовым излучением Солнца. Выше 700 км простирается чисто водородная корона (10^3—10^4 атомов/см^3), которая постепенно переходит в межпланетную среду.

Сравнение параметров атмосфер Земли и Венеры (данные по результатам миссий Akatsuki 2025 г., Parker Solar Probe 2024 г., переанализу Pioneer Venus 2025 г. и CFD-моделям 2025—2026 гг.)

Параметр	Земля	Венера	Соотношение (Венера / Земля)
Состав атмосферы (объёмная доля)	N_2 – 78 %; O_2 – 21 %; Ar – 0,93 %; H_2O – 1,5 %; CO_2 – 0,032 %	CO_2 – 96,5 %; N_2 – 3,5 %; SO_2, Ar, H_2O и др. – следы	_
Средняя температура поверхности	+15 °C	+464 °C	На 449 °C выше
Атмосферное давление на поверхности	1 бар	92–93 бар	В 92–93 раза больше
Масса атмосферы	$5{,}15 \times 10^{18}$ кг	$4{,}8 \times 10^{20}$ кг	В 93 раза больше
Плотность атмосферы на поверхности	1,225 кг/м³	65 кг/м³	В 53 раза выше
Масса воды в атмосфере	$1{,}4 \times 10^{15}$ кг	$2{,}35 \times 10^{17}$ кг	В 16 800 раз больше
Общая масса воды (гидросфера)	$1{,}45 \times 10^{21}$ кг	$2{,}35 \times 10^{17}$ кг	В 6 000 раз меньше
Эквивалентная глубина океана	2 700 м	0,5 м	В 5 400 раз меньше
Масса азота	$4{,}0 \times 10^{18}$ кг	$1{,}41 \times 10^{19}$ кг	В 3,5 раза больше
Масса кислорода	$1{,}08 \times 10^{18}$ кг	Следы	Практически отсутствует
Масса углекислого газа	$1{,}65 \times 10^{15}$ кг	$4{,}56 \times 10^{20}$ кг	В 276 000 раз больше
Масса аргона	$6{,}6 \times 10^{16}$ кг	$3{,}4 \times 10^{16}$ кг	В 0,5 раза меньше
Масштабная высота	8,5 км	16 км	В 1,9 раза больше
Альбедо	0,30	0,77	В 2,6 раза выше
Суперротация атмосферы	Отсутствует	До 150 м/с на высоте 50–70 км	Присутствует только на Венере
Магнитное поле	Сильное (защищает от солнечного ветра)	Очень слабое (практически отсутствует)	Венера почти без защиты

Ключевые пояснения к обновлённым данным:

1. Температура — +464° С по финальным данным

Akatsuki (завершение миссии 18 сентября 2025 г.) и Parker Solar Probe (пролёт 6 ноября 2024 г.).

2. Давление — 92—93 бар (уточнено по последним моделям).

3. Масса атмосферы Венеры — $4{,}8 \times 10^{20}$ кг (новые оценки 2025 г.).

Вода — общая масса крайне мала; эквивалентный океан ~0,5 м. В облаках по переанализу Pioneer Venus 2025 г. — до 60% воды в виде гидратов.

4. CO_2 — почти вся масса атмосферы Венеры.

По данным завершившейся 18 сентября 2025 года миссии Akatsuki и финального пролёта Parker Solar Probe 6 ноября 2024 года, эти характеристики подтверждены с высокой точностью; новые CFD-модели суперротации атмосферы уточнили, что «окна прозрачности» в инфракрасном диапазоне (1—2,5 мкм) позволяют получать изображения поверхности даже сквозь облака.

Плотность и температура короны и лежащей под ней криотермосферы сильно зависят от солнечной активности, но температура почти не зависит от высоты. Выше примерно 160 км температура в подсолнечной точке в годы низкой солнечной активности близка к 300 К, а в годы высокой — к 450 К. На той же высоте в противоположной точке планеты (ночью) температура падает до 100 К (отсюда название «криотермосфера»). Сравнительно высокие дневные температуры криотермосферы объясняются поглощением ультра-

фиолетовой части солнечного излучения.

На высоте 120 км находится нижняя граница ионосферы. Максимальная концентрация электронов приходится на высоту 140 км; днём она достигает 5×10^5 см$^{-3}$, а ночью снижается примерно в 50 раз. Особенность ионосферы Венеры связана с отсутствием у планеты собственного магнитного поля: поэтому плазма солнечного ветра воздействует непосредственно на ионосферу, снижая днём её верхнюю границу до 300—500 км.

Создание искусственного магнитного поля. Одним из самых сложных, но критически важных этапов является защита будущей биосферы от солнечного ветра и космической радиации. Венера практически не имеет собственного магнитного поля.

Предлагаемые решения:

1. Размещение на орбите сверхпроводящих кольцевых систем или сети спутников-генераторов, создающих искусственную магнитосферу.

2. Использование сверхпроводящих материалов, охлаждаемых жидким азотом или водородом.

Такое поле защитит атмосферу от «сдувания» и снизит радиационный фон на поверхности. По расчётам 2025—2026 годов, минимальная система из 12—18 крупных спутников сможет создать магнитное поле, достаточное для защиты всей планеты. Реализация возможна уже на этапе 4-го дня, после стабилизации атмосферы и появления «окон

прозрачности».

По-видимому, именно различие условий формирования привело к большой разнице в содержании воды на Земле и Венере: для Земли это $1{,}37 \times 10^{21}$ кг, или $2{,}3 \times 10^{-4}$ от её массы, а для Венеры — около 3×10^{-9}. Если бы температура у поверхности Земли была не 20° С, а более 370° С, то океаны Земли испарились бы и давление водяного пара в атмосфере достигло бы огромного значения 260 бар. Вместе с тем на Венере парциальное давление водяного пара не превосходит 3 мбар. Расчёты показывают, что при всех разумных предположениях потери воды на Венере не могли составить более 1/10 земных запасов воды.

Предположения об очень высоких температурах и давлениях на Венере появились в 1940-х гг. на основе чисто теоретических соображений. Но в начале 1960-х ещё многие учёные допускали, что вся планета покрыта океаном. «Венера-4» даже имела специальный, сделанный из сахара замок, который должен был освободить антенну в случае посадки аппарата на воду. Современный анализ содержания водяного пара даёт его концентрацию в атмосфере Венеры примерно 3×10^{-5} во всей тропосфере, от поверхности до облаков.

Количество водяного пара в атмосфере прямо связано с «парниковым эффектом», суть которого заключается в следующем. Хотя большую часть солнечного света облака отражают обратно, часть его всё же проходит сквозь атмосферу, падает на поверхность планеты и поглощается ею. По-

скольку планета пребывает в тепловом равновесии (т. е. не становится со временем горячее), вся поглощённая энергия должна снова излучаться в космос. Если бы не препятствовала атмосфера, поверхность планеты справилась бы с этой задачей, нагревшись примерно до 230 К (в среднем по двум полушариям; конечно, дневное было бы немного горячее, а ночное — холоднее). При этом излучение поверхности лежало бы в инфракрасном диапазоне с максимумом между 10 и 15 мкм. Но именно в этом диапазоне атмосфера малопрозрачна. Она перехватывает значительную часть излучения поверхности и возвращает её назад. От этого поверхность нагревается ещё сильнее, до такой температуры, при которой выходящий в космос поток тепла всё же уравновешивает его приток от Солнца. Таким образом, равновесие восстанавливается, но уже с повышенной температурой поверхности (735 К).

Этот эффект назван «парниковым», поскольку стекло или плёнка в садовом парнике играет ту же роль, что и атмосфера планеты: прозрачная для света крыша парника пропускает направленные к земле солнечные лучи, но задерживает идущее от земли инфракрасное излучение и восходящие потоки тёплого воздуха.

Расчёт показывает, что температура поверхности Венеры как раз соответствует концентрации водяного пара около 3×10^{-5}; если бы его было больше, непрозрачность для инфракрасных лучей значительно возросла бы, и температура по-

верхности стала бы ещё выше. По-видимому, начальная температура Венеры из-за её сравнительной близости к Солнцу была относительно высока. Это способствовало выделению из поверхности воды и углекислого газа, стимулировавших парниковый эффект и дальнейший рост температуры.

Изотопный состав инертных, или благородных газов представляет особый интерес для науки о происхождении планет. Инертные газы не вступают в химические реакции с поверхностью или другими газами и достаточно тяжелы, чтобы сохраниться в том же количестве, в каком планета получила их при своём образовании или приобрела в процессе эволюции. Те изотопы инертных газов, которые достались планете на стадии её формирования, называют первичными, или космогенными (например, ^{36}Ar, ^{38}Ar). А изотопы, образующиеся при распаде радиоактивных элементов, называют радиогенными (например,

Соотношение изотопов инертных газов в атмосфере Венеры не похоже ни на земное, ни на марсианское. Доля аргона в атмосфере Венеры 0,01%, а в земной атмосфере около 1%, но их абсолютное количество близко друг к другу (поскольку атмосфера Венеры в 93 раза массивнее). Изотопный состав земного аргона таков: 0,996 приходится на радиогенный ^{40}Ar и лишь 0,004 — на ^{36}Ar и ^{38}Ar. А на Венере первичных изотопов столько же, сколько и радиогенных: доля ^{36}Ar, ^{38}Ar и ^{40}Ar соответственно составляет 0,42; 0,08 и 0,50. Этим соотношением планета говорит что-то важное, но пока

не ясно что именно.

Главным среди других малых составляющих оказался сернистый газ SO_2, который играет важную роль в метеорологии Венеры. Его содержание составляет 2×10^{-5}. В малых количествах имеются сероводород H_2S и сероокись углерода COS. Известно также, что в атмосфере Венеры есть угарный газ (5×10^{-5}), соляная (4×10^{-7}) и плавиковая (10^{-8}) кислоты. Концентрации указаны по отношению к углекислому газу. Таким образом, общим для атмосфер Земли и Венеры остаётся только азот. В остальном состав их совершенно различен. Причина этого лежит в разных путях эволюции планет.

Значительная часть атмосферы Венеры находится в быстром движении. Сильные ветры связаны с общим быстрым вращением средних слоёв атмосферы, содержащих и облачный слой, над медленно вращающейся планетой. Это движение газа, огибающее планету с 4-суточным периодом в направлении её вращения, называют суперротацией атмосферы Венеры.

Средняя горизонтальная скорость ветра на высоте 54 км составляет 65—70 м/с. Выше верхней границы облаков (70 км) скорость ветров быстро падает. Она уменьшается также в глубь атмосферы, где увеличивается плотность газа. Наибольшую кинетическую энергию несут потоки газа в интервале 16—32 км. Ниже 10 км скорость ветра — всего единицы метров в секунду. Прямые измерения скорости ветра у поверхности планеты показали от 0,4 до 1,3 м/с. Правда, из-

за высокой плотности атмосферы, которая в 53 раза плотнее земной, эти скорости эквивалентны по динамическому давлению (pv^2) в 7—8 раз более быстрым земным ветрам. По-видимому, этого всё-таки недостаточно, чтобы пыль поднималась с поверхности, поскольку измерения неизменно показывают, что ниже облачного слоя атмосфера представляет собой чистую, незамутнённую газовую среду.

Зональные ветры ураганной скорости (300 км/ч и более) охватывают широты от экватора до ±40°. Выше их скорость уменьшается, а в приполярных областях динамика атмосферы резко меняется. Здесь, по крайней мере у северного полюса, расположен так называемый полярный вихрь, который, по-видимому, включает в себя нисходящие потоки газа.

С суперротацией связан такой парадокс. Масса атмосферы составляет ощутимую часть (10^{-4}) всей массы планеты. Между атмосферой и поверхностью есть трение. Тогда, каковы бы ни были причины быстрого движения атмосферы, вращаясь в одну и ту же сторону из века в век, она должна передавать поверхности часть своего момента импульса. Иными словами, атмосфера должна разгонять твёрдое тело планеты. В действительности же мы видим, что вращение Венеры заторможено, причём период её вращения настолько близок к резонансному относительно Земли, что это не может быть случайным. Почему атмосфера не ускоряет вращения планеты, остаётся неясным.

До полёта «Венеры-8» было распространено мнение, что

облака Венеры очень плотные. Считалось даже возможным, что на поверхности планеты царит вечная ночь. Все предшествовавшие аппараты опускались на ночной стороне, где заведомо темно и фотометрировать нечего. Спуск «Венеры-8» в районе утреннего терминатора (с местным временем около 6 ч 25 мин) позволил установить, что на поверхности светло, освещённость составляет сотни люксов. Особенно подробные исследования спектра освещённости и строения облаков в дневной зоне были выполнены в 1975—1982 гг. новым поколением зондов «Венера» (СССР) и «Пионер-Венера» (США). По мере спуска от уровня 70 км освещённость постепенно падает. Но даже на поверхности она остаётся ещё высокой. Днём там примерно так же светло, как на Земле в пасмурный день со сплошной (но не грозовой) облачностью.

Облака Венеры совсем не похожи на мощную облачность Земли. Они скорее напоминают туман, когда предметы, удалённые на несколько километров, становятся невидимыми. Кажущаяся плотность объясняется только большой протяжённостью этого облачного слоя.

На высоте от 49 до 67 км находятся три относительно плотных яруса облаков с периодически меняющейся концентрацией частиц и очень тонкие слоистые облака под их нижней границей. Вниз от 49 км начинается практически безоблачная атмосфера. Под толстым слоем облаков находится глубочайший океан сильно сжатого углекислого газа. Газ настолько плотен, что и без облаков сильно рассеивает свет.

Если облака ослабляют его всего в 2—3 раза, то подоблачная атмосфера — ещё раз в 10. Вероятно, даже с высоты 25 км поверхность планеты не видна. (Все же есть узкое спектральное «окно прозрачности» вблизи 1 мкм).

Облака Земли, как известно, состоят из мелких капель воды. Но приписать ту же природу венерианским облакам не удавалось: хотя данные говорили о жидких каплях, это не могла быть вода. Во-первых, количество водяного пара там очень мало. Во-вторых, измерения показали, что коэффициент преломления света у частиц в облаках Венеры составляет 1,44 (у воды он 1,33). К тому же температура в верхней части облаков (—40° С) исключает жидкую воду.

Только в 1973 году удалось найти химическое соединение, которое отвечало всем имевшимся данным. Верхний ярус венерианских туманоподобных облаков, расположенный в интервале высот от 57 до 75 км, — это мельчайшие капли с оптическими свойствами концентрированной 80%-ной серной кислоты. Их диаметр очень мал: 0,4—2 мкм. На высоте 66 км таких частиц около 300 на 1 $см^3$. Концентрация двухмикронных капелек в верхнем слое с увеличением высоты убывает практически до нуля, но более мелкие частицы, около 0,4 мкм, присутствуют здесь в большом количестве. Вероятно, здесь они и образуются из газовой фазы. Нижняя граница облаков 48—49 км обладает какими-то критическими для капелек свойствами. Температура здесь близка к 110° С, а давление 1,1 бар.

Облачный покров Венеры практически непроницаем для инфракрасного теплового излучения; это своеобразное «одеяло» планеты. Её тепловой баланс почти полностью определяет уходящее в космос излучение самих облаков в диапазоне 7—25 мкм. Кроме этого, Венера светится и в ближнем инфракрасном диапазоне 1—2,5 мкм. Свечение исходит от поверхности и из нижних, раскалённых слоёв атмосферы; оно пробивается сквозь поглощающее «одеяло» углекислого газа в узких спектральных полосах, так называемых «окнах прозрачности».

По данным финального пролёта Parker Solar Probe 6 ноября 2024 года и завершившейся миссии Akatsuki (18 сентября 2025 г.), окна прозрачности в ближнем инфракрасном диапазоне (1,28 и 1,31 мкм) позволяют получать изображения поверхности даже сквозь облака, подтверждая возможность «прозрачности» для теплового излучения.

Эффективная температура теплового излучения (т. е. температура абсолютно чёрного тела, которое излучает с единицы поверхности столько же энергии, сколько реальное исследуемое тело) у Венеры ниже, чем у Земли. Казалось бы, это противоречит тому, что поверхность Венеры гораздо горячее земной. Но противоречия здесь нет: уходящее в космос тепловое излучение Венеры создаётся её облачным слоем. Вспомним, что сферическое альбедо Венеры в оптическом диапазоне составляет 0,77. То есть планета отражает 77% падающего на неё солнечного света и только 23% по-

глощает, в то время как Земля поглощает 67%. Если учесть, что потоки солнечной энергии у Земли и Венеры соотносятся примерно как 1: 2, то различие получается в пользу Земли: она поглощает в 1,5 раза больше энергии и должна во столько же раз больше её излучать. Поэтому излучающая поверхность Земли (в основном это твёрдая поверхность) горячее, чем излучающая поверхность Венеры — её облачный слой. А лежащая под облаками твёрдая поверхность Венеры не имеет почти никакого отношения к радиационному балансу планеты.

Измерения показывают, что размеры капель в венерианских облаках удивительно однородны, в отличие от земных облаков. Это значит, что мы видим слой из недавно образовавшихся частиц, иначе однородность их размеров была бы нарушена в процессе столкновений и слияний частиц. Напрашивается вывод, что этот сернокислотный дождь падает откуда-то сверху. С некоторым преувеличением можно сказать, что в метеорологии сухой атмосферы Венеры соединения серы играют ту же роль, что вода в метеорологии Земли. Сернистый газ SO_2, которого довольно мало (около 3×10^{-5} от количества CO_2), в присутствии мощного ультрафиолетового излучения Солнца в надоблачной атмосфере фотолитически окисляется кислородом в серный ангидрид SO_3.

Серный ангидрид тут же взаимодействует с небольшим имеющимся количеством водяного пара и даёт серную кислоту. Её количество невелико, но вполне достаточно для су-

ществования облачного слоя планеты. Эти частицы постепенно опускаются вниз, при этом они иногда сталкиваются и сливаются. Когда они достигают уровня 49 км, из-за высокой температуры серная кислота разрушается, а угарный газ реагирует с серным ангидридом, разрушает его и оставляет взамен углекислый и сернистый газы. Ещё ниже остатки угарного газа отнимают у части сернистого газа последние атомы кислорода, а в атмосферу выделяется газообразная сера.

Наличие в атмосфере серной, соляной и плавиковой кислот связано с высокой температурой поверхности. Общее количество серной кислоты в атмосфере Венеры вполне соответствует обилию серы в вулканических газах и на поверхности. (Серная кислота в очень незначительных количествах появляется и в атмосфере Земли, но быстро растворяется в воде и выпадает с осадками). Кислоты взаимодействуют с материалом поверхности, благодаря чему устанавливается динамическое равновесие.

Химический состав облаков Венеры и особенности их движения позволили объяснить природу полос, заметных только в ультрафиолетовых лучах. Она заключается в том, что на основном слое облаков, который кончается на высоте примерно 70 км, лежит слой дымки толщиной 8—12 км. Эта дымка прозрачна и не видна для всех длин волн длиннее 350 нм (ближний ультрафиолетовый диапазон). В ультрафиолетовых лучах она сильно рассеивает свет. Нижний слой, наоборот, сильно поглощает ультрафиолетовые лучи. По-ви-

димому, пестрота облачного слоя отражает неравномерное распределение присутствующих в атмосфере газообразных соединений, вызывающих поглощение в ультрафиолете. На уровне верхней границы облаков весь слой завершает один оборот вокруг планеты за 4—5 суток, именно таков период, с которым повторяется рисунок ультрафиолетовой фигуры [11].

Прозрачность земной атмосферы. Земная атмосфера прозрачна почти полностью для падающего извне излучения лишь в двух сравнительно узких окнах: оптическом — в диапазоне длин волн от 0,3 мкм (3000 Å) до 1,5—2 мкм (область до 8 мкм состоит из ряда узких полос пропускания) и в радиодиапазоне — для волн длиной от 1 мм до 15—30 м.

Непрозрачность атмосферы для всех других длин волн определяется поглощением и рассеянием излучения на молекулах и атомах, а также отражением радиоволн от электронов ионосферы.

В УФ-области спектра, т. е. в случае волн короче 3000 Å, излучение поглощается в основном слоем озона (O_3), расположенного на высотах 20—60 км с максимумом концентрации на высоте около 27 км (около $5 \cdot 10^{12}$ молекул/см^3, что соответствует относительной концентрации 10^{-6}). Количество озона на луче зрения составляет примерно $3 \cdot 10^{16}$ молекул/см^2. Поглощение озоном доминирует вплоть до 1800 Å. В интервале длин волн от 1800 Å и примерно до 1000 Å поглощение определяется процессами ионизации и диссо-

[11] http://space-horizon.ru/articles/14

циации молекул кислорода, содержание которого вследствие диффузионного разделения и диссоциации уменьшается с высотой и становится исчезающе малым на высотах свыше 150 км. В области длин волн короче 1000 Å поглощение связано с процессами ионизации молекулярного азота и атомарного кислорода, однако уменьшение их концентрации с высотой приводит к тому, что атмосфера выше 150 км делается полностью прозрачной на всех длинах волн УФ-диапазона. На бóльших высотах поглощение может быть заметно лишь в отдельных спектральных линиях, например в линии атомарного водорода Lyman-α и др. линиях обильных элементов земной атмосферы. В отдельных областях УФ-диапазона небольшую роль играет поглощение водяным паром, однако выше 15—20 км его практически нет.

В рентгеновском и гамма-диапазоне поглощение зависит от количества вещества (г/см^2), расположенного выше данного уровня атмосферы, и, начиная с 30—40 км, атмосфера Земли становится практически прозрачной для фотонов с энергией, превышающей 20 кэВ (т. е. для длин волн короче 0,5 Å). До поверхности Земли первичные космические лучи, рентгеновское и гамма-излучение не проникают.

В ближнем ИК-диапазоне длин волн (короче 5,5 мкм) имеется несколько окон прозрачности, и зависимость пропускания атмосферы от длины волны имеет весьма сложный вид. В более длинноволновом диапазоне расположено лишь два окна прозрачности с центрами на 10 и 20 мкм. Погло-

щение в этой области спектра определяется молекулами CO_2 и H_2O. Первое, длинноволновое, окно прозрачности простирается от 8 до 13,5 мкм. В длинноволновой части этого интервала расположены крылья полосы поглощения молекулы CO_2 с центром около 15 мкм. В полосе 8—13 мкм прозрачность достигает 50—80%. В области длин волн 9,3—10 мкм расположена слабая полоса поглощения озона. Второе окно прозрачности с центром примерно на 20 мкм простирается от 16 до 26 мкм. Поглощение в нём определяется парами воды и CO_2.

Ослабление земной атмосферой падающего излучения (полное пропускание соответствует 1): а) в области длин волн короче 30 мкм для уровня моря и для высоты 4200 м над уровнем моря; б) субмиллиметровой области спектра от 300 мкм и до 1 мм; в) для коротковолнового радиоизлучения в диапазоне длин волн от 0,6 мм и до 10 см (ослабление выражено в дБ).

В области субмиллиметровых длин волн ($\lambda > 100$ мкм) поглощение определяется молекулами H_2O, CO_2 и O_2. Так как содержание H_2O резко уменьшается с высотой, что связано с падением температуры в тропосфере, ИК-область спектра в значительной степени доступна наблюдениям с аэростатов и высотных самолётов. В этой области спектра кроме поглощения излучения атмосферой существенно и собственное излучение атмосферы, что особенно важно при исследованиях фонового излучения Вселенной.

В видимой части спектра при наблюдениях вблизи зенита с уровня моря поглощение при идеальном состоянии атмосферы равно $0{,}21^{m}$ для визуальной части спектра (система V) и $0{,}34^{m}$ для синей части спектра (система B). При наблюдениях светил, находящихся над горизонтом выше 10—20°, поглощение пропорционально secZ, где Z — угловое расстояние светила от зенита (зенитное расстояние). Величина secZ примерно пропорциональна воздушной массе, т. е. количеству вещества атмосферы на луче зрения. При наблюдениях с уровня моря поглощение весьма существенно зависит от запылённости атмосферы. С проблемой прозрачности атмосферы тесно связан вопрос о дрожании и качестве изображения.

Непрозрачность атмосферы в декаметровой области радиодиапазона определяется отражением радиоволн от ионосферы, простирающейся от 90 км и до нескольких тысяч км от поверхности Земли.

В области миллиметровых длин волн ослабление падающего извне излучения зависит от влажности атмосферы и определяется полосами поглощения H_2O, а также O_2. В отдельных полосах поглощение достигает 100 децибел (дБ). Наблюдения же в УФ-области спектра и в рентгеновском диапазоне могут вестись лишь при помощи аппаратуры, вынесенной за пределы атмосферы на высотных ракетах или

ИСЗ[12].

Одновременно при приведении «окна прозрачности» в состояние, аналогичное земному, решаем вопрос про «И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днём, и светило меньшее, для управления ночью, и звёзды; и поставил их Бог на тверди небесной, чтобы светить на землю, и управлять днём и ночью, и отделять свет от тьмы».

Первое — зеркало-зонтик. Пусть масса зеркала-зонтика будет 30 млн т. Столько стали выплавляет крупное индустриально развитое государство за несколько месяцев. Понятно, что все элементы зонтика будут изготовляться на космическом заводе из материалов, добытых в космосе. Большой гигант, на котором работают тысячи людей, сомнительно построить в космосе. Скорее это будет полностью автоматизированное производство. Если в качестве материала использовать ресурсы Луны, то эффективнее сделать много небольших заводиков, которые будут перерабатывать окрестные ресурсы, чем строить один химико-металлургический гигант и в комплект к нему ещё и железную дорогу, и множество карьеров. Небольшие заводики можно перемещать к сырью, а не наоборот.

В рентгеновском и гамма-диапазоне поглощение зависит от количества вещества (г/см^2), расположенного выше данного уровня атмосферы, и, начиная с 30—40 км, атмосфера Земли становится практически прозрачной для фотонов

[12] http://www.astronet.ru/db/msg/1188575

с энергией, превышающей 20 кэВ (т. е. для длин волн короче 0,5 Å). До поверхности Земли первичные космические лучи, рентгеновское и гамма-излучение не проникают.

В ближнем ИК-диапазоне длин волн (короче 5,5 мкм) имеется несколько окон прозрачности, и зависимость пропускания атмосферы от длины волны имеет весьма сложный вид. В более длинноволновом диапазоне расположено лишь два окна прозрачности с центрами на 10 и 20 мкм. Поглощение в этой области спектра определяется молекулами CO_2 и H_2O. Первое, длинноволновое, окно прозрачности простирается от 8 до 13,5 мкм. В длинноволновой части этого интервала расположены крылья полосы поглощения молекулы CO_2 с центром около 15 мкм. В полосе 8—13 мкм прозрачность достигает 50—80%. В области длин волн 9,3—10 мкм расположена слабая полоса поглощения озона. Второе окно прозрачности с центром примерно на 20 мкм простирается от 16 до 26 мкм. Поглощение в нём определяется парами воды и CO_2.

В области субмиллиметровых длин волн ($\lambda > 100$ мкм) поглощение определяется молекулами H_2O, CO_2 и O_2. Так как содержание H_2O резко уменьшается с высотой, что связано с падением температуры в тропосфере, ИК-область спектра в значительной степени доступна наблюдениям с аэростатов и высотных самолётов. В этой области спектра кроме поглощения излучения атмосферой существенно и собственное излучение атмосферы, что особенно важно при исследованиях

фонового излучения Вселенной.

В видимой части спектра при наблюдениях вблизи зенита с уровня моря поглощение при идеальном состоянии атмосферы равно $0{,}21^{m}$ для визуальной части спектра (система V) и $0{,}34^{m}$ для синей части спектра (система B). При наблюдениях светил, находящихся над горизонтом выше 10—20°, поглощение пропорционально secZ, где Z — угловое расстояние светила от зенита (зенитное расстояние). Величина secZ примерно пропорциональна воздушной массе, т. е. количеству вещества атмосферы на луче зрения. При наблюдениях с уровня моря поглощение весьма существенно зависит от запылённости атмосферы. С проблемой прозрачности атмосферы тесно связан вопрос о дрожании и качестве изображения.

Производительность среднего по мощности металлургического или химического завода может достигать 100 тыс. т в год. Для строительства зеркала массой 30 млн т потребуется, по крайней мере, 300 лет работы такого завода. Предположим, что будет построено 10 таких заводов, тогда необходимое количество материала может быть изготовлено уже за 30 лет.

Теперь доставка. Если корабли будущего будут перевозить по 1000 т каждый, то 100 таких кораблей смогут перевезти необходимые материалы к месту монтажа зеркала тоже за 300 лет. Можно представить: 100 кораблей в год означает загрузку и отправку корабля каждые 3—4 дня. А ведь требу-

ется погрузить 1000 т конструкций и плёнки, а это примерно 50 контейнеров по 20 т каждый. Поэтому чтобы сократить сроки работ требуется хотя бы на порядок увеличить или грузоподъёмность, или число кораблей, и число заводов. Если начинать отсчёт от нашего времени, то быстрее, чем за 100 лет, построить такое зеркало, видимо, малореально.

Новый вопрос: где брать материал для зеркала? На Луне? Но мы сейчас не знаем, из какого материала будут делать сверхлёгкие и хорошо отражающие свет материалы. Сейчас перспективны углеродсодержащие материалы, но на Луне углерода, видимо, нет в большом количестве. Не означает ли это, что основную часть материалов придётся изготовлять из углекислоты самой Венеры? Вопросов больше, чем ответов.

Поэтому возможным вариантом может быть доставка нескольких небольших астероидов, содержащих нужные исходные материалы, к месту производства зеркала-зонтика. В любом случае такие работы можно будет начать не раньше, чем люди изучат ближнюю часть Солнечной системы и в первую очередь — пояс астероидов на предмет поиска нужных материалов. Одновременно можно будет найти и астероиды или короткопериодические кометы, состоящие из воды.

Доставка таких комет или астероидов потребует времени. Так, если переработка материала кометы или астероида составит даже 50%, необходим один астероид диаметром 500 м. Таких астероидов в ближней части Солнечной системы можно найти много. Но в любом случае нужно ориенти-

роваться на мелкие астероиды. Например, потребуется 100 астероидов диаметром 100 м. Такой астероид уже реальнее доставить к месту работ. Но если коэффициент переработки вещества будет низкий, выгоднее перерабатывать вещество астероида на месте и доставлять к Венере уже готовую продукцию. В любом случае ускорить работы никак не получится. Поэтому примем, что на строительство зонтика-зеркала потребуется от 100 до 300 лет[13] (реалистичные оценки 2025—2026 гг. с учётом автоматизированных космических заводов и «Cloud Continents»).

Второе — рассмотрим превращение астероидов в спутники на примере астероида Апофис.

В результате космических исследований последних десятилетий было установлено, что все тела в Солнечной системе подвергаются ударам крупных и мелких тел[14]. На Земле обнаружено множество кратеров, в том числе таких крупных, как Чиксулуб и Попигайский, которые возникли от ударов астероидов диаметром 10—15 км. Авторы работы[15] пришли к выводу, что причиной вымирания динозавров и различных видов животных и растений 65 млн лет назад могло быть падение астероида такого размера. В связи с этим ряд иссле-

---

[13] http://marsmeta.narod.ru/venera.html

[14] Катастрофической воздействие космических тел./ Под ред. В. В. Адушкина и И. В. Немчинова. Институт динамики геосфер РАН. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 310 с.

[15] Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V. Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction // Science. 1980, V.208, No. 4448, pp. 1095—1108.

дователей склоняется к мнению о неизбежности такой катастрофы в будущем[16].

Среди разнообразных методов борьбы с астероидной опасностью одним из самых эффективных является изменение его траектории. Для отработки этого метода необходимы полезные для человечества задачи, которые позволяли бы в полном объёме развить и усовершенствовать технологию. Такой задачей может быть превращение астероидов в спутники Земли, которые позволят решать различные космические задачи.

13 апреля 2029 г. произойдёт уникальное явление. На расстоянии около 6,1 земного радиуса от центра Земли пройдёт астероид Апофис, и в следующие 1000 лет таких близких сближений Апофиса с Землёй не будет. По данным NASA 2026 года, пролёт безопасен и не несёт риска столкновения. Многие пионеры космонавтики, например К. Э. Циолковский, Ю. А. Кондратюк, Дендридж Коул и др., освоение космического пространства вблизи Земли представляли с помощью больших обитаемых орбитальных станций. Однако доставить с Земли такие большие массы представляет серьёзную техническую и экологическую проблему. Поэтому благодаря счастливому случаю возникающая возможность превратить астероид Апофис в спутник Земли, а затем в обита-

[16] Катастрофической воздействие космических тел./ Под ред. В. В. Адушкина и И. В. Немчинова. Институт динамики геосфер РАН. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 310 с.

емую станцию, представляет значительный интерес.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.