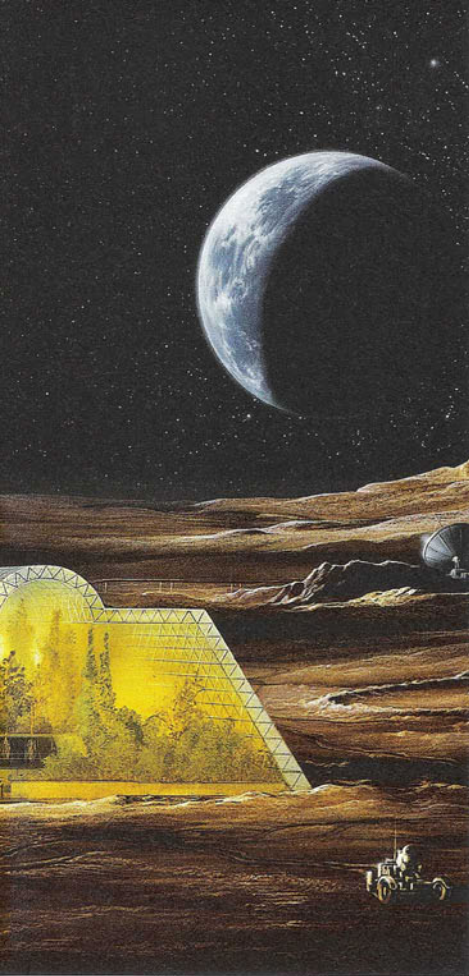




ЕЩЕ ОДНА ЗЕМЛЯ ПРО ЗАПАС

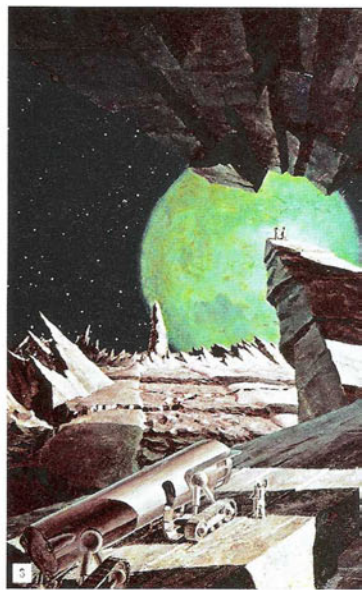
МЫ ВСТУПИЛИ В КОСМИЧЕСКУЮ ЭРУ, ТВЕРДО ВЕРА В ОБЕЩАННЫЕ ФАНТАСТАМИ ЯБЛОНИ НА МАРСЕ. НО КОСМОС ВСТРЕТИЛ НАС НЕГОСТЕПРИИМНЫМИ, НЕПРИГОДНЫМИ ДЛЯ ЖИЗНИ ЛАНДШАФТАМИ. МОЖНО ЛИ ПРИСПОСОБИТЬ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ЧУЖИЕ МИРЫ И СДЕЛАТЬ ИХ ХОТЬ НЕМНОГО ПОХОЖИМИ НА ЗЕМЛЮ?



1 Биосфера под куполом — первый шаг к заселению безжизненных миров. Картина немецкого художника Карла Рёрига «Биосфера»

2 Гигантский человекообразный робот, которому лава по колено, — характерный фантастический образ освоения Венеры из середины прошлого века

3 «Здравствуй, родная планета!» Незадолго до высадки человека на Луне художник-фантаст Андрей Соколов так представлял себе оглядывающихся назад покорителей космоса



20 лет назад вышел в прокат фантастический боевик Пола Верховена «Вспомнить все» с Арнольдом Шварценеггером в главной роли. Динамичный (пусть и незамысловатый) сюжет развивается в основном на Марсе. «Плохие парни» заставляют жителей Красной планеты платить за воздух. В решающей схватке героя Шварценеггера выбрасывают без скафандра под открытое небо на неминуемую гибель. Но в последний момент он исхитряется запустить чудовищных размеров реактор, оставленный будущим жителям Марса таинственными, но очень добрыми инопланетянами. В считанные секунды атмосфера насыщается кислородом, давление стремительно растет, красноватое небо становится голубым, и на нем появляются облака. Герой спасен, враги повержены, а освобожденные жители Красной планеты могут совершенно бесплатно дышать воздухом почти земного состава. Хэппи-энд!

Этот эпизод, пусть и в несколько карикатурной форме, иллюстрирует основную идею терраформирования — преобразования целой планеты с целью создания условий для жизни человека и других земных существ. Само слово «терраформирование» (по-английски — terraforming) впервые использовал писатель-фантаст Джек Уильямсон в 1942 году, хотя идея «подстройки» небесных тел под человека выдвигалась и ранее.

СУТЬ ДЕЛА

1 Подходящих для колонизации планет пока не найдено, то есть придется приспособлять для человека безжизненные миры.

2 Две основные задачи терраформирования: создание пригодной для дыхания атмосферы и гидросферы. На большинстве планет можно добыть кислород. Однако на Луне, Венере и Марсе острый дефицит водорода.

3 Масштаб операций, необходимых для переделки даже небольшой планеты, на много порядков превосходит современные энергетические и технологические возможности человечества.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

1 На единственной обитаемой нами планете пусть и редко, но случаются глобальные катастрофы. Первый шаг к расселению в космосе — искусственные биосферы, не требующие серьезных поставок ресурсов извне.

2 Возможно, для космической экспансии вообще не надо преобразовывать планеты, а эффективнее расширять искусственную среду обитания в замкнутых объемах на поверхности планет или в открытом космосе.

3 Человек уже радикально преобразует естественные ландшафты и меняет состав атмосферы Земли. Вскоре нам предстоит полностью взять ответственность за систему жизнеобеспечения «звездолета Земля».

В идеале, конечно, хотелось бы отыскать планету, идентичную Земле. В Солнечной системе таких нет. Но даже если сходный мир найдется у другой звезды, он наверняка окажется обитаемым. Достаточно сказать, что кислородная атмосфера может быть только там, где есть растительность. Иначе кислород, будучи очень активным веществом, быстро перейдет в химически связанное состояние.

Колонизация обитаемых планет — вопрос весьма сложный как в техническом, так и в этическом плане. Фантасты нередко начинают терраформирование обитаемых планет с полной стерилизации, чтобы устранить биологическую угрозу для будущих колонистов. Это крайне сложная операция, поскольку жизнь обладает колоссальной приспособляемостью, и то, что губительно для одних видов, обещает процветание другим. Стерилизация может потребовать применения таких мер, после которых планета надолго станет непригодной для человека. А главное — вправе ли мы вообще столь грубо вмешиваться в чужую жизнь, пусть даже она принадлежит микробам?

Можно, конечно, попробовать самим изменить свою природу и путем направленных мутаций приспособиться к новой среде обитания. Но возможности и последствия подобных изменений пока совершенно не поддаются прогнозу. Людям, не готовым пойти на риск подобного «гомоморфинга» и которым в не меньшей степени претит мысль о стерилизации обитаемых планет, придется использовать необитаемые и заняться их приспособлением под свои нужды.

ВЫБИРАЕМ ПЛАНЕТУ

Первым делом сформулируем требования к преобразованной планете. Очевидно, она должна иметь твердую поверхность и силу тяжести, ненамного отличающуюся от земной. Планета радиусом в 1,5 раза больше нашей окажется в 5 раз массивнее, а ваш вес на ней вырастет вдвое. Так что более крупные небесные тела нам не подходят, во всяком случае, пока мы не научимся управлять гравитацией.

С другой стороны, планета должна своим тяготением удерживать атмосферу, пригодную для дыхания, а также защищающую от метеорных частиц и жесткого излучения. В Солнечной системе самое маленькое тело с плотной атмосферой — спутник Сатурна Титан. Его масса — всего 2% земной. Но это очень холодный мир, и если подогреть его с -175°C до привычных нам $+15^{\circ}\text{C}$, атмосфера быстро улетучится. Пример тому — Меркурий, который в 2,5 раза массивнее Титана, но не удержал атмосферу в лучах жаркого Солнца. Марс еще вдвое массивнее и находится в более прохладной зоне, но даже он сохранил лишь очень скромную атмосферу, на два порядка менее плотную, чем земная.

Выбрав планету с подходящей гравитацией, можно заказывать атмосферу: ее химический состав и температура должны быть как можно ближе к земным. Желательно также наличие у планеты магнитного поля, отклоняющего потоки заряженных частиц, а также присутствие на поверхности жидкой воды. Земной период суточного вращения и привычную смену времен года можно считать показателями повышенного комфорта.

Важно учесть и астероидную обстановку в окрестностях выбранной планеты. Постоянная бомбардировка крупными метеоритами может свести на нет все труды по терраформированию. Не легче добиться устойчивых результатов и на планете с сильно вытянутой орбитой (или принадлежащей к системе с двойной звездой).

БЛИЖАЙШИЕ ОКРЕСТНОСТИ

Впрочем, как добраться до других звезд, пока неясно, а откладывать подготовку запасных планет в долгий ящик было бы опрометчиво. Нельзя ли обустроиться

АЛЬТЕРНАТИВА

Эфирные поселения

Сама идея терраформирования может в итоге оказаться порочной. Ресурсы и технологии, необходимые для его осуществления, вероятно, будут доступны высокоразвитым цивилизациям. Но при достижении такого уровня человечеству, возможно, вовсе не потребуются планеты. Быть может, более продуктивным станет путь создания «эфирных поселений», идею которых выдвинул Константин Циолковский. Мы живем в искусственных городах и домах, и они удобнее естественных пещер на морском берегу. Стоит ли тысячи лет создавать на Венере океан, чтобы потом зачерпнуть из него ведро? Не естественнее ли налить воды из бортовой системы жизнеобеспечения?

Используя неограниченные запасы звездной энергии, человек может все необходимое для комфортной жизни получать на борту своего космического жилища. А планеты? Они станут источником сырья, и для этого им вовсе не обязательно быть пригодными для жизни.



на соседних планетах? Сразу отбросим планеты-гиганты — огромные газовые пузыри без твердой поверхности и с сильнейшей гравитацией. Меркурий чересчур мал и близок к Солнцу. Он практически не защищен магнитным полем и не способен долго удерживать атмосферу — ее сдувает солнечным ветром. До Плутона и других транснептуновых объектов руки дойдут нескоро — слишком они далекие и холодные. А вот с Луной, Марсом, Венерой, некоторыми крупными астероидами и спутниками в системах Юпитера и Сатурна можно поработать.

Луна — самый близкий и одновременно довольно сложный объект для терраформирования. Расчеты показывают, что если создать на Луне кислородную атмосферу, она может продержаться там миллионы лет при условии, что температура не будет подниматься выше $+20-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако сейчас на безвоздушной Луне суточный перепад температуры на экваторе достигает 300 градусов: от $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ перед рассветом до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ в полдень. Дневная жара значительно ускорит рассеивание атмосферы в космосе, но без воздуха амплитуду тепловых колебаний не уменьшить. Так что, если уж создавать атмосферу на Луне, делать это надо быстро, скачком.

В принципе, из реголита (лунного грунта) можно электролизом в неограниченных количествах добывать кислород — его там более 40% по массе. Но объемы необходимого производства поражают воображение: потребуется переработать порядка 100 триллионов тонн реголита. Всей горной промышленности Земли надо трудиться тысячу лет, чтобы только извлечь такое количество породы. И даже такими колоссальными усилиями лунную атмосферу не сделать теплой — в реголите нет водорода и углерода, входящих в состав углекислого газа, водяного

Алексей Леонов
и **Андрей Соколов**
«Затмение на Луне».
Яркое кольцо вокруг Земли — ее атмосфера, преломляющая лучи скрытого позади Солнца. Хотя на атмосферу приходится всего миллионная доля массы Земли, именно воздух — первое условие пригодности планеты для жизни. Чтобы ходить по Луне без скафандра, вполне достаточно извлечь кислород из метрового слоя грунта по всей ее поверхности.

ГОРИЗОНТ

Налогоплательщики не одобряют

Одно из препятствий для терраформирования — ограниченный срок человеческой жизни. Серьезное преобразование планеты займет сотни, если не тысячи лет и потребует ресурсов, сопоставимых со всей экономикой Земли. У большинства людей горизонт инвестирования не превышает нескольких лет. У крупнейших корпораций и государств — 20–40 лет. Дальше заглядывают только религии: колоссальные пирамиды и храмы создавались не на благо живущих.

Найдет ли человечество основания, чтобы поступиться своим нынешним благосостоянием ради призрачного счастья отдаленных будущих поколений? В прошлом веке было несколько неудачных социальных экспериментов такого рода. Похоже, мы не только технически, но и политически не готовы к столь масштабным проектам.



Современный состав атмосферы сотни миллионов лет формировался благодаря цианобактериям, способным усваивать из воздуха углерод и азот, выделяя кислород. Возможно, фантастические биотехнологии будущего позволят радикально ускорить процесс трансформации планеты

пара и метана — основных соединений, дающих парниковый эффект. Правда, в полярных областях нашего спутника, на дне кратеров, куда никогда не заглядывает Солнце, могут быть небольшие запасы воды. Но им найдется более полезное применение, чем утепление Луны, тем более что вода из-за своей малой молекулярной массы улетучится из атмосферы всего за несколько тысяч лет. Так что лунный климат даже с атмосферой останется весьма суровым — по расчетам, температура будет довольно сильно колебаться где-то вокруг отметки -20°C .

Добавьте к этому отсутствие магнитного поля, защищающего от солнечных вспышек, и станет ясно, что в качестве перевалочной базы Луна еще годится, но на роль второй Земли никак не тянет.

ЯБЛОНИ НА МАРСЕ?

Следующий кандидат на звание «запасной планеты», несомненно, Марс. Считается, что в прошлом он напоминал Землю, обладая более плотной атмосферой и водяными океанами. Климат планеты мягче лунного и немного напоминает антарктический: днем на экваторе температура достигает $+20^{\circ}\text{C}$, а ночью падает до -80°C . Сегодня вода здесь существует в виде льда, а атмосфера состоит в основном из углекислоты. Это бы полбеды, но ее давление в 160 раз меньше земного, так что человеку здесь не обойтись кислородной маской, а требуется полноценный скафандр. Еще один недостаток — слабое магнитное поле, плохо защищающее от космической радиации. Тем не менее многие считают Марс самой пригодной для терраформирования планетой Солнечной системы.

Казалось бы, начать надо с некоторого подогрева планеты, чтобы растопить полярные шапки, высвободить имеющиеся в них запасы воды и подготовиться ко второму, биологическому этапу терраформирования. Однако на самом деле первейшей целью должно стать повышение атмосферного давления как минимум в несколько десятков раз. В противном случае вода просто не сможет существовать в жидком виде и будет переходить из твердой фазы сразу в пар. Кроме того, разреженная атмосфера Марса практически не задерживает солнечный ультрафиолет, губительный для любой жизни на поверхности.

Впрочем, на первых порах повысить давление можно как раз за счет испарения полярных шапок. Для этого нужно покрыть их тончайшей темной пленкой или даже просто пылью, снизив долю отражаемого солнечного тепла. Если сыпать угольную пыль слоем толщиной 0,1 миллиметра, то на всю операцию ее потребуется примерно 400 миллионов тонн. Столько перевозит вся земная авиация лет за пять. Или можно использовать терморасширенный графит, плотность которого в десятки раз меньше. Если бы стояла задача растопить на Земле гренландский ледник, сравнимый по площади с марсианскими полярными шапками, с этим, в принципе, можно было бы справиться. На Марсе же для этого потребуется создать целую индустрию. Другой способ — попытаться растопить марсианские льды с помощью орбитальных зеркал — концентраторов солнечного излучения. Правда, их сборка на орбите Марса — задача, не уступающая по сложности первой.

Но даже в случае выполнения этой первоочередной задачи успех надо будет весьма оперативно закрепить. Испарившихся полярных шапок, скорее всего, не хватит, чтобы в должной мере согреть планету и предотвратить новое оледенение. Необходимо, не откладывая, продолжать пополнение атмосферы другими газами, в первую очередь кислородом. Часто предлагают использовать для этой цели микроорганизмы или растения. Но они будут добывать кислород из атмосферной углекислоты, а значит, не увеличат, а, наоборот, уменьшат плотность воздуха. К тому же никакая жизнь не сможет развиваться на Марсе, пока



Оператор за пультом терраформирования планеты. Фантасты не могут долго ждать, и поэтому их космические инженеры преобразуют планеты быстрее, чем устаревает техника, известная автору

ЗАБЛУЖДЕНИЕ

Кризис перенаселения

Существует заблуждение, будто колонизация других планет необходима для решения проблемы перенаселения. Однако если численность населения продолжит расти экспоненциально (а то и быстрее, как в XIX–XX веках), то никакая космическая экспансия не поможет. В XX веке население Земли удваивалось каждые 50 лет. Даже если мгновенно переселить половину человечества на Землю-2, через полвека на обеих планетах опять будет тесно.

Пусть даже флотилии звездолетов помчатся во всех направлениях, везде основывая колонии, жизненное пространство станет увеличиваться в лучшем случае как куб пройденного ими расстояния, а значит, будет отставать от экспоненциального роста населения.

Так что решение проблемы лежит только на пути стабилизации численности населения, и, судя по демографическим прогнозам, так и случится во второй половине нынешнего века.

не обеспечена защита от солнечного ультрафиолета. Так что задачу насыщения атмосферы кислородом на микробов не переложишь. На Марсе, как и на Луне, кислород можно вырабатывать из грунта, только масштабы производства должны быть на порядок больше. Одна из стратегий состоит в том, чтобы использовать для этого кислородные микроразоводы, самореплицирующиеся на молекулярном уровне. В этом случае всю работу можно повернуть за несколько сотен лет. С появлением кислорода солнечное излучение само станет нарабатывать в атмосфере защитный озон, и появится возможность заселить Марс живыми организмами, хотя на планете по-прежнему будет еще слишком холодно для комфортного проживания человека.

ТУШЕНИЕ АДСКОГО ОГНЯ

Венера с ее ужасающими пятьюстами градусами Цельсия на поверхности и давлением в сотню атмосфер на первый взгляд мало подходит для терраформинга, тем не менее по размерам и силе тяжести она очень близка Земле. Чтобы приспособить ее для человека, надо охладить поверхность, разогретую мощнейшим парниковым эффектом, а значит, предстоит преобразовать атмосферу: избавиться от углекислого газа с диоксидом серы и наполнить кислородом.

Одна из первых программ терраформирования Венеры принадлежит американскому астробиологу Карлу Сагану. В 1961 году он предложил заселить облака Венеры генетически модифицированными бактериями, которые будут поглощать углекислый газ, выделять кислород, а углерод фиксировать в виде органических соединений, постепенно выпадающих на поверхность планеты. Однако спустя более 20 лет Саган вынужден был признать, что его метод не сработает: атмосфера Венеры оказалась значительно плотнее, чем он предполагал, и в ней очень мало водорода, необходимого для жизнедеятельности бактерий.

В модифицированных вариантах плана Сагана предлагается использовать высокотехнологичные самовоспроизводящиеся аэростаты. Однако эта технология еще менее реалистична, чем размножающиеся марсианские кислородные заводы — тем, по крайней мере, доступны все химические элементы, имеющиеся на поверхности планеты. Аэростатам же предстоит производить «потомство» практически из одного только углерода.

Даже если таким способом удастся сократить количество углекислоты в атмосфере и ослабить парниковый эффект, этого будет недостаточно для охлаждения планеты. Поэтому вдобавок предлагается экранировать часть поверхности Венеры от солнечного излучения огромным космическим щитом, разместив его в точке Лагранжа между Венерой и Солнцем. Постройка в космосе сооружения размером в тысячи километров выходит далеко за пределы современных возможностей человечества, но и этого будет недостаточно для превращения планеты в обитель жизни. Ведь нужно еще сформировать на Венере гидросферу.

ПРОСТО ДОБАВЬ ВОДЫ

Энтузиасты терраформирования предлагают добывать водород на периферии планетной системы, где обретаются транснептуновые астероиды и кометы, богатые, как предполагается, водяным, аммиачным и метановым льдом. Корректируя орбиты, можно сбрасывать их на засушливые планеты для восполнения недостатка водорода. Согласно современным космогоническим теориям, нечто подобное происходило под воздействием тяготения планет-гигантов в первые миллионы лет эволюции Солнечной системы. Именно так вода появилась на Земле и соседних планетах. Но Марс почти потерял ее из-за своей слабой гравитации, а Венера — из-за высокой температуры. «Строительный мусор», оставшийся на

„ЗЕМЛЯ — КОЛЫБЕЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА, НО НЕЛЬЗЯ ЖЕ ВЕЧНО ЖИТЬ В КОЛЫБЕЛИ!“

К.Э. Циолковский

ВЗГЛЯД НАЗАД

Звездолет Земля

В повседневной суете мы не замечаем, что на самом деле уже давно занимаемся терраформированием: преобразуем свою родную планету. С древнейших времен деятельность человека серьезно влияет на облик и состояние земной экосистемы и даже стала геологическим фактором.

Сегодня каждый может «полетать» над Европой или Китаем с помощью программы Google Earth и своими глазами убедиться, что в масштабах целых континентов мы уже живем среди ландшафтов, очень далеких от естественных. Земля расчерчена квадратами полей и кварталов, а от покрытых когда-то лесом и джунглями остались крошечные островки. Это сказывается на тепловом и химическом балансе атмосферы, воды и почвы, меняет альбедо планеты.

Изменения, совершаемые человеком, кажутся обычно опасными и вредными уже хотя бы в силу непредсказуемости их последствий. Так что, прежде чем замахнуться на переделку иных миров, нам предстоит потренироваться «в малых формах», понемногу наводя порядок на Земле. И если в этом деле нам хотя бы отчасти будет сопутствовать успех, то, возможно, заниматься терраформированием других планет еще какое-то время не потребуется.

холодных окраинах планетной системы, должен был сохранить большое количество водородосодержащих соединений. Однако, обсуждая план их использования, надо четко представлять себе его масштабы.

Объем земных океанов составляет около 1360 миллионов кубических километров. Если эту воду превратить в один ледяной астероид, он имел бы диаметр 1400 километров. А с учетом неизбежных примесей потребуется планетоид размером более 1500 километров. Столкновений с такими объектами не случилось в Солнечной системе миллиарды лет. Удар изувечит планету до неузнаваемости: расплавит значительную часть коры и разворотит мантию до глубины в сотни километров. Тысячи лет придется ждать восстановления твердой поверхности, и еще миллионы лет ее будет сотрясать колоссальные землетрясения и извержения вулканов. Часть вещества при ударе вышвырнет в межпланетное пространство, отчего резко возрастет метеоритная опасность во всей внутренней части Солнечной системы. А из-за разогрева в космос станет утекать атмосфера, и в первую очередь доставленная такой страшной ценой вода.

Вряд ли эту затею можно назвать терраформированием. К тому же нет полной уверенности, что в составе транснептуновых объектов пояса Койпера действительно так много водорода. Наконец, непонятно, какой силой можно изменить орбиту малой планеты полуторатысячекилометрового размера. Поэтому апологеты бомбардировок обычно предпочитают говорить не об астероидах, а о кометных ядрах из облака Оорта. За ними, правда, придется лететь дальше, но зато они имеют размеры от сотен метров до десятков километров и, судя по спектрам кометных хвостов, водорода в них много.

КОМЕТНАЯ КОСМЕТИКА

Для создания на Венере океанов, сравнимых с земными, нужно около нескольких миллионов 10-километровых кометных ядер, таких примерно, как у кометы Галлея. Впрочем, для полноценной колонизации планеты вполне хватило бы десятой или даже сотой доли этого числа. Столкновения с такими объектами Земля испытывает раз в 100–200 миллионов лет. Случись такое в наши дни, это вызвало бы колоссальные разрушения. Однако на необитаемой Венере ущерб ограничится корректировкой карт: после каждого удара на поверхности будет появляться кратер размером в десятки километров. И такие коррективы придется вносить на протяжении тысячи лет практически ежедневно — после каждого падения.

Хотя отдельное столкновение с кометой не оказывает глобального воздействия на планету, частое повторение таких событий на протяжении долгого времени может иметь серьезные последствия. Каждый раз в воздух выбрасывается огромное количество пыли и аэрозолей, что может вызвать непредсказуемые изменения химического и теплового режима атмосферы. Другим итогом продолжительной интенсивной бомбардировки станет постепенное полное переплавление коры. Планета, словно после серьезной косметической операции, внешне помолодеет и станет выглядеть так, будто недавно образовалась. При этом резко усилившаяся тектоническая активность сделает ее весьма неуютным жилищем. Конечно, эффект омоложения не будет долгосрочным, ведь глубинные слои мантии и ядро планеты не затрагиваются поверхностными воздействиями. Но это кратковременное по геологическим меркам омоложение человеку может показаться едва ли не вечностью.

Пройдут еще многие тысячи лет, прежде чем планета, пережившая такую кометно-косметическую бомбардировку из космоса, станет пригодна для колонизации. Чтобы правильно ориентироваться в перспективах кометной технологии, полезно сравнить ее с подходами к защите от астероидной опасности.

СПОСОБНОСТЬ ПЕРЕМЕЩАТЬ ПЛАНЕТЫ — ВХОДНОЙ БИЛЕТ В СООБЩЕСТВО ЦИВИЛИЗАЦИЙ ВТОРОГО ТИПА

Самые радикальные средства, находящиеся на грани современных технических возможностей, позволяют изменить скорость стометрового астероида на жалкие сантиметры в секунду, чтобы спустя годы он отклонился от своей прежней опасной орбиты на тысячи километров и прошел мимо Земли. Километровый «камушек» будет в тысячу раз массивнее, и сколько-нибудь заметно повлиять на его движение сейчас практически невозможно. Что уж говорить о кометных ядрах, которые еще на 2–3 порядка массивнее и находятся в далеком облаке Оорта, до которого современным аппаратам лететь не меньше 30 лет без шансов вернуться назад.

ЦИВИЛИЗАЦИИ ВТОРОГО ТИПА

При всей трудности преобразования атмосферы и гидросферы эти задачи затрагивают лишь ничтожную долю массы планеты. Иное дело — изменение периода ее суточного вращения или орбиты вокруг звезды. Кинетическая энергия, запасенная в этих движениях, огромна. И все же планету можно немного раскрутить, направляя удары кометных ядер почти по касательной к ее поверхности. Миллиона таких ударов хватит, чтобы укоротить сутки на Венере до земной недели (сейчас они длятся четыре месяца).

Скорректировать орбиту планеты намного труднее. В первом приближении можно сказать так: на сколько процентов хочется изменить орбитальную скорость планеты, столько же процентов от ее массы надо на нее сбросить. То есть столкновение Земли с Луной не изменит скорость движения нашей планеты вокруг Солнца больше, чем на процент. Впрочем, если бы в нашем распоряжении был аннигиляционный реактивный двигатель со скоростью истечения, близкой к световой, для этой операции хватило бы скромного 30-километрового астероида из антивещества. Неясно, правда, зачем цивилизации с такими ресурсами и технологиями менять орбиту планеты на один процент. Разве что для своеобразно понимаемой красоты.

Академик Николай Кардашев в свое время разделил возможные космические цивилизации на три типа: первые овладели энергией в масштабах планеты, вторые — в масштабах своей звезды, третьи — целой галактики. Так вот, способность перемещать планеты, пожалуй, можно считать входным билетом в сообщество цивилизаций второго типа, которые могут вовсе не нуждаться в терраформировании. Планета — это крайне неэффективное использование ценных запасов вещества. Огромное количество железа, никеля, кремния, кислорода и других редких во Вселенной тяжелых элементов помещено в нее лишь для того, чтобы создавать силу тяжести, а для жизни используется ничтожной толщины поверхностный слой.

Гораздо более эффективное астроинженерное сооружение придумал профессор Принстонского университета Фримен Дайсон (впрочем, поговаривают, что он «подсмотрел» идею у фантаста Олафа Стэплдона). В простейшем виде это сравнительно тонкая сферическая оболочка радиусом того же порядка, что и орбиты планет. Она окружает звезду, давая возможность использовать всю ее энергию, а по площади в миллиарды раз превосходит обитаемую поверхность Земли. Если пустить вещество нашей планеты на создание сферы Дайсона, ее толщина составит всего несколько миллиметров.

Вряд ли этого будет достаточно при любых допущениях о прогрессе инженерной мысли. Чтобы под ногами и над головой у обитателей сферы было хотя бы несколько метров вещества, на строительство придется пустить планеты-гиганты. Впрочем, сооружение сферы Дайсона выходит далеко за пределы скромных задач терраформирования. ☺

ЧТО ПОЧИТАТЬ

1 **Martin Beech. Terraforming: The Creating of Habitable Worlds.** New York, 2009. — Научно-популярная книга (англ.) с обзором современных представлений об условиях, необходимых для существования жизни в космосе, и о путях возможного терраформирования планет Солнечной системы. Книга доступна для ограниченного просмотра на сервисе Google.Books.

<http://bit.ly/9ZPXyC>

2 **Википедия: Тераформирование.** — обстоятельная статья о технических возможностях преобразования планет и спутников Солнечной системы. <http://bit.ly/b8Qs2R>

3 **К вопросу о коррекции климата Марса.** — Статья с количественными оценками перспектив приведения атмосферы Марса в состояние, пригодное для жизни человека без скафандроа. <http://bit.ly/aEjjX4>

4 **Сергей Тармашев. «Древний» («Катастрофа»), «Корпорация», «Война».** — Тераформирование Земли сотни лет спустя после ядерной катастрофы занимает важное место во второй части фантастической трилогии. А в третьей части приспособлением планет под свои нужды занимают противостоящие цивилизации. <http://drevniy.ru>