



Жизнь в стеклянной банке



МЫСЛИ О БУДУЩЕМ

Писатели-фантасты, описывающие межзвездные «корабли поколений», обычно помещают в них оранжереи, которые снабжают космонавтов не только продуктами питания, но и кислородом, очищая воздух от углекислого газа.

Мы, живя на дне кислородной атмосферы, как правило, не заботимся о создании полностью замкнутых экосистем. Даже тепличные хозяйства сообщаются с атмосферой, в них регулярно заменяют плодородную почву. Впрочем, круговорот вещества в оранжереях и тепличных хозяйствах и должен быть разомкнут —

ведь они предназначены для получения товарной продукции, которая потребляется вне их. Куда больше похожи на замкнутые системы большие аквариумы. Там обычно кроме рыб обитает старательно подобранный набор водорослей, улиток и прочих беспозвоночных, задача которых — обеспечивать чистоту воды. Некоторые энтузиасты делают маленькие замкнутые экосистемы в запаянных банках, как водные, так и состоящие из сухопутных растений и мелких насекомых. Такие системы могут функционировать на протяжении нескольких лет.

В течение XX века было произведено несколько весьма амбициозных экспериментов по созданию замкнутых экосистем, включающих в себя человека. Наиболее широко известен американский проект «Биосфера-2», стартовавший в начале 90-х годов XX века (<http://biosphere2.org>).

Это грандиозная оранжерея площадью в полтора гектара и объемом 200 тысяч кубических метров, внутри которой были смоделированы разнообразные природные зоны Земли. В ней поселили более 3000 видов растений и животных.

Предполагалось, что эта маленькая экосистема сможет обеспечивать пищей, водой и кислородом восемь человек.

К сожалению, этот эксперимент получился не слишком удачным. С одной стороны, не удалось обеспечить контроль численности микроорганизмов и насекомых. С другой — был допущен ряд просчетов при моделировании «неживой природы». Так, например, постоянное падение содержания кислорода во время первого эксперимента объясняют тем, что углекислый газ из атмосферы поглощался бетонными конструкциями, лишая растения материала для выработки кислорода. Кроме того, влага, конденсировавшаяся под стеклянной крышей, приводила к выпадению искусственного дождя. Поэтому «пустыня», старательно созданная в комплексе, заросла травой.

После первых неудачных экспериментов с полностью автономным функционированием этот комплекс использовали для других исследований, не связанных с полной изоляцией от большой биосферы Земли. Получился уникальный полигон для моделирования биологических процессов, пусть даже не полностью замкнутый.

Несколько более успешными оказались менее амбициозные эксперименты Красноярского Института биофизики СО РАН (<http://www.ibp.ru/labs/mc.php>). Там не ставилась задача создания целой биосферы, а разрабатывалась именно биологическая система жизнеобеспечения для космических кораблей. Более того, не предполагалось, что она будет полностью обеспечивать экипаж пищей, консервы на борту все-таки должны быть.

В результате получился заметно более компактный комплекс БИОС-3, площадью всего 126 квадратных метров и объемом 315 кубометров, способный обеспечить жизнедеятельность целых трех человек. Правда, для этого пришлось пойти на использование высокопродуктивных гидропонных систем вегетации, которые требуют постоянного контроля со стороны человека или техники, — на естественную биологическую саморегуляцию решили не полагаться. Чтобы обеспечить достаточную продуктивность, использовали растения специальных сортов.

С 1972 года до середины 80-х в этом комплексе было проведено более десяти экспериментов, достигнута 100%-ная автономность по воде и кислороду и 50%-ная по пище. Правда, в дополнение к биологической очистке воздуха и воды потребовались ионообменные водяные и термодаталитические воздушные фильтры. Впрочем, как мы знаем, в большой биосфере Земли получение чистой питьевой воды — родниковой или артезианской — тоже связано с использованием огромных, многокилометровых песчаных фильтров.

Авторы этого комплекса в 80-х уже начали подготовку к проведению аналогичного эксперимента на орбитальной станции, но распад СССР не позволил реализовать этот план. В 2005 году комплекс, заброшенный в годы перестройки, начали восстанавливать.

В 2014 году похожий комплекс «Лунный дворец-1» (Юэгу-1, Yuegong-1) был испытан в Китае. Особенности национальной китайской кухни позволили предпринять попытку обеспечить экипаж этого комплекса животными белками. Если американцы в «Биосфере-2» разводили коз, то китайцы ограничились мучными червями. Тем не менее уровень автономности по пище в «Лунном дворце» примерно такой же, как в БИОС-3. Разработка этого комплекса производится в рамках китайской лунной программы, так что, возможно, мы увидим подобные системы на лунных станциях.

Если рассмотреть возможные области применения этих автономных систем, то «Биосферу-2» можно считать прототипом лунной или марсианской колонии, которая должна обеспечить существование людей неограниченное время, а БИОС-3 и «Лунный дворец» — прототипами систем жизнеобеспечения для небольших долговременных баз и межпланетных кораблей, которые могут себе позволить завозить с Земли до половины продовольствия.

А так ли нужна 100%-ная продовольственная автономность кораблю или базе? Полярные экспедиции, ухидившие в XX веке в Арктику и Антарктику на несколько лет, брали с собой все продовольствие, не особенно рассчитывая на пополнение запасов охотой. У опытных и предусмотрительных путешественников, таких, как Нансен, проблем с неполноценностью питания не возникало. Так что можно сказать с уверенностью, что сохранять продовольствие на протяжении сроков, необходимых для экспедиций к планетам Солнечной системы, мы умеем. Поэтому если искусственная экосистема может обеспечить круговорот кислорода и воды и только частично питание членов экипажа, этого уже вполне достаточно и для межпланетных полетов, и для долговременных баз.

Конструкции автономных экосистем размером с город, площадью в десятки и сотни гектаров, способные обеспечить жизни тысяч человек, тоже когда-нибудь придется разрабатывать. К сожалению, эти эксперименты стоят весьма дорого. Даже полуторагектарная «Биосфера-2» обошлась более чем в 200 миллионов долларов. А вероятно, потребуются еще не одна неудачная попытка, прежде чем удастся создать систему, которая с минимальным вмешательством человека будет поддерживать себя и производить достаточно продуктов питания.

Судя по всему, подобные системы будут требовать нескольких лет, если не десятилетий для выхода на режим — чтобы установилось химическое равновесие между атмосферой, водоемами и грунтом, чтобы сформировались устойчивые растительные и микробные сообщества. А потом еще надо будет отработать методику создания этих систем из инопланетных материалов. Ведь мы не сможем привезти на Марс десятки тысяч тонн плодородной почвы. Значит, придется использовать местные грунты, которые должны будут заселяться растениями примерно так же, как на Земле растения осваивают вулканический пепел или голую землю на месте рекультивированных карьеров. Вулканический пепел считается очень плодородным, земледельцы издавна селятся недалеко от действующих вулканов, невзирая на опасность извержения. Но это потому, что большая часть поверхностных горных пород, в так называемой зоне гипергенеза, обеднена биогенными элементами — она постоянно промывается атмосферными осадками, на ней тысячелетиями растут растения, поглощающие эти вещества. Выброшенные из недр вулканические породы обогащены ими, и они привлекательны для растений, хотя содержат и некоторые ядовитые вещества, например сульфиды. В кислородной атмосфере, промываемые дождями, пирокластические породы буквально через месяцы становятся пригодными для жизни почвенных микроорганизмов, а потом и растений.

Исследования ученых Вагенингенского университета (Нидерланды) показывают, что лунный реголит и марсианские породы, смоделированные по данным марсохода «Патфайндер», по способности поддерживать растительную жизнь похожи на земные вулканические пеплы (PLoS ONE, 2014, 9, 8, e103138, doi: 10.1371/journal.pone.0103138).

Представляют интерес и еще более компактные системы, которые требуют заметно меньше площади на человека, чем 40 квадратных метров, но обеспечивают в основном кислород и воду. Такие конструкции можно создать на основе фотореакторов с микроводорослями. Если создание искусственных экосистем, производящих съедобные для человека растения, требует усилий целых научно-исследовательских институтов, то эти фотореакторы вполне по силам непрофессионалам. Существуют любительские сообщества, занимающиеся выращиванием хлореллы и спирулины в домашних условиях. Хотя любители и не дышат исключительно тем кислородом, который выработан их водорослями, а только употребляют эти водоросли в пищу.

Виктор Вагнер