

Как нам представляется, оптимальная температура для фотосинтеза +14°C. Это средняя температура на Земле, к которой за многие тысячелетия растительность хорошо адаптировалась. При ее повышении фотосинтез может уменьшиться, зато все органические процессы в почве (перегнивание остатков растений) с выделением углекислого газа усиливаются. Даже если некоторые из них лучше проходили при более низкой температуре, нужно понимать, что микробам намного легче перестроиться (сукцессия, адаптация) на новый температурный режим, чем деревьям. Некоторые ученые уверены, что средний планетарный фотосинтез тоже будет расти при повышении температуры, но на самом деле этот вопрос никто не изучал.

Другими словами, уточнения требуют далеко не все факторы, а лишь принципиальные, которые включены в модели наихудшего сценария. Многие параметры из них можно измерять со спутников. Другие — наземными способами. Сегодня, чтобы уточнить наихудший сценарий, нужно быстрее объединить в единую систему все имеющиеся доступные способы сбора информации. Модели ИБФ впервые показали возможность существования так называемой «даты необратимости», после которой даже полная остановка сжигания топлив не прекратит глобального потепления.

А какой из оставшихся параметров можно считать самым важным?

Самый главный параметр всех моделей — это чувствительность атмосферы. На сколько градусов повышается средняя температура на Земле при увеличении (удвоении) углекислого газа в атмосфере? Но именно этот параметр рассчитать сложнее всего. Ведь точных расчетов невозможно произвести, а парниковый эффект дает не только углекислый газ от сжигаемых топлив, но и природный метан, причем несравнимо больше. Например, запасы метана в арктических землях составляют тысячи гигатонн (Гт). Если данные территории начнут оттаивать, точка необратимости будет достигнута очень быстро. На эти исследования совместно с Институтом биологических проблем криолитозоны СО РАН в Якутске в прошлом году был выделен грант Президиума РАН. Полуторметровые колонки мерзлой тундровой земли (части экосистем) привезли в холодильниках для исследований в Красноярск. Сейчас их изучают в специальных, сконструированных нами лабораторных замкнутых мини-экосистемах, изменяя условия: температурный режим, давление, влажность и фиксируя органические процессы с поглощением и выделением парниковых газов.

Есть и другие теоретические находки. Если вычестить из сложной температурной кривой за последние сто лет вулканическую деятельность, Эль-Ниньо (колебания температуры поверхности океана) и другие известные факторы, то окажется, что она росла вовсе не постепенно по мере увеличения в атмосфере парниковых газов, а резкими скачками — двумя ступеньками высотой в градус. Откуда взялись такие скачки, непонятно. А это значит, что во всех существующих моделях опять что-то не учтено.

Используя свои модели, биофизики попытались засадить виртуальным лесом практически всю планету и выяснили, что даже это не спасет от глобального потепления. Возможности биосферы Земли оказались практически исчерпаны. И хотя геологи, мыслящие в масштабах тысяч и миллионов лет, успокаивают, что такие циклы потепления и похолодания происходили на Земле неоднократно, не менее пугающе от этого выглядят прогнозы мощных наводнений и потопов, обещающих смыть с ее лица многие города и страны. Красноярские ученые советуют своим голландским и английским коллегам перебираться в Сибирь, подальше от грядущих катастроф, но жителям тех стран эти шутки не кажутся смешными.

В каком состоянии сегодня известный космический проект «БИОС»?

Замкнутую систему жизнеобеспечения в экстремальных условиях «БИОС-4» для длительного проживания космонавтов на Луне сегодня могут начать использовать для проживания в военных частях в арктических регионах и в небольших поселках на Крайнем Севере. Сегодня все продукты и ресурсы там привозные, но это требует больших финансовых затрат. Кроме того, полная зависимость от привозного обеспечения — это всегда риск для жителей этих территорий. Изменились метеоусловия, начались, допустим, мощные бураны — и доставка продуктов и топлива надолго прекратилась. Кстати, одна из главных проблем энергообеспечения на Крайнем Севере — это невозможность собирать и аккумулировать энергию от ветряных двигателей из-за их неравномерной работы, связанной с порывистым ветром. Поскольку оранжереи должны отапливаться, этот вопрос придется решить в первую очередь. Для этого Институт биофизики СО РАН должен будет сотрудничать с Институтом теплофизики СО РАН, в котором специалисты имеют огромный опыт получения и хранения тепловой энергии. Решение вопроса уже найдено, и сегодня дело за согласием заказчика приступить к экспериментальным работам. Что же касается аналогии арктического модуля с «БИОС», то здесь задача существенно упрощается, поскольку в Арктике не требуется снабжения экипажа кислородом и глубокого замыкания. Соответственно, расходы на организацию такой системы несравнимо ниже. По сути, они сводятся к строительству оранжереи, где не нужно будет поддерживать полный цикл замыкания круговорота веществ.

Герметичный модуль «БИОС» дал большой опыт работы с космическими технологиями. Ваш проект с МКС как-то связан с этим опытом?

Разумеется. Ведь МКС — не площадка для экспериментов, поэтому все работы велись на «БИОС-3». Координация этого проекта была возложена на французский Институт космической физиологии и медицины (MEDES). Поскольку проект был закрытым, я не могу подробно рассказывать о результатах

## appendix

### БИОС

Родоначальниками системы «БИОС» были Сергей Королев и Леонид Кириенский — создатель и директор Института физики СО АН СССР. Первая система появилась в 1964 году — герметичный бокс с водорослями, которые производили кислород для дыхания экипажа. В пищу эти водоросли не годились. Спустя 20 лет в оранжерее росли уже высшие растения и овощи. В конце 1980-х годов финансирование проекта «БИОС» практически прекратилось. В 1990-х создан Международный центр замкнутых экологических систем, где уровень замыкания довели до 90%. Некоторое время велись совместные работы с Европейским космическим агентством и научными группами отдельных европейских стран. Но добиться выделения средств на модернизацию экспериментального комплекса так и не удалось.

Сотрудничество красноярского института с китайскими учеными привело к тому, что в Китае сделали практически точную копию замкнутой системы «БИОС-4», в которой, по словам китайских коллег, уровень замыкания также достигает 90%, и назвали ее «Лунный дворец Юэгуан-1». Как и в российском прототипе, пищевая цепочка состояла из злаков и более десятка видов овощей. Светодиодное освещение организовано в оптимальном для фотосинтеза спектре, кислород от растений поступает к экипажу.

Российские ученые готовы внедрить свои разработки если не на Луне, то хотя бы в Арктике, сейчас идут переговоры с представителями Минобороны.

этой работы. Общая суть заключалась в поиске оптимальных условий для исключения размножения патогенных микроорганизмов.

Любая герметичная среда отлично подходит для размножения условно патогенных или токсичных бактерий, которые могут вызывать у людей различные виды аллергических реакций и даже серьезные инфекционные заболевания. Некоторые виды патогенной флоры «поедают» и разъедают даже синтетические материалы, постепенно разрушая предметы мебели и интерьера. Самый банальный пример — плесневый грибок от высокой влажности на герметизированных швах в ванной комнате. Но там все легко убрать и заменить, в отличие от космической станции. За время работы МКС ученые зафиксировали на станции 76 видов микроорганизмов. Среди них оказались условно-патогенные бактерии, грибы и микробы-технофилы, способные вызывать даже биокоррозию металлов. Эта микрофлора легко испортила бы приборные панели и различные полимерные покрытия, например изоляцию проводов, а массовое размножение таких микроорганизмов способно вывести из строя бортовую аппаратуру. Здесь необходима подконтрольная дезинфекция, чтобы прекратить размножение патогенной флоры и не навредить экипажу.

Распределение микроорганизмов внутри «БИОС» моделировали с помощью искусственно созданных частиц микронных размеров. Отсутствие невесомости, где микроорганизмы дольше парят в пространстве и медленнее оседают, компенсировали искусственно созданными воздушными потоками. Этой частью проекта занимались ученые из финского Центра технических исследований, а подачей аэрозоля — специалисты университета Западной Финляндии (UEF) и Центра Кристофа Мерье (Франция). На следующем этапе уже использовались типичные для МКС непатогенные микроорганизмы. Стратегию микробиологического этапа разработал отдел микробиологии бельгийского Центра ядерных исследований (SCK-CEN), а подбором микроорганизмов занимался Институт медико-биологических проблем (ИМБП) РАН, который контролировал микрофлору на МКС с самого начала работы станции.

Вы еще планируете, что система «БИОС» появится на Луне?

Освоение Луны как места обитания уже потеряло актуальность. Космические агентства и астрономы ведут активный поиск «запасного аэродрома» — планеты, способной в будущем приютить человечество. Подробное рассмотрение проектов жизни на Луне, Марсе и Венере позволяет сделать вывод о невозможности их быстрой реализации. Не выдерживает критики и «обитаемый остров» — гигантская орбитальная станция с искусственной гравитацией и замкнутой системой жизнеобеспечения, из-за отсутствия собственных полезных ископаемых для промышленного производства.

Построение космических колоний в космосе из конструкционных материалов упирается в проблемы современной космонавтики. Отсутствует надежный способ вывода грузов на орбиту. Нет активной системы защиты людей от радиации, а для пассивной нужно разместить на каждом квадратном метре поверхности жилой зоны более пяти тонн вещества, что соответствует слою толщиной всего 2,5 м. Для сферы диаметром 500 м нужна противорадиационная защита массой 4 млн т.

Все перечисленные проблемы можно снять, если использовать астероиды. Наибольшая досягаемость пилотируемыми космическими кораблями у астероидов с минимальным расстоянием орбиты до Солнца. Их принято называть астероидами, сближающимися с Землей (АСЗ). Для экспедиции ко многим из них нужно небольшое количество топлива и времени, даже по сравнению с полетом на Луну.

Малые тела Солнечной системы содержат богатые месторождения металлов: железо, никель, родий, палладий, полупроводники и расходные вещества, которые можно использовать для двигателей в космосе. Астероиды создают очень небольшие гравитационные эффекты, а по затратам на стыковку сравнимы с орбитальными станциями. Отстреливая шлак из проходческих шахт, можно будет сообщать астероиду угловую скорость, необходимую для создания вращаемой среды обитания, способной моделировать биологически мягкую земную гравитацию.

Первые колонии выгодно создать внутри астероидов, находящихся на орбитах, близких по параметрам к земной. Эти колонии будут доступны космическим кораблям типа «Орион» (США) или ПТК НП (РФ), которые смогут доставлять пассажиров рейсами продолжительностью от нескольких дней до двух-трех месяцев. Непрерывный поток солнечного света (солнечные батареи колоний получают постоянную инсоляцию) обеспечит эффективную энергетику для промышленности колоний. Кстати, большая часть Луны и Марса находится половину времени в темноте, а Марс знаменит своими песчаными бурями, затемняющими свет.

Жизнь в астероиде позволит снять целый комплекс проблем. Во-первых, искусственная гравитация 1 g, в отличие от Луны и Марса, обеспечит нормальные условия для развития костно-мышечного аппарата у детей и естественные условия для выращивания высших растений. Во-вторых, поселенцы, живущие во внутренних полостях астероида, защищены от космической радиации толстым слоем породы. В-третьих, перелет к АСЗ может быть осуществлен при современном уровне развития космической техники. Это позволяет начать освоение астероидов, не дожидаясь развития прорывных космических технологий. Конечно, создание более совершенных космических кораблей не бывает лишним. Но это не является критическим условием начала космической экспансии человека.