

ПУТЬ К НОВОЙ ТЕХНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ¹

Кандидат технических наук Ю.Л. ТКАЧЕНКО
(МГТУ им. Н.Э. Баумана),
доктор биологических наук А.С. КЕРЖЕНЦЕВ
(ИФПБ РАН)

Жилые модули первого поколения

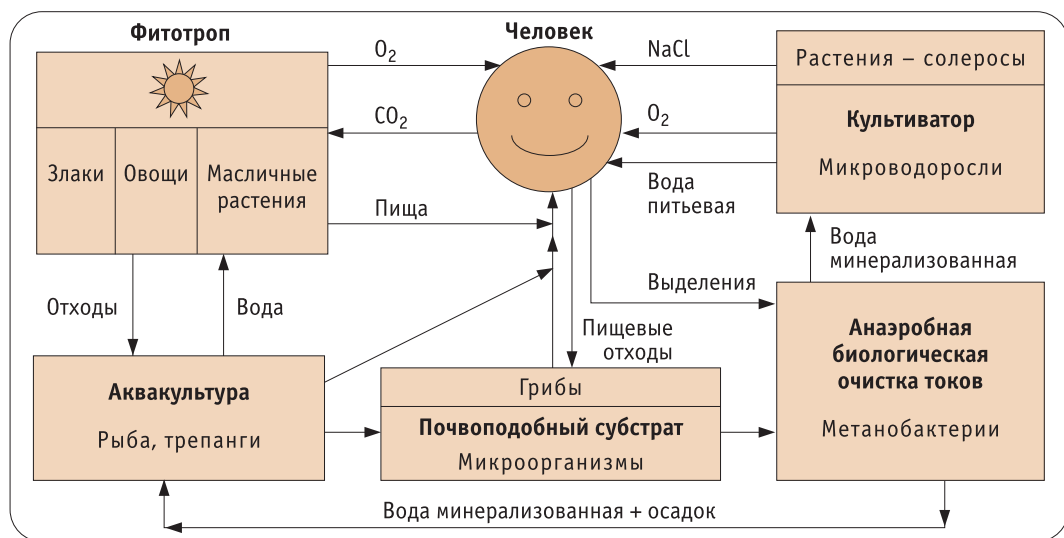
В качестве первого шага проведена инициативная НИОКР по созданию проекта небольшого купольного жилого модуля, имеющего автономное энергообеспечение и воспроизводящего принцип замкнутости внутренних потоков вещества. Модуль рассчитан на долгосрочное, до 1 года, одновременное пребывание

¹ Окончание. Начало см. Энергия ..., 2016. № 9.

Рис. 1.
Схема потоков вещества в жилом модуле с полной замкнутостью.

20 человек и содержит внутреннее оборудование, обеспечивающее замкнутость внутренней среды по газообмену, питанию и водообороту. Для этого широко используются функции “живого вещества” в форме различных живых организмов. Модуль позволяет создать систему экологической безопасности для работников, занятых восстановлением экосистем, нарушенных опасными поллютантами.

На современном уровне развития экологических знаний предложена универсальная схема круговорота вещества в автономном жилом модуле, построенном по принципу полной замкнутости внутренних материальных потоков (рис. 1).



“Энергия: экономика, техника, экология” 10/2016

В будущем модернизированный вариант такого модуля может быть использован для создания космического поселения на других объектах солнечной системы. В структурных элементах данной схемы широко используется “живое вещество” биосферы в форме различных биологических видов, специально подобранных для выполнения заранее определённых функций. Параметры фотосинтеза, энерго- и массообмена в модуле заранее рассчитаны, исходя из необходимых потребностей жизнедеятельности всех его обитателей. Таким образом, жилой модуль представляет собой искусственную экосистему, в которой, в отличие от известных естественных экосистем, человек является замыкающим звеном главных физико-химических процессов.

Внутреннее оборудование модуля содержит фитотрон – техническое устройство для выращивания высших растений, главным компонентом которого являются светодиодные лампы. В фитотроне непрерывно идёт процесс фотосинтеза биомассы, необходимой для питания находящихся в модуле людей. По принципу разновозрастного конвейера в фитотроне можно выращивать пшеницу, листовый салат, зелёный лук, редис, сладкий перец, томаты, спаржу, сою, среднеазиатское масличное растение чуфа или “земляной миндаль”. В работе² указано, что в настоящее время имеются технологии светового управления продукционным процессом высших растений, различающихся уровнем организации фотосинтетических структур.

Зелёные растения фитотрона участвуют также в газообмене, поглощая CO_2 и выделяя O_2 . Образующиеся в процессе роста и питания растений органические отходы попадают в бак с водой, служащий для разведения аквакультуры – рыбы или трепангов. В этот бак поступает также кислород из воздуха, подавае-

мого в процессе принудительной аэрации, и сливается обратная минерализованная вода из системы биологической очистки стоков. Растворённые в воде вещества и осадок из системы биологической очистки служат для корневого питания выращиваемых в фитотроне культур.

Несъедобные части растений поступают в ёмкость, в которой формируется почвоподобный субстрат. Как было установлено в экспериментах, описанных в работе³, при специальном подборе видового состава и режимов активности биоты гумификация органики проходит достаточно быстро, при этом формируется структура, по строению похожая на почвы, сформировавшиеся естественным путём. Путём подбора видов почвенных организмов, соответствующих составу образующихся органических отходов, и режимов их активности можно добиться длительного стабильного соотношения O_2/CO_2 в атмосфере модуля за счёт согласованности по скорости процессов фотосинтеза первичной биомассы и процессов гумификации отмершей биомассы. Также почвоподобный субстрат пригоден для выращивания грибов, которые могут разнообразить рацион обитателей модуля.

Выделения человека и гумифицированный субстрат поступают на биологическую очистку. Жидкая органическая суспензия подаётся в биореактор системы очистки – метантенк, где стоки подвергаются анаэробной обработке микроорганизмами без доступа света и кислорода. В первой фазе брожения из сложных органических веществ – белков, углеводов и жиров, с участием воды образуются органические кислоты, спирты и газы. Этот распад производят обычные сапрофитные анаэробы, которые широко распространены в природе, в том числе содержатся в выделениях человека.

³ Керженцев А.С., Алексеева Т.В., Алексеев А.О. и др. ЭКОТРОН – физическая модель функционирующей экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2003. Том 19.

² Гительзон И.И., Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Замкнутые системы жизнеобеспечения // Наука в России. 2011. № 6.

Во второй фазе брожения, специально подобранные для каждого типа образующихся органических соединений виды метанобактерий осуществляют дальнейшее разложение веществ – продуктов первой фазы брожения. При этом выделяется газ, состоящий из метана, водорода, сероводорода, который можно собирать в газгольдер и использовать в качестве топлива для резервной тепловой энергетической установки модуля. Далее, стоки, содержащие большое количество растворённых солей (нитратов, фосфатов, хлоридов и т.д.), используются для питания растений в фитотроне и для хозяйственно-бытовых целей. Часть очищенных стоков, в объёмах, необходимых для питья и приготовления пищи, поступает в культиватор одноклеточных зелёных микроводорослей, например хлореллы. Микроводоросли в процессе своего размножения поглощают из воды питательные элементы и очищают воду от нитратов и фосфатов.

Чтобы вернуть в круговорот NaCl, используются специальные съедобные растения-солеросы, которые можно высаживать непосредственно в водный раствор. Они извлекают поваренную соль и возвращают её в пищевую цепочку человека, как показано в работе⁴. Культиватор также является поглотителем углекислого газа из воздуха и мощным источником кислорода, так как за сутки хлорелла выделяет O₂ в 100 раз больше своего собственного объёма.

В качестве сооружения модуля целесообразно выбрать куполообразную структуру, разработанную Р. Бакминстером Фуллером. Купол Фуллера состоит из симметричной сетки плоских элементов, наложенной на полусферическую поверхность. Элементы сетки могут иметь треугольную, четырёхугольную или шестиугольную форму. Купол является наиболее прочной и устойчивой

конструкцией, так как равномерно распределяет нагрузку между всеми своими элементами. Снаружи грани купола облицовываются материалом, например пенополиэтиленом, толщина которого заранее рассчитывается по известной теплопроводности для обеспечения требуемого микроклимата внутри модуля.

Анализ условий среды на различных загрязнённых и малопродуктивных территориях планеты показал, что у каждой территории существует один или несколько факторов, создающих наибольшие трудности для жизнедеятельности человека. В арктических пустынях главными негативными факторами, ограничивающими жизнедеятельность, являются отсутствие пищи и низкая температура. В аридных пустынях – отсутствие воды и высокие температуры воздуха. На территориях химического загрязнения проблему представляют токсичные вещества, присутствующие в воздухе, почве и воде. В зонах радиационного заражения радионуклиды, попадая в одну из природных сред, мигрируют во все остальные среды и передаются по пищевым цепочкам. Поэтому первоначальный проект можно упростить и удешевить, разработав серию конструкций модулей, различающихся составом внутреннего оборудования, техническими средствами энергообеспечения и видом купольных сооружений. Был разработан список приоритетных систем и параметров модуля, необходимых при его размещении в условиях арктических и аридных пустынь, территорий химического загрязнения и радиационного заражения.

В Арктике, например, полярной ночью необходимо наличие в модуле дополнительной системы эритемного освещения для обеспечения людей необходимой дозой ультрафиолетового излучения спектрального диапазона "А". В аридных пустынях, в которых наблюдается большое число дней солнечного сияния, можно производить значительный объём почвоподобного субстрата и выращивать на нём дополнительную растительную биомассу для содержания домашнего скота,

⁴ Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник РАН. 2014. Том 84. № 3.

Состав жилого модуля в зависимости от региона его размещения

Системы модуля	Тип территории размещения			
	Арктические пустыни	Аридные пустыни	Территории химического загрязнения	Зоны радиационного заражения
Система замкнутого газообмена	–	–	+/-	+
Система производства растительного питания	+	+	+/-	+
Система замкнутого водооборота	–	+	+/-	+
Система производства почвоподобного субстрата	–	+	–	–
Система отопления	+	–	+/-	+/-
Система охлаждения	–	+	+/-	+/-
Система вентиляции	+	+	+/-	–
Система эритемного освещения	+	–	–	–

Пояснения: + обязательно; +/- желательно; – не требуется.

разводимого с целью обеспечения обитателей модуля белковой пищей животного происхождения. Полные результаты анализа представлены в таблице. Как можно видеть из этой таблицы, наиболее строгую замкнутость потоков вещества должен иметь модуль противорадиационного исполнения.

Для энергообеспечения модуля могут использоваться ветрогенераторы, солнечные батареи, геотермальные, приливные и прочие мини-электростанции, работающие на местных источниках энергии. В качестве резервного источника энергоснабжения можно использовать миниатюрные тепловые электростанции, работающие на биогазе, выделяющемся в процессе биологической очистки стоков от органических соединений.

Купольная конструкция серии модулей может быть универсальной, с небольшими конструктивными особенностями. Для модулей арктического и противо-

радиационного исполнения необходимо поднимать основание купола на сваях над землёй. В Арктике это необходимо для предотвращения подтаивания вечной мерзлоты, вследствие выделения теплоты через основание модуля, а на радиационно опасных территориях это позволит защитить людей от прямого ионизирующего излучения загрязнённого радионуклидами грунта.

Дальнейшие шаги

При размещении на местности купол модуля соединяется переходными тамбурами с другими жилыми, техническими и складскими модулями, что позволяет составлять из отдельных модулей достаточно многочисленные экоселения (рис. 2). Компонуя на одной площадке необходимое количество жилых, технических и складских модулей можно составить целый город, среда обитания

в котором также будет базироваться на принципах использования “живого вещества” биосферы, замкнутости материальных потоков и гомеостаза климатических и химических факторов. Статус “экологического города” может быть присвоен такому “модульному поселению” после формирования в нём сферы занятости населения и создания социальной среды. Прототип подобного экогорода, под названием “экотехносферный демонстратор”, описан в статье⁵.

Проект экотехносферного демонстратора включает в себя 8 жилых купольных модулей, рассчитанных на 100 жителей каждый. Модули имеют в своём составе фитотроны для производства растительного питания и систему замкнутого водооборота. Занятость населения обеспечивается размещением в специальном центральном модуле большого размера научно-исследовательского института “Экология техносферы” и его подразделений инженерной экологии. Социальное обеспечение населения осуществляется образовательными, медицинскими и досуговыми учреждениями, также размещаемыми под куполом центрального модуля.

Так как главными критериями, закладываемыми в научную базу разработки и совершенствования техники и технологий экотехносферного строительства, являются простота и высокая надёжность элементов, то производить всё необходимое для строительства и содержания новых экогородов возможно в пределах небольших по занимаемой площади территории экологических кластеров, специализированных по типам нарушенности природной среды. Для этого необходимо разместить в одном регионе несколько городов, имеющих различную отраслевую специализацию. Назначение каждого города определяется составом предприятий, находящихся в его центральном модуле. Главная работа жителей этих

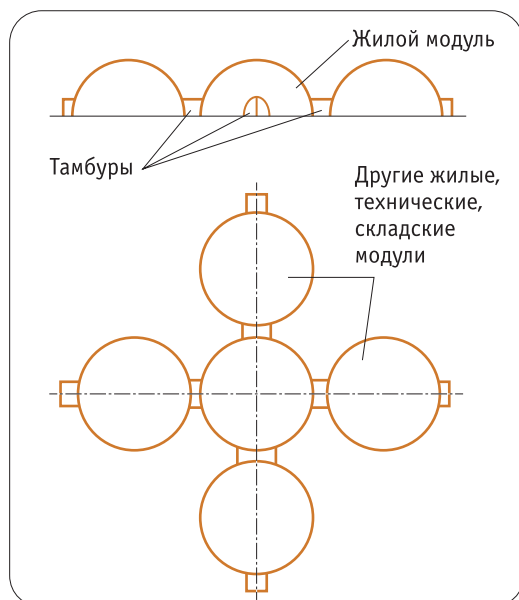


Рис. 2.
Размещение на местности купольных сооружений модулей.

населённых пунктов будет заключаться в масштабном восстановлении нарушенной среды обитания, с использованием арсенала природовосстанавливающих технологий, основы которых разрабатываются в новой научной дисциплине: “экология техносферы”. Так как восстанавливать, прежде всего, нужно сильно нарушенные региональные экосистемы, то для этого необходимо обезопасить работу самих восстановителей в экстремальных условиях жизнедеятельности. Выполнить эту задачу можно с помощью замкнутых искусственных экосистем. После восстановления природных экосистем нужна в замкнутой среде обитания отпадёт, и люди будут жить в свободной, очищенной биосфере.

Поэтому замкнутые искусственные экосистемы – чрезвычайное явление, необходимое на время восстановления сильно нарушенных экосистем с низкой продуктивностью биомассы и высокой

⁵ Ткаченко Ю.Л., Керженцев А.С. *России нужна экологизация, а не просто модернизация // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 1.*

токсичностью воздуха, воды и почвы. При освоении других планет или при постоянной работе в экстремальных условиях жизнедеятельности на Земле (арктические и аридные пустыни, Чернобыльская зона, Семипалатинск, Восточно-Уральский радиоактивный след) замкнутые поселения будут постоянными, а в целом на Земле – временными.

Заключение

Авторы просят считать данную статью открытым обращением в Правительство Российской Федерации, Совет по модернизации экономики и инновационному развитию России, Совет по науке и образованию, Комиссию по вопросам стратегии развития топливно-энергетического комплекса и экологической безопасности, Военно-промышленную комиссию Российской Федерации, Президиум РАН и другие ведомства и организации, с призывом начать работы по строительству опытных образцов представленных автономных жилых модулей.

Создание жилой среды, построенной по “биосфероподобному” принципу, не сводится только к решению прикладных задач, а имеет глобальные перспективы в свете необходимости восстановления устойчивости всей биосферы планеты. Поэтому важность подобных работ для будущего России может быть сопоставима с важностью имевших место в истории нашей страны атомного и космического проектов. К выполнению работ необходимо подключить Институт биофизики СО РАН, Институт фундаментальных проблем биологии Пушинского научного центра РАН, Институт физиологии растений РАН и ряд других ведущих научных организаций и учреждений образования.

В результате создания и успешной апробации прототипа модуля будет сделан первый шаг к экологизации техносферы Земли, то есть к формированию экологически грамотной техносферы (экотехносферы), построенной по тем же принципам, что и природная среда, по-

этому не наносящей ущерба, а гармонично сосуществующей с биосферой планеты и региональными экосистемами. Непрерывное повышение экологического совершенства техносферы, отражающее достижение всё более высокой замкнутости круговоротов вещества, обеспечит России поступательный научно-технический прогресс и развитие экономики. Экотехносфера может стать принципиально новым технологическим укладом и универсальным способом материального производства, не зависящим от региональной специфики и географических условий.

Переход к новой техносфере конечно же является задачей на отдалённую перспективу. На этом пути необходимо сосредоточение коллективных усилий не только большого числа людей, но и многих стран мира и даже всего человечества в целом. Всем нам нужно постоянно думать о том, каким образом и в какой среде дальше жить на планете. Но приступить к полноценному восстановлению утраченных по вине людей природных экосистем реально уже сегодня.

Государство и общество должны доверить эту работу учёным – профессионалам в области экологии. Учёные должны также решить вопрос о том, как именно человечество будет жить в восстановленной биосфере и поддерживать её благоприятное состояние. Очевидно, что для того, чтобы опять не зайти в экологический “тупик”, необходимо новое мировоззрение, сформированное у каждого члена мирового сообщества, и экономика, основанная на других принципах, отличающихся от часто используемой в настоящее время во многих странах мира социально-экономической модели. Современная наука позволяет дать ответы на эти вопросы уже сегодня. В 70-е годы прошлого века американский эколог Луи Баттан сказал: “Одно из двух: или люди делают так, чтобы на Земле стало меньше дыма, или дым делает так, что на Земле станет меньше людей”. Слово “дым” надо понимать как совокупность всех антропогенных воздействий на биосферу.