

**Ткаченко Юрий Леонидович**кандидат технических наук, доцент, доцент  
Московского государственного технического  
университета имени Н.Э. Баумана**Tkachenko Yuri Leonidovich**PhD in Technical Science,  
Assistant Professor,  
Bauman Moscow State Technical University**Морозов Сергей Дмитриевич**старший преподаватель  
Московского государственного технического  
университета имени Н.Э. Баумана**Morozov Sergey Dmitrievich**Senior Lecturer,  
Bauman Moscow State Technical University**ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ  
ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ****GLIMPSES OF HISTORY OF  
ARTIFICIAL ECOSYSTEMS' CREATION****Аннотация:**

*В статье рассмотрены документальные факты создания искусственных экосистем, предназначенных для применения в космических и земных условиях. Показаны пионерская роль К.Э. Циолковского, который первым разработал концепцию создания замкнутой среды обитания для людей, находящихся в космосе, и влияние работ В.И. Вернадского, посвященных биосфере, на подходы к построению искусственных экосистем. Представлен решающий вклад С.П. Королева в первое практическое воплощение проектов Циолковского по постройке прототипов космических поселений. Описаны важнейшие исторические этапы этого процесса: эксперименты «Биос» (СССР), «Биосфера-2» (США), «СЕЕФ» (Япония), «Марс-500» (Россия), «Юэгу-1» (Китай).*

**Ключевые слова:**

*искусственная экосистема, космические поселения, замкнутая среда обитания, К.Э. Циолковский, С.П. Королев, В.И. Вернадский.*

**Summary:**

*The article describes the documentary facts of artificial ecosystems' creation designed for space and terrestrial applications. The study shows the pioneering role of K.E. Tsiolkovsky who was the first to develop the concept of closed ecological systems for people in space and the influence of V.I. Vernadsky's biosphere works on the approaches to construct artificial ecosystems. The article presents the crucial contribution of S.P. Korolev to the first practical implementation of building the space habitat prototypes according to K.E. Tsiolkovsky's projects. The article describes the major historical stages of this process that are such experiments as BIOS (the USSR), Biosphere 2 (the USA), CEEF (Japan), Mars-500 (Russia), Yuegong-1 (China).*

**Keywords:**

*artificial ecosystem, space habitats, closed ecological system, K.E. Tsiolkovsky, S.P. Korolev, V.I. Vernadsky.*

**Введение**

Представление о необходимости создания искусственной замкнутой среды обитания человека зародилось одновременно с возникновением мечты о космических полетах. Людей всегда интересовала возможность перемещаться в воздушном и космическом пространстве. В XX в. стартовало практическое освоение космоса, а в XXI в. космонавтика стала уже неотъемлемой частью мировой экономики. Провозвестник космонавтики, философ-космист К.Э. Циолковский в «Монизме Вселенной» (1925) писал: «Техника будущего даст возможность одолеть земную тяжесть и путешествовать по всей Солнечной системе. После заселения нашей Солнечной системы начнут заселяться иные солнечные системы нашего Млечного Пути. С трудом отделится человек от земли» [1, с. 477–478]. Под «техникой будущего» Циолковский имел в виду не только ракетную технику, использующую принцип реактивного движения, но и систему обитания человека в космосе, построенную по образу и подобию земной биосферы.

**Рождение концепции «космической биосферы»**

К.Э. Циолковский первым высказал идею об использовании природоподобных принципов и биосферных механизмов воспроизводства кислорода, питания, пресной воды и утилизации образующихся отходов для жизнеобеспечения экипажа своего «реактивного прибора». Этот вопрос рассматривался Циолковским почти во всех его научных работах, философских и фантастических произведениях. Возможность создания такой среды обоснована трудами В.И. Вернадского, раскрывшего основные принципы построения и функционирования биосферы Земли. В период с 1909 по 1910 г. Вернадский опубликовал серию заметок, посвященных наблюдениям за распространением химических элементов в земной коре, и сделал вывод о ведущем значении живых организмов для создания круговорота вещества на планете. Ознакомившись с этими работами Вернадского и другими трудами в области нового тогда научного направления – экологии, Циолковский писал во второй части статьи «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (1911): «Как земная атмосфера очищается растениями при помощи Солнца, так может

возобновляться и наша искусственная атмосфера. Как на Земле растения своими листьями и корнями поглощают нечистоты и дают взамен пищу, так могут непрерывно работать для нас и захваченные нами в путешествия растения. Как все существующее на земле живет одним и тем же количеством газов, жидкостей и твердых тел, так и мы можем вечно жить взятым нами запасом материи» [2, с. 111].

Авторству Циолковского принадлежит и проект космического поселения для большого количества жителей, для которых организовано обновление атмосферы, воды и пищевых ресурсов за счет замкнутого круговорота химических веществ. Циолковский описывает такую «космическую биосферу» в рукописи, которую он вел вплоть до 1933 г., но так и не смог закончить:

«Община содержит до тысячи человек народу обоего пола и всех возрастов. Влажность регулируется холодильником. Он же собирает всю излишнюю воду, испаряемую людьми. Общезжитие сообщается с оранжереей, из которой получает очищенный кислород и куда посылает все продукты своих выделений. Одни из них в виде жидкостей пронизывают почву оранжерей, другие прямо выпускаются в их атмосферу.

Когда третья доля поверхности цилиндра занята окнами, то получается 87 % наибольшего количества света, а 13 % теряется. Везде неудобны проходы...» [3] (В этом месте рукопись обрывается).

### **Первые экспериментальные установки**

Незаконченная рукопись Циолковского, получившая заглавие «Жизнь в межзвездной среде», вышла в издательстве «Наука» по прошествии более 30 лет – в 1964 г. Инициатором публикации выступил генеральный конструктор космической техники, академик С.П. Королев. В 1962 г. он, уже имея опыт успешного космического полета, осуществленного первым космонавтом Ю.А. Гагариным 12 апреля 1961 г., задал принципиально новый вектор развития космического проекта: «Надо бы начать разработку “оранжереи по Циолковскому”, с наращиваемыми постепенно звеньями или блоками, и надо начинать работать над “космическими урожаями”. Какие организации будут вести эти работы: по линии растениеводства и вопросов почвы, влаги, по линии механизации и “свето-тепло-солнечной” техники и систем ее регулирования для оранжерей?» [4, с. 30].

Создание первой в мире замкнутой искусственной экосистемы космического назначения началось со встречи С.П. Королева и директора Института физики Сибирского отделения Академии наук СССР (ИФ СО АН СССР) Л.В. Кириенко, на которой Королев передал Кириенскому свои предложения по «космической оранжерее». После этого в ИФ СО АН СССР состоялась серия совещаний, где решался вопрос о том, какой отдел станет базой для развертывания работ по космической программе. Поставленную Королевым задачу создания искусственной экосистемы в герметичной капсуле, в которой человек мог длительное время пребывать в приближенных к земным условиям среды, поручили отделу простейших организмов [5, с. 6]. Это необычное решение, как выяснилось позже, оказалось верным: именно простейшие микроводоросли оказались способными полностью обеспечить экипаж кислородом и чистой водой.

Знаменательно, что в том же году – 1964-м, когда увидела свет последняя рукопись Циолковского, начались работы по практической отработке первой в истории замкнутой искусственной экологической системы, включающей во внутренний круговорот вещества метаболизм человека. В отделе биофизики ИФ СО АН СССР, позднее преобразованном в самостоятельный Институт биофизики СО АН СССР, в Красноярске началось строительство экспериментальной установки «Биос-1», в которой участвовали И.И. Гительзон и И.А. Терсков, ставшие основателями нового направления в биофизике. Главная задача заключалась в организации обеспечения человека кислородом и водой. Первая установка состояла из двух компонентов: гермокабины объемом 12 м<sup>3</sup>, внутри которой размещался человек, и специального резервуара-культиватора объемом 20 л для выращивания хлореллы обыкновенной. Проведенные 7 экспериментов различной длительности (от 12 ч до 45 сут) показали возможность полностью замкнуть газообмен, то есть обеспечить выработку кислорода и утилизацию углекислого газа микроводорослями. Через процессы жизнедеятельности хлореллы также был налажен водооборот, в процессе которого вода очищалась в количестве, необходимом для питья и удовлетворения других нужд.

В «Биос-1» не удавались опыты длительностью более 45 суток, так как рост микроводорослей останавливался. В 1966 г. для отработки искусственной экосистемы, содержащей как низшие, так и высшие растения, «Биос-1» был модернизирован до «Биос-2» путем подсоединения к гермокабине фитотрона объемом 8 м<sup>3</sup>. Фитотрон – это специальное техническое устройство для выращивания в условиях искусственного освещения и микроклимата высших растений: овощей и пшеницы. Высшие растения служили источником пищи для экипажа и обеспечивали регенерацию воздуха. Так как высшие растения тоже давали кислород, то удалось провести опыты с участием двух испытателей, продолжавшиеся 30, 73 и 90 дней. Установка работала вплоть до 1970 г.

«Биос-3» был введен в строй в 1972 г. Это герметичное сооружение размером с 4-комнатную квартиру, которое работоспособно и поныне, объемом 315 м<sup>3</sup> было устроено в подвале Института биофизики СО РАН в Красноярске. Внутри установка разделена герметичными переборками со шлюзами на четыре отсека: две оранжереи съедобных растений, выращиваемых в фитотронах методом гидропоники, не требующим наличия почвы, отсек для разведения производящей кислород и чистую воду хлореллы и отсек для размещения членов экипажа. В жилом отсеке находятся спальные места, кухня и столовая, туалет, пульт управления, приспособления для обработки растительных продуктов и утилизации отходов.

В фитотронах экипаж выращивал специально выведенные карликовые сорта пшеницы, содержащие минимум несъедобной биомассы. Так же разводили овощи: лук, огурцы, редис, салат, капусту, морковь, картофель, свеклу, щавель и укроп. Было подобрано среднеазиатское масличное растение «чуфа», служившее источником незаменимых для организма человека растительных жиров. Необходимые белки экипаж получал, употребляя в пищу мясные и рыбные консервы.

В «Биос-3» было проведено десять опытных заселений на протяжении 1970-х и в начале 1980-х гг. Три из них продолжались по несколько месяцев. Самый продолжительный опыт непрерывной полной изоляции экипажа из трех человек продолжался 6 месяцев – с 24 декабря 1972 г. по 22 июня 1973 г. Этот эксперимент имел сложную структуру и проводился в три этапа. Каждому этапу соответствовал свой состав исследователей. Внутри установки попеременно находились М.П. Шиленко, Н.И. Петров и Н.И. Бугреев, отработавшие по 4 месяца каждый. Участник эксперимента В.В. Терских пробыл в «Биос-3» все 6 месяцев.

Фитотроны «Биос-3» производили в сутки достаточный урожай зерна и овощей [6, с. 238]. Большую часть времени экипаж тратил на выращивание из семян съедобных растений, сбор урожая и его обработку, выпечку хлеба и приготовление пищи. В 1976–1977 гг. прошел эксперимент, продлившийся 4 месяца, в котором были задействованы двое испытателей: Г.З. Асиньяров и Н.И. Бугреев. С осени 1983 г. по весну 1984 г. проводился 5-месячный эксперимент с участием Н.И. Бугреева и С.С. Алексеева, которым завершилась работа «Биоса». Н.И. Бугреев, таким образом, поставил абсолютный в то время рекорд по пребыванию в замкнутой искусственной среде, прожив в установке в совокупности 15 месяцев. В конце 1980-х программа «Биос» была заморожена, так как ее государственное финансирование прекратилось.

#### **«Биосфера» за стеклом**

Эстафету в создании замкнутой среды обитания подхватили американцы. В 1984 г. компания Space Biospheres Ventures начала строить «Биосферу-2» – замкнутый экспериментальный комплекс на участке, расположенном в Аризонской пустыне США.

Идеологами «Биосферы-2» были Марк Нельсон и Джон Аллен, которые прониклись идеями В.И. Вернадского, объединив на основе учения о биосфере порядка 20 ученых за рубежом. В СССР в издательстве «Мысль» в 1991 г. была издана книга этого авторского коллектива «Каталог биосферы», в которой рассказывалось о предстоящем эксперименте. Аллен и Нельсон так писали о своих задачах по созданию «космических биосфер»: «Вооруженное великими замыслами, идеями и моделями Вернадского и других ученых, человечество сейчас с готовностью обдумывает не только возможные пути взаимодействия с биосферой, но и пути оказания содействия ее “митозу”, приспособляя нашу земную жизнь для полноценного участия в судьбе самого Космоса за счет создания возможности путешествовать и жить в космическом пространстве» [7, с. 191].

«Биосфера-2» – это капитальная конструкция из стекла, бетона и стали, расположившаяся на территории 1,27 га. Объем комплекса составил более 200 тыс. м<sup>3</sup>. Система была герметизирована, то есть могла быть полностью отделена от внешней среды. Внутри нее были искусственно воссозданы водные и наземные экосистемы биосферы: мини-океан с искусственным рифом, сложенным из кораллов, тропический лес – джунгли, саванна, редколесье колючих растений, пустыня, пресноводное и солоноводное болота. Последнее имело форму извилистого русла реки, затопляемого искусственным океаном, – эстуария, засаженного мангровыми зарослями. Биологические сообщества экосистем включали в себя 3800 видов животных, растений и микроорганизмов. Внутри «Биосферы-2» были устроены жилые апартаменты для участников эксперимента и сельскохозяйственные площадки, составлявшие целое ранчо, названное Sun Space.

26 сентября 1991 г. внутри комплекса сооружений были изолированы 8 человек – 4 мужчины и 4 женщины. Экспериментаторы – «бионавты», в числе которых был идеолог проекта Марк Нельсон, занимались традиционным сельским хозяйством – рисоводством. Для этого использовались сельская и животноводческая фермы, применялись высоконадежные инструменты, которые должны были приводиться в действие только за счет мускульной силы человека. Внутри установки были высажены трава, кустарники и деревья. Исследователи разводили рис и пшеницу, бататы и свеклу, бананы и папайю, а также другие культуры, что в совокупности позволяло получать 46 видов разнообразной пищи растительного происхождения. Мясной рацион обеспечивало животноводство. На животноводческой ферме жили куры, козы и свиньи. Вдобавок бионавты растили рыбу и креветок.

Трудности начались практически сразу же после начала эксперимента. Через неделю техник «Биосферы-2» сообщил, что в атмосфере понемногу уменьшается количество кислорода и нарастает концентрация углекислого газа. Также выяснилось, что ферма обеспечивала только 83 % требуемого рациона исследователей. К тому же в 1992 г. размножившиеся мотыльки-вредители уничтожили почти все посевы риса. Всю зиму этого года держалась облачная погода, что привело к снижению продукции кислорода и растительного питания. Искусственный океан закислился вследствие растворения в его воде большого объема углекислого газа, из-за чего коралловый риф погиб. Началось вымирание животных в джунглях и саванне. В течение двух лет концентрация кислорода за стеклом снизилась до 14 % вместо исходных 21 % по объему.

«Бионавты» вышли наружу в сентябре 1993 г., после двухлетнего пребывания «за стеклом». Считается, что «Биосфера-2» потерпела неудачу. Вследствие малых масштабов модели, «экологическая катастрофа» в ней произошла очень быстро и показала всю пагубность современного способа хозяйствования человека, создающего экологические проблемы: недостаток питания, изъятие биомассы, загрязнение атмосферы и гидросферы, уменьшение видового разнообразия. Опыт «Биосферы-2» имел большое мировоззренческое значение. Одна из «бионавтов» – Джейн Пойнтер, выступая с лекциями после окончания эксперимента в «Биосфере-2», говорила: «Только тут я впервые осознала, насколько человек зависим от биосферы – если погибнут все растения, то людям нечем будет дышать и нечего будет есть. Если загрязнится вся вода, то людям нечего будет пить». Комплекс «Биосферы-2» и сейчас открыт для посещения, так как его авторы считают, что создали принципиально новую базу для публичного образования в области защиты окружающей среды [8, p. 787].

#### **Прообразы обитаемых космических станций**

Создаваемые со второй половины 1990-х установки изначально имели четкое назначение – моделирование системы жизнеобеспечения космического корабля или обитаемой базы для условий полета и исследования Марса или Луны. С 1998 по 2001 г. в Японии проводились исследования на установке CEEF (Closed Ecological Experimental Facility), представляющей собой замкнутую искусственную экосистему. Целью экспериментов было изучение замкнутых циклов газообмена, водооборота и питания при имитации условий марсианской обитаемой базы. Комплекс включал в себя фитотронный блок для выращивания растений, отсек для разведения домашних животных (козы), специальный геогидросферный блок, моделирующий наземную и водную экосистемы, и обитаемый модуль для экипажа из двух человек. Площадь растительных посадок составляла 150 м<sup>2</sup>, животноводческого модуля – 30 м<sup>2</sup>, жилого – 50 м<sup>2</sup> [9, p. 1506]. Авторами проекта были сотрудники Токийского аэрокосмического института К. Нитта и М. Огучи. Объект располагается на острове Хонсю в городе Роккасё. Данные о проведении длительных экспериментов по изоляции людей в этой установке отсутствуют, опубликованы результаты моделирования последствий глобального потепления климата и исследований миграции радионуклидов во внутренних потоках вещества.

Моделирование замкнутой среды обитания при имитации длительных космических полетов проводится в Институте медико-биологических проблем (ИМБП) РАН (Москва), основанном М.В. Келдышем и С.П. Королевым в 1963 г. Основу этой работы составляет исследование пребывания людей в изолированных условиях в течение длительного времени внутри комплекса «Марс-500». Эксперимент по 520-суточной изоляции экипажа начался в июне 2010-го и завершился в ноябре 2011 г. В эксперименте приняли участие исследователи-мужчины: А.С. Ситев, С.Р. Камолов, А.Е. Смолеевский (Россия), Диего Урбина (Италия), Шарль Ромен (Франция), Ван Юэ (Китай) [10, с. 33]. В состав одного из модулей комплекса включена оранжерея для разведения овощей. Площадь посадок не превышает 14,7 м<sup>2</sup> в объеме 69 м<sup>3</sup>. Оранжерея служила источником витаминов, дополняющим и улучшающим рацион питания участников эксперимента. Комплекс «Марс-500» базируется на физико-химических, а не биологических процессах обеспечения экипажа кислородом и чистой водой при использовании запасов консервированного питания, поэтому существенным образом отличается от установки «Биос-3».

Наиболее концептуально близок проекту «Биос» китайский комплекс «Юэгу-1» («Лунный дворец»). Комплекс воспроизводит условия лунной базы. «Юэгу-1» разработан в Пекинском университете аэронавтики и астронавтики профессором Ли Хун [11, с. 63]. Консультировали создателей китайского комплекса ученые из Москвы и Красноярска.

Комплекс «Юэгу-1» занимает площадь 160 м<sup>2</sup> при объеме 500 м<sup>3</sup> и состоит из трех полусферических модулей. Первый модуль – жилой, в котором находятся кают-компания, каюты для трех членов экипажа, система переработки отходов и помещение для личной гигиены. В двух остальных модулях размещаются оранжереи для производства растительной пищи. Выращенные растения составляли более 40 % рациона экипажа. По воде и по воздуху замкнутость среды установки составила 99 %.

Строительство установки «Юэгу-1» было закончено 9 ноября 2013 г. С 23 по 30 декабря 2014 г. испытатели, которыми были два студента университета, провели пробное заселение «Лунного дворца». Сам эксперимент проводился в течение 105 суток – с 3 февраля по 20 мая 2014 г. В нем участвовал экипаж из трех человек: мужчина Се Бэйчжэнь и две женщины – Ван Миньцзюань и Дун Чэни. Эксперимент завершился успешно и широко освещался в средствах массовой информации Китая.

### Заключение

Представленная история создания замкнутых искусственных экосистем является фрагментом глобального исторического процесса развития человечества. Человек благодаря своим способностям к мышлению создал практическую космонавтику и доказал свою способность выйти за рамки планеты. Глубокое изучение биосферных механизмов построения и функционирования среды обитания позволит людям создавать благоприятные условия на планетах и их спутниках, астероидах, других космических телах. Эта деятельность позволит реализовать смыслы существования человечества.

В.И. Вернадский писал о растекании жизни по Земле и космическому пространству. Вести экспансию нашей биосферы дальше, вплоть до освоения изученных рубежей Космоса, способен лишь человек с его разумом. Человечеству необходимо распространить биосферу на астероиды и ближайшие космические тела, чтобы пойти дальше, за изученные пределы Вселенной. Это важно для сохранения не только нашей биосферы, но и самого биологического вида человека. В результате предвиденного Циолковским освоения сначала околоземного пространства, Солнечной системы, а затем и дальнего Космоса могут образоваться динамические популяции человечества – т. е. часть людей будет постоянно жить на космических базах вне Земли. История как наука, таким образом, выйдет за планетарные рамки и станет воистину историей не только Земли, но и Космоса.

### Ссылки:

1. Мир философии. В 2 т. Т. 2. М., 1991. 624 с.
2. Циолковский К.Э. Промышленное освоение космоса : сборник трудов. М., 1989. 278 с.
3. Фотокопии рукописей К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. URL: <http://tsiolkovsky.org/wp-content/uploads/2016/02/ZHizn-v-mezhzvezdnoj-srede.pdf> (дата обращения: 25.04.2017).
4. Гришин Ю.И. Искусственные космические экосистемы. М., 1989. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия». № 7).
5. Гительзон И.И., Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Замкнутые системы жизнеобеспечения // Наука в России. 2011. № 6. С. 4–10.
6. Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник РАН. 2014. Т. 84, № 3. С. 233–240.
7. Каталог биосферы. М., 1991. 253 с.
8. Nelson M., Dempster W.F., Allen J.P. "Modular Biospheres" – New Testbed Platforms for Public Environmental Education and Research // *Advances in Space Research*. 2008. Vol. 41, no. 5. P. 787–797.
9. Nitta K. The CEEF, Closed Ecosystem as a Laboratory for Determining the Dynamics of Radioactive Isotopes // *Ibid*. 2001. Vol. 27, no. 9. P. 1505–1512.
10. Григорьев А.И., Морук Б.В. «Марс-500»: предварительные итоги // Земля и Вселенная. 2013. № 3. С. 31–41.
11. Павельцев П. «Юэгу-1» – наследник проекта БИОС-3 // Новости космонавтики. 2014. Т. 24, № 7. С. 63–65.

### References:

- Degermendzhi, AG & Tikhomirov, AA 2014, 'Creation of artificial closed ecosystems for terrestrial and space purposes', *Vestnik RAN*, vol. 84, no. 3, pp. 233-240, (in Russian).
- Grigoriev, AI & Morukov, BV 2013, 'Mars-500: preliminary results', *Zemlya i Vselennaya*, no. 3, pp. 31-41, (in Russian).
- Grishin, Yul 1989, *Artificial space ecosystems*, Moscow, 64 p., (in Russian).
- Gitelzon, II, Degermendzhi, AG & Tikhomirov, AA 2011, 'Closed ecological life support systems', *Nauka v Rossii*, no. 6, pp. 4-10, (in Russian).
- Nelson, M, Dempster, WF & Allen, JP 2008, "Modular Biospheres" – New Testbed Platforms for Public Environmental Education and Research', *Advances in Space Research*, vol. 41, no. 5, pp. 787–797, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.03.002>.
- Nitta, K 2001, 'The CEEF, Closed Ecosystem as a Laboratory for Determining the Dynamics of Radioactive Isotopes', *Advances in Space Research*, vol. 27, no. 9, pp. 1505–1512, [https://doi.org/10.1016/s0273-1177\(01\)00242-3](https://doi.org/10.1016/s0273-1177(01)00242-3).
- Paveltsev, P 2014, 'Yuegong-1 is the successor to the project BIOS-3', *Novosti kosmonavтики*, vol. 24, no. 7, pp. 63-65, (in Russian).
- Photocopies of the manuscripts by K.E. Tsiolkovsky* 2017, viewed 25 April 2017, <<http://tsiolkovsky.org/wp-content/uploads/2016/02/ZHizn-v-mezhzvezdnoj-srede.pdf>>, (in Russian).
- The biosphere catalogue* 1991, Moscow, 253 p., (in Russian).
- The world of philosophy* 1991, in 2 vols., vol. 2, Moscow, 624 p., (in Russian).
- Tsiolkovsky, KE 1989, *Industrial development of space*, collection of works, Moscow, 278 p., (in Russian).