

# Модуль 2. Создание искусственных экосистем

## 2.1. Космическая история систем жизнеобеспечения

Понимание того факта, что все живые организмы на Земле объединены в сообщество (биоценоз) и взаимодействуют друг с другом, порождая живую систему более высокого уровня сложности (экосистему) пришло во второй половине 19 века.

В начале 20-го века В.И. Вернадский создал учение о биосфере, показав основные принципы естественного средообразования:

- производство биомассы и утилизация некромысы внутри экосистемы с использованием функций «живого вещества» (продуценты, консументы, редуценты);
- замкнутость внутренних материальных потоков (круговорот химических элементов);
- гомеостаз внутренних климатических и химических факторов (самоочищение, самовосстановление, саморегуляция).

Задумываться о том, как можно искусственно воссоздать природную экосистему для создания благоприятной среды обитания, человечество начало одновременно с рождением идеи космических полётов.

**ДЗ по Модулю 2:** Какие принципы и технологии нужно использовать для создания природоподобной техносферы и как может выглядеть план её построения?



**Циолковский  
Константин Эдуардович  
(1857 - 1935 г.)**

Впервые, идею использовать природные принципы для построения среды обитания человека, высказал К.Э. Циолковский ещё в 1883 г., применительно к жизнеобеспечению экипажа для своего проекта реактивного космического корабля.

Вопросы создания биологической системы жизнеобеспечения человека рассматриваются Циолковским во всех научных работах, посвященных развитию идей практической космонавтики: «Исследование мировых пространств реактивными приборами» Часть 2, 1911 г., «Цели звездоплавания», 1929 г., в философских и фантастических произведениях.

В неоконченной рукописи «Жизнь в межзвёздной среде», 1933 г. (опубликована в 1964 г.) Циолковским описан проект целого космического посёлка, основанного на биосферных механизмах поддержания круговорота вещества, которые были к тому времени открыты В.И. Вернадским.

К. Циолковскій.

# Исслѣдованіе

МИРОВЫХЪ ПРОСТРАНСТВЪ РЕАКТИВНЫМИ ПРИБОРАМИ

(дополненіе къ I и II части труда того-же названія).

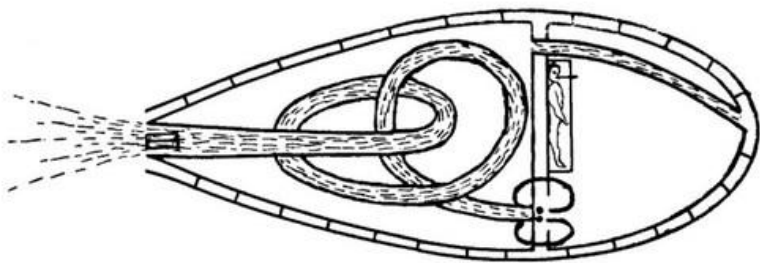


Схема «ракеты».

цѣна 15 коп.

Калуга, Коровинская, д. № 61, К. Э. Циолковскому.

ИЗДАНИЕ И СОВСТВЕННОСТЬ АВТОРА.

ИЗДАТЕЛЬ.  
Типография С. А. Семенова, Никитский пер., 600. Л.  
1911 г.

Во второй части статьи «Исследование мировых пространств реактивными приборами», вышедшей в журнале «Вестник воздухоплавания» в 1911 г. (1 и 2 части труда с дополнением были переизданы в 1926 г. отдельной брошюрой), Циолковский писал:

«Для существования в течение неопределенно долгого времени без атмосферы планеты можно воспользоваться силою солнечных лучей. 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, которое никогда не убывает и не прибывает (не считая падения метеоритов), так и мы можем вечно жить взятым нами запасом материи. Как на земной поверхности совершается нескончаемый механический и химический круговорот веществ, так и в нашем маленьком мирке он может совершаться».

К. ЦИОЛКОВСКИЙ.

## ЦЕЛИ ЗВЕЗДОПЛАВАНИЯ.

КАЛУГА

1929 г.

В книге «Цели звездоплавания», 1929 г., Циолковский описывает принципы построения искусственной среды обитания для обеспечения жизнедеятельности экипажа в длительном космическом полёте:

«В пустоте можно путешествовать в самих жилищах, оторванных от общей их массы. Последнее гораздо удобнее, так как даёт своими растениями пищу, питьё, кислород и всё необходимое. Кроме того, оно может совершаться в многочисленном обществе.

Положим, например, что длина жилища 10 м, 3 м ширины и 70 куб. м объема. Это очень порядочная зала, вполне достаточная для помещения средней семьи. Световая её поверхность составит 30 кв. м, что совершенно довольно для питающего семью огорода.

Воздух бы в отделении испортился, если бы не растения и их почва. Растений должно быть столько, чтобы их корни, листья и плоды давали столько же кислорода, сколько поглощают обитатели жилья. Равновесие само собой сохраняется при удачном подборе растений. Одним словом, количество людей должно соответствовать свойству и количеству растений».



ЖИЗНЬ В ЭФИРЕ

=====

ЖИЗНЬ В МЕЖЗВЕЗДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

=====

(13 сент. 1919г)

ЖИЗНЬ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЖИЗНЬ В СВЕТОНОСНОМ ЭФИРЕ.  
ЗЕМНЫЕ СУЩЕСТВА В М.П.ПРОСТРАНСТВЕ. УСЛОВИЯ ЖИЗНИ В М.П.ПРОСТРАНСТВЕ.

ПРОСТРАНСТВА КРУГОМ СОЛНЦА

Громады пространства вокруг солнца, там где блуждают планеты и Земля со своими спутниками. Вообразим сферу, центр которой совпадает с Солнцем и поверхность которой проходит через Землю. Эта поверхность, освещенная внутри отвесными лучами Солнца с такою же силой, как в полдень весной освещается почва на земном экваторе, получает солнечной энергии в 2,2 миллиарда раз больше, чем весь Земной шар. Пространства же для заселения еще гораздо больше, потому что можно сесть выше и ниже этой сферы, т.е. ближе и дальше от Солнца. На Земле распространение человека кверху и к низу затрудняется тяжестью. Например в многоэтажных домах нужны лестницы, подъемные машины, очень прочные здания и т.д. В эфире этого нет.

В своих трудах я доказывал, что и в настоящее время можно думать о возможности переселения в эти пространства (Исследование Мировых Пространств Реактивным Прибором) труднее и бесплоднее достигнуть больших планет. Легко достижимы малые планеты - также почти, как и межпланетные пространства. Это от того, что спуск на них очень легок. Напр. на планете с диаметром в 12 килом. тяжесть в 1000 раз меньше, чем на Земле. Тело падающее на такую планету, приобретет скорость в 11 метр. в секунду, удар от

Наибольший интерес в трудах учёного представляет проект поселения людей, в котором организован замкнутый круговорот и обновление вещества. Циолковский начинает детально описывать его в незаконченной рукописи (начата в 1919 г., последняя запись была сделана 2 августа 1933 г.).

«Община содержит до тысячи человек народа обоюго пола и всех возрастов. И помещение должно быть приспособлено для такого населения. Цилиндр с большим диаметром нехорош, потому что дает мало света на человека. Я думаю, для цилиндра довольно диаметра в 10 метров. Это соответствует комнате в 5 сажень высоту. Такой потолок, или свод, не покажется низким. На человека полагаем 100 кубических метров, на тысячу человек понадобится 100 000 кубических метров. Длина такого цилиндра будет 1 333 метра. Цилиндр может быть изогнут кольцом (диаметр 420 метров) или оставаться прямым, оканчиваясь полушаровыми поверхностями. Предположим последнее.

Население, согласно статистике, имеет столько-то семейств, столько-то свободных мужчин и свободных женщин. Каждой семье полагается особое отделение из трех камер: для мужа, жены и детей.



Влажность регулируется холодильником. Он же собирает всю излишнюю воду, испаряемую людьми. Общежитие сообщается с оранжереей, из которой получает очищенный кислород, и куда посылает все продукты своих выделений. Одни из них в виде жидкостей и пронизывают почву оранжерей, другие прямо выпускаются в их атмосферу.

Теоретически 1 квадратный метр может дать 14 килограммов кислорода, а 13 квадратных метров — 182 килограмма. Если утилизируется растениями только 1 % [Солнечной энергии] (бананы и корнеплоды дают до 5 %), то кислорода окажется вдвое больше, чем нужно. При этом получится углерода 5 килограммов в сутки на 1 квадратный метр, а на 13 квадратных метров — 65 килограммов углерода, что в виде муки даст 130 килограммов. Что опять-таки вдвое больше, чем нужно для пропитания в тропическом климате эфира, так как даст 4 с лишком фунта печеного хлеба.

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

Эта рукопись Циолковского под названием «Жизнь в межзвёздной среде» была опубликована академическим издательством «Наука» только в 1964 г.



**Цандер**  
**Фридрих Артурович**  
(1887 – 1933)

Учёный и инженер Ф.А. Цандер – один из пионеров практической космонавтики, основатель и первый руководитель Группы изучения реактивного движения (ГИРД, 1931 г.), ставшей школой многих конструкторов космической ракетной техники, в т.ч. С.П. Королёва.

На основе работ Циолковского, в 1929 г. Цандер рассчитал и построил первый реактивный двигатель ОР-1 (опытный реактивный), который работал на бензине и сжатом воздухе, потреблял 1,76 г/с топлива и развивал тягу 1,4 Н при скорости истечения продуктов сгорания 840 м/с.

В 1931 г. начались работы по созданию ОР-2. По проекту этот двигатель должен был развивать тягу в 980 Н при давлении в камере 0,7 – 0,8 МПа и работать непрерывно в течение 60 секунд, используя бензин и жидкий кислород.

В январе 1933 года под руководством Ф.А. Цандера начались работы по созданию жидкостной ракеты «ГИРД-Х». Она должна была подниматься на высоту не менее 5,5 км с полезной нагрузкой 2 кг.

В марте 1933 г. Цандер заразился тифом по дороге на отдых в Кисловодск и умер.





Ф.А. Цандер уделял большое внимание вопросам жизнеобеспечения экипажа в космическом полёте. В 1915 – 1917 г. он проводил у себя дома опыты по созданию оранжереи, которая давала бы космонавтам свежие овощи и поглощала бы выделяемую людьми углекислоту. Цандеру удалось вырастить капусту и горох в цветочных горшках, наполненных не землёй, а толчёным древесным углём, который в 3 – 4 раза легче почвы. Уголь при этом удобрялся отходами жизнедеятельности.

Его любимым лозунгом было: «Вперёд – на Марс!». В своих трудах «Межпланетные полёты», Цандер пишет: «Что касается пищевых продуктов, весьма необходимо будет производство опытов с оранжереей авиационной лёгкости. Циолковский вычисляет, что оранжерея бананов может прокормить одного человека при площади её в 1 кв.м. Можно перейти к простому обрызгиванию корней питательной жидкостью. Методом аэрации можно превращать в 24 часа все отбросы в полезное удобрение. Оранжерея может давать человеку чистый кислород и использовать углекислоту, которую выделяет человек. Энергия получается от Солнца и человек вместе с растениями может жить, не нуждаясь ни в добавочном воздухе, ни в добавочной пище».





**Чижевский**  
**Александр Леонидович**  
(1897 – 1964)

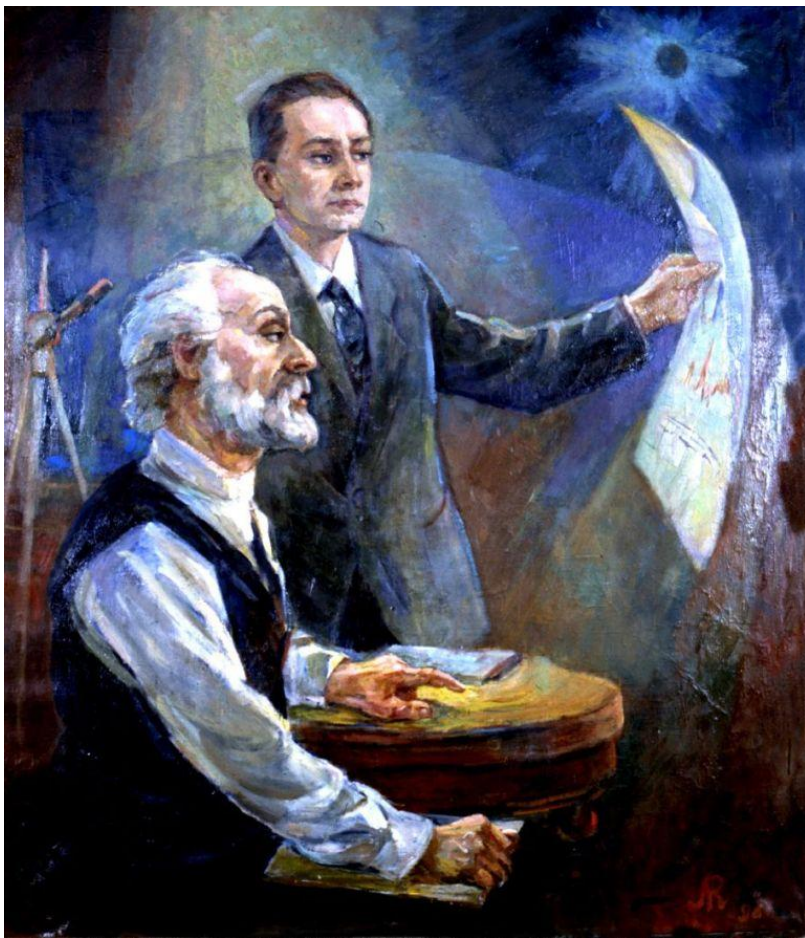
Советский учёный, инженер и художник А.Л. Чижевский – основоположник космической биологии. Под влиянием идей Циолковского о межпланетных полётах провёл серию экспериментов на лабораторных животных по изучению жизнедеятельности организмов в условиях замкнутой среды.

В результате проведённых опытов, Чижевский сделал важное открытие – установил жизненную необходимость наличия в дыхательной атмосфере космонавтов отрицательно заряженных ионов.

В дальнейшем, вопросы аэроионификации воздуха в закрытых помещениях стали главным направлением научной деятельности Чижевского. Им разработано «Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и в медицине». В 1960 г. Чижевский опубликовал капитальную монографию «Аэроионификация в народном хозяйстве».

С 1914 г. Чижевский жил в Калуге и близко познакомился с К. Э. Циолковским, который сыграл большую роль в становлении его мировоззрения. Циолковский поддерживал эксперименты Чижевского по аэроионификации. В свою очередь, Чижевский содействовал утверждению мирового приоритета Циолковского в области космонавтики и ракетной динамики – помогал Циолковскому в публикации его статей в московских журналах и центральных газетах и рассылал публикации зарубежным учёным и научным обществам.

В доме своего отца с 1915 года Чижевский занимался исследованиями в области биофизики. С 1918 г. в течение 3-х лет ставил первые опыты по воздействию отрицательно ионизированного воздуха на живые организмы (аэроионификация). Его опытные исследования дали чёткий результат: положительно заряженные ионы воздуха негативно влияют на живые организмы, а отрицательно заряженные, напротив, производят благотворное действие. Чижевскому удалось впоследствии оформить авторское свидетельство на свой аэроионизатор для получения лёгких аэроионов, который широко известен как «люстра Чижевского».





В 3-м Московском медицинском институте в 1938 – 1942 гг. Чижевский проводил опыты по изоляции мышей в стеклянном резервуаре, воздух в который подавался через трубку, в которую был вставлен тампон гигроскопической ваты толщиной в несколько сантиметров.

Чижевский пишет: «Этого кусочка ваты достаточно, чтобы вызвать у животных целый ряд поразительных явлений. Уже с 5-го дня в поведении животных проявляются некоторые изменения. Постепенно явления болезненного состояния животных нарастают всё больше и больше, тяжёлое состояние переходит в коматозное, животные лежат без движения, пищи не принимают, наконец, агонизируют и погибают.

Пропуская воздух через вату, мы лишаем его некоторых свойств, абсолютно необходимых для жизнедеятельности организма. Проходя слой ваты, воздух оставляет на ней все свои электрические заряды. Слой ваты в 4 мм поглощает 90 % электрических зарядов воздуха; слой ваты в 10 – 12 мм поглощает все заряды независимо от их количества (и массы) в наружном воздухе».

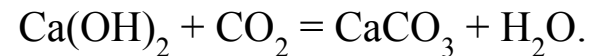
Обеспечение нормального аэроионного состава воздуха является одной из важнейших задач создания искусственных экосистем.





Первые системы жизнеобеспечения человека потребовалось создать ещё до того, как были получены какие-либо практические результаты по созданию искусственных замкнутых экосистем. Ещё до создания первых образцов ракетно-космической техники, начала активно развиваться аэронавтика.

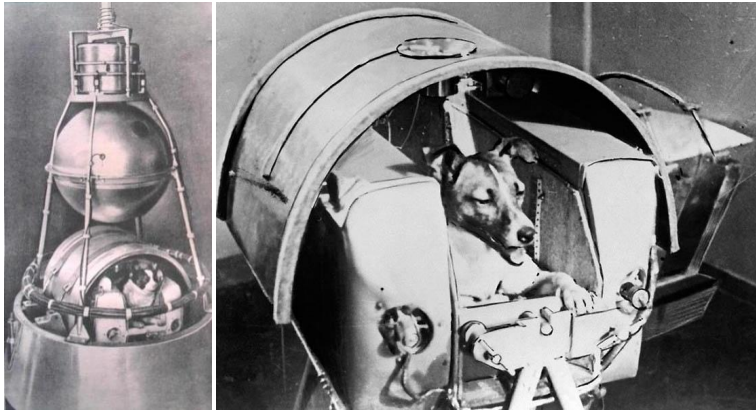
В стратостатах «СССР-1» (1933 г.) и «Осоавиахим-1» (1934 г.), имевших герметизируемые гондолы, технические системы жизнеобеспечения включали запасы криогенного и газообразного кислорода, который находился в баллонах под давлением 150 атм. Диоксид углерода удалялся с помощью химического поглотителя известкового (ХПИ) в соответствии с реакцией:



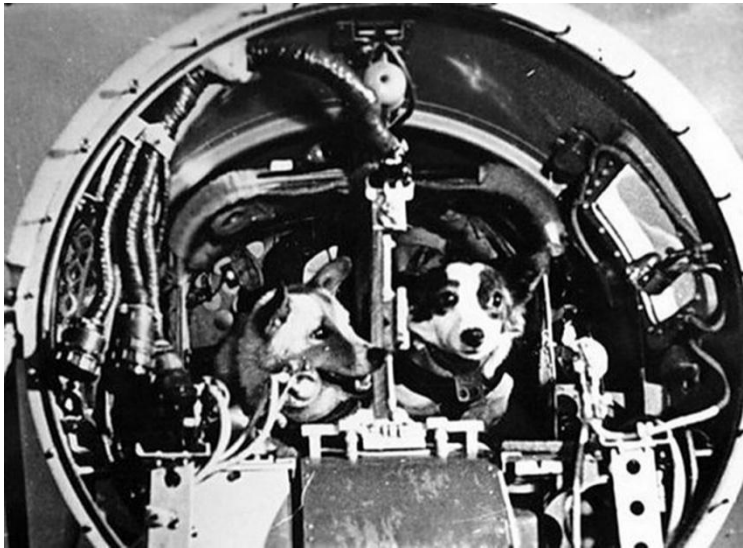
30 сентября 1933 г. Г.А. Прокофьев, К.Д. Годунов, Э. К. Бирнбаум на аэростате «СССР-1» поднялись на высоту 19 км. Во время полёта стратостата «Осоавиахим-1» 30 января 1934 г. на борту находились мушки-дрозофилы и проводился эксперимент по изучению влияния на живые организмы полёта в условиях герметичной кабины.

Катастрофа «Осоавиахи́ма-1» при посадке показала опасность аэронавтики, заключающуюся в невозможности полностью управлять скоростью корабля и надёжно контролировать его движение.





Лайка на «Спутнике-2»



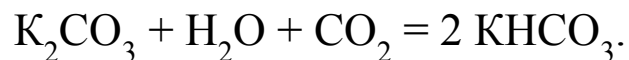
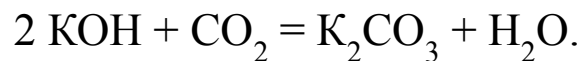
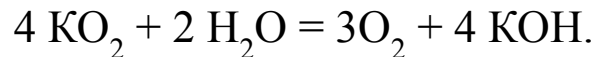
Белка и Стрелка на  
«Спутнике-5»

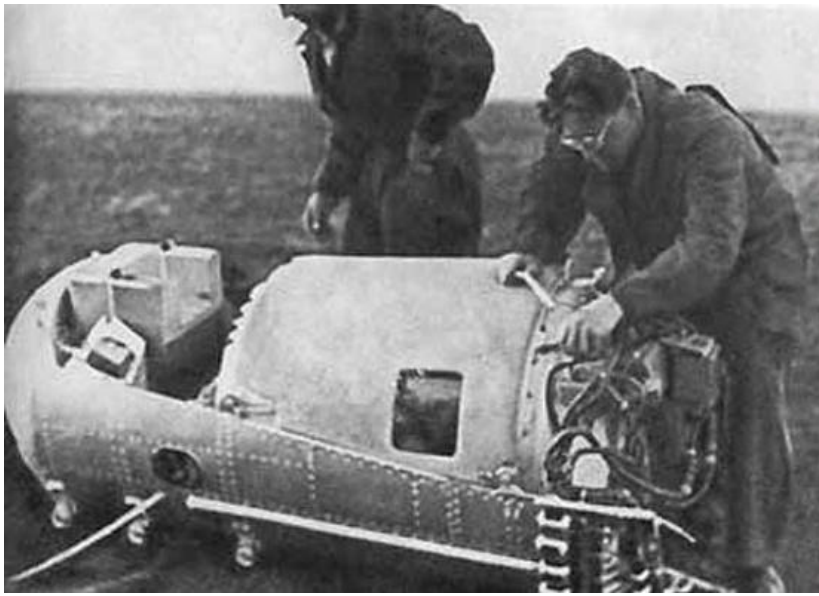
Разработка систем жизнеобеспечения для космических полётов возобновилась в ходе ракетных запусков животных. В ноябре 1957 г. на корабле «Спутник-2» была запущена собака Лайка, в августе 1960 – Белка и Стрелка на «Спутнике-5».

Система жизнеобеспечения, рассчитанная на пребывание собак в герметичной кабине на протяжении 7 суток включала автомат питания, систему регенерации воздуха и ассенизационное устройство.

Автомат кормления представлял собой автоматический контейнер, в герметичных ячейках которого находилась желеобразная питательная смесь, содержащая белки, жиры, углеводы, витамины и воду. Два раза в сутки автомат открывал крышку очередного контейнера.

Устройства регенерации были расположены в специальных кожухах и состояли из пластин высокоактивных надперекисных химических соединений, через которые проходил воздух для обогащения кислородом, удаления углекислого газа и водяных паров, в соответствии с реакциями:





Специалисты открывают спускаемый аппарат с Белкой и Стрелкой

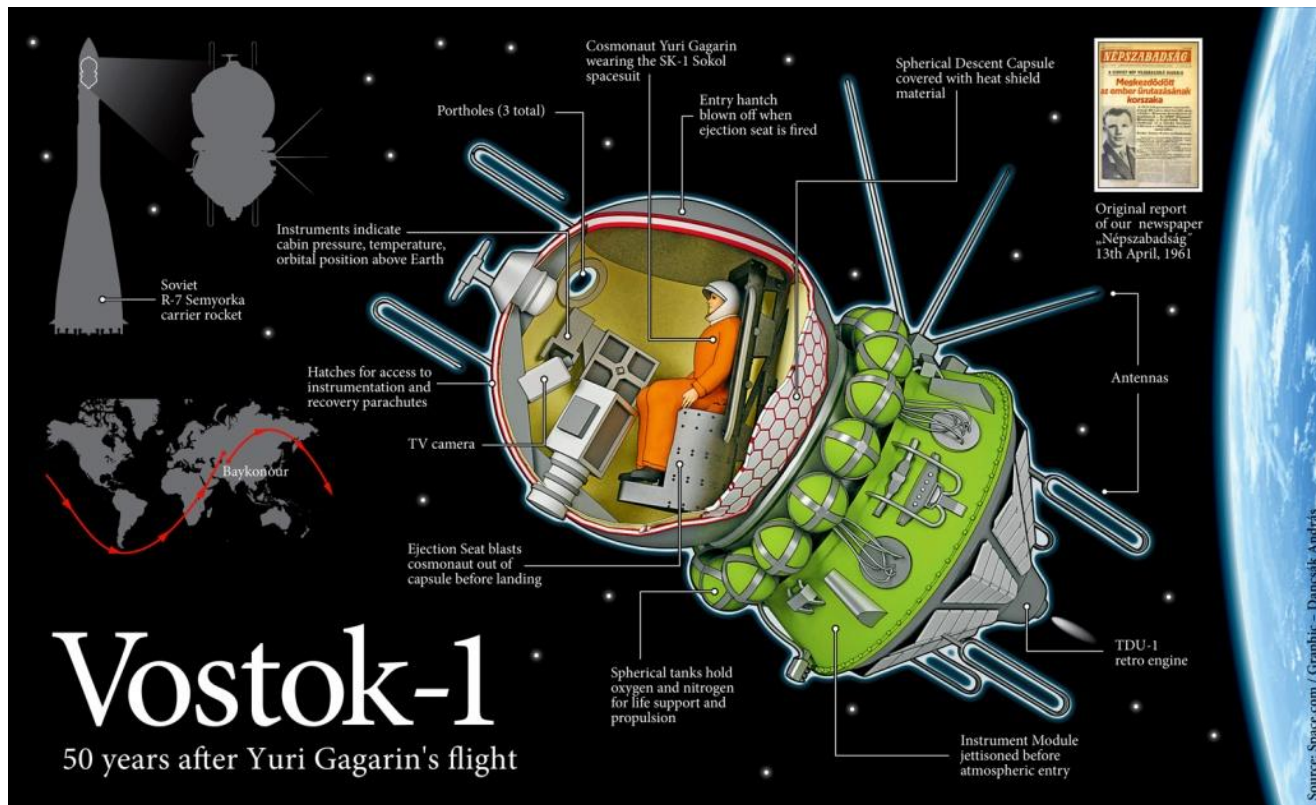
Лайку удалось вывести на расчетную орбиту, но оказалось, что не был достаточно проработан вопрос теплоотвода кабины. Площадь нагрева космического аппарата солнечным излучением оказалась очень большой – сделав несколько витков вокруг Земли, Лайка погибла через два часа, когда температура в кабине поднялась свыше  $41^{\circ}\text{C}$ .



Белка и Стрелка совершили 25-ти часовой полёт по орбите, сделав 18 витков вокруг Земли. Спускаемый аппарат благополучно приземлился возле г. Кустанай. После полёта собаки прожили долго. Успех миссии «Спутника-5» предопределил решение о пилотируемом полёте человека в околоземное пространство.

Белка и Стрелка в Институте космической и авиационной медицины Министерства обороны





12 апреля 1961 г. Ю.А. Гагарин на космическом корабле «Восток-1» совершил первый в мире полёт по орбите Земли, сделав 1 виток за 108 минут.

В августе 1961 года Г.С. Титов на «Востоке-2» выполнил космический полёт продолжительностью 1 сутки 1 час, сделав 17 оборотов вокруг Земли.

В июне 1963 г. В.Ф. Быковский совершил полёт на корабле «Восток-5», продолжительность которого составила 4 суток 23 часа 6 минут – максимально достигнутая для кораблей этой серии.

Тогда же, в июне 1963 г. на корабле «Восток-6», В.В. Терешкова совершила полёт, который продолжался 2 суток 22 часа 40 минут.



Система жизнеобеспечения кораблей серии «Восток» основывалась на запасах расходуемых веществ и была рассчитана на поддержание жизнедеятельности 1 космонавта в течение 10 суток.

Состав атмосферы (смесь азота и кислорода) контролировался с помощью газоанализатора концентрации кислорода и диоксида углерода. Обеспечение кислородом производилось с использованием надперекиси калия и запасов воздуха в баллонах под высоким давлением. Для удаления диоксида углерода и очистки атмосферы использовалась надперекись калия и активированный уголь.

Набор продуктов рациона питания для полетов на кораблях «Восток» включал пюреобразные консервы и соки, упакованные в алюминиевые тубы массой 160 г. Приём пищи производился через каждые 4-5 часов полёта.



Для удаления продуктов жизнедеятельности космонавтов использовался моче - калоприемник, позволяющий удовлетворять потребности не снимая скафандр. Система регулирования температуры и влажности была основана на использовании конденсирующего теплообменника, обдуваемого воздухом. В качестве хладагента применялся водный раствор этиленгликоля.



С.П. Королёв  
с подопытной собакой,  
1951 г.  
(испытания скафандра и  
отсека для  
катапультирования из  
стратосферы)

Ход работ по созданию космических систем жизнеобеспечения направлялся Генеральным конструктором ракетной техники Сергеем Павловичем Королёвым. По инициативе С.П. Королева и М.В. Келдыша был создан Институт медико-биологических проблем. Его сотрудникам вспоминается личная дегустация С.П.Королевым воды, полученной, с помощью разработанной в институте системы регенерации, из мочи. Сергей Павлович, попробовав регенерированную воду, одобрил ее вкусовые качества.

В 1962 г. С.П. Королёв сформулировал комплекс первоочередных задач космической биотехнологии: «Надо бы начать разработку «оранжереи по Циолковскому», с наращиваемыми постепенно звеньями или блоками, и надо начинать работать над «космическими урожаями». Каков будет состав этих посевов, какие культуры? Их эффективность, полезность? Повторяемость посевов из своих же семян, из расчета длительного существования оранжереи? Какие организации будут вести эти работы: по линии растениеводства и вопросов почвы, влаги, по линии механизации и «свето-тепло-солнечной» техники и систем её регулирования для оранжерей и т. д.?».





Красноярский Академгородок  
слева – главный корпус Института физики им. Л.В.Киренского СО РАН,  
справа – Институт биофизики СО РАН

В 1964 г. (в год публикации последней рукописи Циолковского) началось практическое создание замкнутых искусственных экологических систем, включающих в себя человека. На основе принятого С.П. Королёвым решения об отработке «оранжереи Циолковского», в Красноярске, в Институте биофизики Сибирского отделения РАН (тогда – отделе биофизики Института физики СО АН СССР им. Л.В. Киренского) началась работа по строительству установки **«Биос-1»**.