

«Научно-исследовательский комплекс «Замкнутые экосистемы» (НИК ЗЭС).

«Научно-исследовательский комплекс «Замкнутые экосистемы» (НИК ЗЭС) предназначен для изучения проблем создания и функционирования круговоротных процессов в искусственных экосистемах космического и земного назначения.

Инфраструктура НИК ЗЭС включает в себя биолого-техническую систему жизнеобеспечения БИОС-3 и размещенный в специальном зале («фитотронный зал») комплект герметизируемых терморегулируемых камер и малых искусственных экосистем, снабженных современным аналитическим оборудованием и современными средствами контроля и наблюдения.

Установка «БИОС-3» создана в рамках реализации программы «Биологические системы» (БИОС) в Институте биофизики СО РАН по инициативе и при прямой поддержке академика С.П. Королева. БИОС-3 размещена в павильоне, корпус которого находится ниже уровня земли на 2,5 м. Внутренние габариты павильона, включая собственно установку, составляют 289 кв.м., высота павильона – 6 м. Таким образом, рабочий объем павильона составляет 1734 кв.м. Установка БИОС-3 представляет собой сварной корпус из нержавеющей стали. Корпус разделен герметичными переборками на четыре равных отсека, три из которых заняты фитотронами для культивирования растений. Четвертый отсек жилой с тремя каютами для экипажа, бытовым и вспомогательным оборудованием, используемый также как общее помещение, лаборатория, мастерская или комната отдыха. Каждая каюта предназначена для одного члена экипажа и имеет площадь 1,5×2 м. Все отсеки системы сообщаются между собой и внешней средой через герметизируемые двери. Для организации межзвенного газообмена и водоснабжения отсеки соединяются соответствующими газовыми и жидкостными трубопроводами. Фитотроны экспериментальной установки «БИОС-3» предназначены для культивирования высших растений методом гидропоники на керамзите или другом твердом наполнителе. Установка «БИОС-3» предназначена для изучения свойств замкнутых систем жизнеобеспечения, включающих человека, основанных на экологическом круговороте веществ. Полезная площадь для посева зерновых в 1-ом и 2-ом фитотронах по 17 м², площадь для овощных культур по 3,6 м², а в 3-м соответственно 12,8 м² и 7,2 м². Остальная площадь данных отсеков занята системой теплоотвода и проходами. В структуру каждого фитотрона входят системы полива растений, освещения, теплоотвода, автоматического контроля и регулирования, энергоснабжения и внутреннего водоснабжения. Система автоматизации трех фитотронов включает в себя: а) системы автоматизации внутренних устройств фитотронов и системы аварийной и технологической сигнализации; б) системы автоматизации внешних устройств фитотронов.

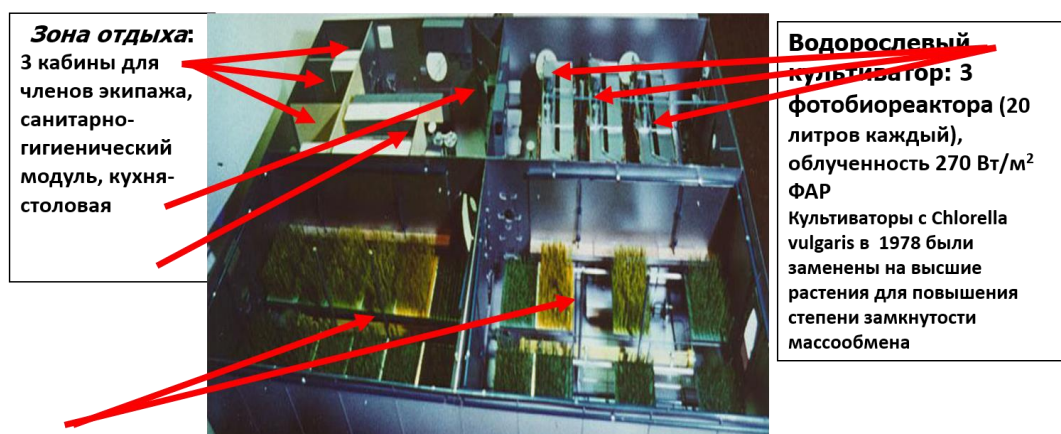
В БИОС-3 накоплен большой опыт автономной жизнедеятельности человека в автономном режиме при высокой степени замкнутости массообменных процессов. БИОС-3 впервые в мире позволила в автономном режиме обеспечить жизнь экипажа из 2-3 человек в течение 4-6 месяцев за счет замыкания цикла по воде и газу почти на 100% и пище более чем на 50%. В БИОС-3 конструктивно заложена и на практике реализована возможность внутреннего управления всеми процессами самим экипажем испытателей. Это создает психологическую атмосферу и режим работы испытателей максимально приближенный к космическим условиям, когда все рычаги управления и принятие

оперативных решений находятся только в компетенции испытателей. Это особенно важно для имитации дальних миссий (например, на Марс), когда связь с Землей идет с большой задержкой сигнала. Другой важной уникальной особенностью установки БИОС-3 является изначально заложенная в ее конструкцию возможность создания высокой степени замкнутости круговоротного процесса, включающего человека, за счет биологических и физико-химических методов регенерации, что принципиально важно для имитации массообменных процессов стационарных космических станций. Сочетание этих двух уникальных качеств установки БИОС-3 не имеют мировых аналогов и получили мировое признание всех ведущих космических агентств мира (см. декларацию представителей NASA и ESA, представителей Китая).

Внешний вид БИОС-3



Биорегенеративная система жизнеобеспечения БИОС-3 (историческая справка)

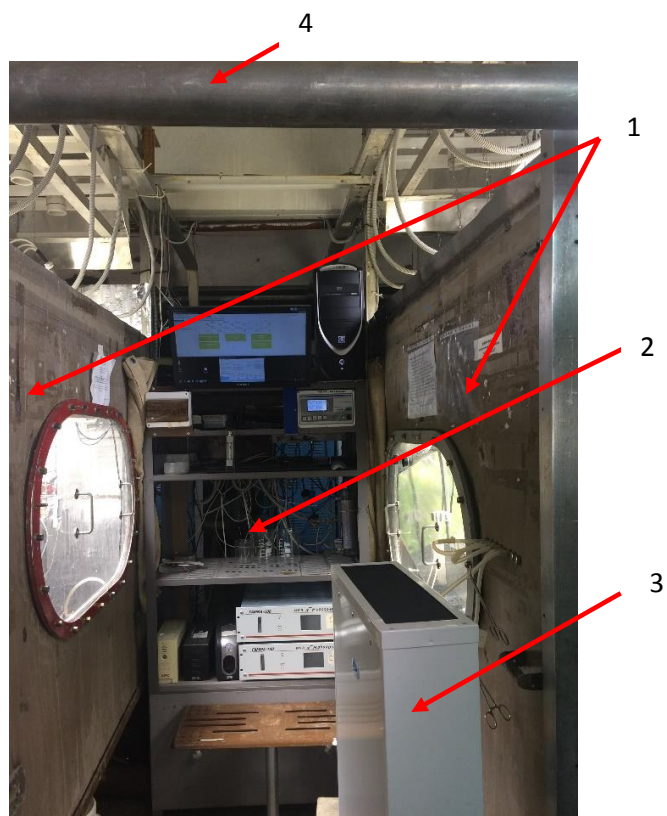


Основные медицинские результаты:

- Отклонений в здоровье экипажа не обнаружено
- Отдаленных последствий в здоровье экипажа, связанном с пребыванием в БИОС-3, не обнаружено

Фитотронный зал (общая площадь 1200 кв.м) включает следующую инфраструктуру:

1. Установка «Экспериментальная модель замкнутой экосистемы» (ЭМЗЭ) с расчетной долей присутствия метаболизма человека. ЭМЗЭ рассчитана на использование определенной доли метаболизма человека, вовлеченного во внутрисистемный круговорот по газообмену, водообмену, органическим отходам и предназначена для проведения исследований по определению и моделированию механизмов работы круговоротных процессов, тестированию вновь создаваемых или модернизируемых технологий для их последующего использования в крупномасштабных системах жизнеобеспечения, включающих человека (например, БИОС-3). Для выполнения этих задач ЭМЗЭ имеет все основные характеристики, присущие полномасштабной системе жизнеобеспечения человека. ЭМЗЭ обеспечивает создание и поддержание в течение нескольких месяцев круговоротного процесса с заданными параметрами массообмена. ЭМЗЭ может быть также использована для выполнения исследований по надежности и устойчивости работы различных звеньев и всей замкнутой экосистемы в целом, что в принципе невозможно осуществить на полномасштабных БТСЖО в силу больших рисков для здоровья человека, а также финансовых и временных затрат, связанных с возможным разрушением и необходимостью последующего восстановления системы.



Общий вид экспериментальной установки, предназначенной для имитации круговоротного процесса в биорегенеративной замкнутой экосистеме с расчётной долей метаболизма человека.

1 – герметичные камеры с высшими растениями, культивируемые при искусственном облучении на минерализованных органических отходах жизнедеятельности человека и несъедобной биомассе растений. 2 – Приборная стойка для регистрации и контроля параметров внутренней среды в

камерах (газообмен, температура, облученность и др.). 3 – ультрафиолетовый стерилизатор окружающей воздушной среды. 4 – фрагмент газового трубопровода для объединения газовой атмосферы герметичных камер с высшими растениями

2. Установка «Искусственная Биота». Установка предназначена для экспериментального моделирования глобальных биосферных циклов и представляет собой искусственную замкнутую полностью автоматизированную мини-экосистему. Ее основу составляет вегетационная камера из нержавеющей стали, объемом 281 литр с прозрачным люком из оргстекла. Источник искусственного света расположен над прозрачным потолком камеры, охлаждаемым слоем проточной воды. Величина облученности на уровне ценоза растений составляет до 100 Вт/м² фотосинтетически активной радиации (ФАР). Задаваемые температура воздуха в камере и почвы поддерживаются с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$ независимо друг от друга. Круговорот воды в камере происходит за счет системы естественной конденсации влаги на охлаждаемых стенках камеры и ее поступления из воздушной среды в почву с последующим испарением в атмосферу камеры. В настоящее время благодаря проведенной модернизации системы, направленной на возможность работы с экосистемами северных широт, появилась возможность поддерживать температуру почвы в пределах от 0°C и выше, а температуру воздуха в условиях круглосуточного освещения от 8°C и выше. В результате реконструкции системы автоматического поддержания необходимого уровня концентрации CO_2 , в замкнутом объеме вегетационной камеры появилась возможность поддерживать задаваемый уровень концентрации CO_2 с точностью до 0,01%. В состав установки «Искусственная Биота» входят непосредственно сама вегетационная камера со встроенными в нее нагревательными и охлаждающими элементами, электронными датчиками температуры воздуха и почвы и вентилятором, и блоки системы управления и контроля абиотических параметров внутренней среды. Система контроля концентрации CO_2 и относительной влажности воздуха осуществляется с помощью газоанализатора Li-COR 840A (USA), O_2 - с помощью газоанализатора «Paramax, USA), CH_4 , H_2S и SO_2 - с помощью газоанализатора ITX Multigas monitor (USA). Система кондиционирования воздуха представлена холодильным блоком, клапаном для слива конденсата и управляющим компьютером. Термостат со встроенным в него нагревателем и испарителем от холодильника и насосом используется для регулирования температуры почвы. Система автоматической терморегуляции воздуха осуществляется за счет работы терморегулирующего устройства, установленного на стойке. Все управление температурой воздуха и концентрацией CO_2 осуществляется с помощью основного управляющего и регистрирующего компьютера. Данная установка может быть использована для проведения различных исследований, связанных с экспериментальным моделированием природных процессов экологического характера.

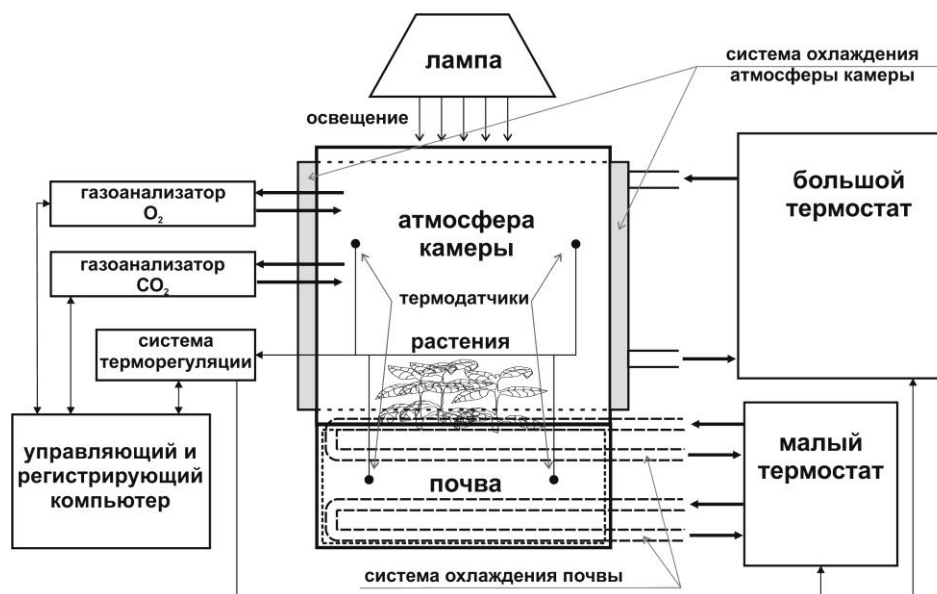


Схема установки «Искусственная биота»



3. Набор из **12 герметизируемых терморегулируемых вегетационных камер** объемами от 250 до 3000 л каждая. Камеры предназначены для выполнения различных научно-исследовательских работ по культивированию высших растений – кандидатов для включения в фототрофное звено замкнутых экосистем, а также для различных исследований и образовательной деятельности в области светофизиологии растений, светокультуры, фотобиологии, экологии и других сопряженных с ними дисциплин.
4. Кроме вегетационных камер в фитотронном зале имеется также **5 открытых установок для культивирования высших растений при искусственном освещении**, на которых могут быть выполнены фотобиологические исследования, но с менее строгими требованиями к условиям регулирования параметров внешней среды. Однако за счет

достаточно больших посевных площадей (6 кв.м каждая установка) открываются дополнительные возможности исследования, в частности, по ускоренной селекции ценных сортов высших растений с последующей проверкой полученных образцов в полевых условиях, что может сократить общие сроки селекционного процесса в 2-3 раза.

5. Коллекция культур микроорганизмов CCIBSO 836 Института биофизики СО РАН включает следующие разделы коллекционных фондов:

- коллекция культур морских светящихся бактерий (CCIBSO 836),
- коллекция генно-модифицированных штаммов E.coli,
- коллекция мицелиальных культур светящихся базидиомицетов,
- коллекция хемолитотрофных бактерий.

Основные направления научных исследований в рамках НИК ЗЭС:

- Изучение метаболической активности культур в целях экологии, филогении и в различных прикладных аспектах;
- Изучение действия токсических веществ на люминесценцию светящихся культур в целях использования в биотестировании;
- Изучение особенностей функционирования биолюминесцентной системы грибов;
- Поиск штаммов-продуцентов различных целевых продуктов, перспективных для биотехнологии.

Сферы применения НИК ЗЭС

В целом, НИК ЗЭС предназначен для имитации массообменных процессов на будущих космических станциях, в искусственных сооружениях, например, в экодомах высокой степени автономности, предназначенных для эксплуатации в неблагоприятных условиях среды, имитации природных локальных круговоротных процессов с целью их изучения.

Медики могут использовать эти свойства лабораторных ЗЭС, например, для исследования собственной динамики микрофлоры испытуемых в условиях отсутствия притока микрофлоры извне, а поскольку с кишечной микрофлорой тесно связан иммунитет, то возможно проведение ряда исследований по иммунологии. Кроме того, возможно проведение исследований по влиянию летучих выделений человека и растений на физиологию испытуемых.

Микробиологи могут исследовать закономерности микробной сукцессии и достижения устойчивого состояния микрофлоры в компонентах системы и в системе в целом. Накопление слабо эмитируемых соединений позволит детектировать сигнальные молекулы, вызывающие кворум-эффекты, а также влияние бактериального сообщества в газовый состав системы.

Физиологи растений могут исследовать эффекты взаимного влияния растений друг на друга через вещества, концентрации которых в обычных условиях были незначительны. В условиях замкнутости происходит накопление всех веществ, что делает эффекты, например, аллелопатии регистрируемыми. Отдельный интерес может представлять динамика ризосферной микробиоты в условиях замыкания.

Психологи могут изучать динамику малых замкнутых коллективов не при имитации совместной деятельности, а при выполнении реальных, необходимых для всех работ по обеспечению жизнедеятельности биологического и инженерного компонентов в системе БИОСЗ+.

Для экологов и в особенности для специалистов по математическому моделированию в экологии малые ЗЭС являются своего рода вызовом и пробным камнем – прежде чем прогнозировать динамику реальных экосистем нужно опробовать модельный инструментарий на простых и полностью контролируемых бесчеловечных ЗЭС. Отдельной темой исследования может быть изучение процессов, возникающих при смене лимитирующего фактора, а также учет замкнутости по всем существенным биогенам, который требует модификации традиционных моделей и приближает их к моделям биосферы.

По спектру своих научных, технологических и функциональных возможностей НИК ЗЭС не имеет аналогов в мире.