

Proceedings of the xx-th International Astronautical Congress, 1969

БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С НИЗШИМИ И ВЫСШИМИ РАСТЕНИЯМИ

Академия Наук СССР, Москва (СССР)

Л. В. Киренский, И. А. Терсков, И. И. Гительзон, Г. М. Лисовский, Б. Г. Ковров, Ю. Н. Окладников, М. С. Рерберг, В. Н. Белянин, И. Н. Трубачев, Ф. Я. Сидько, М. И. Базанова

Искусственное создание экологических систем с замкнутым круговоротом веществ стало предметом многочисленных исследований в связи с задачами жизнеобеспечения человека в космосе.

Разработка методов интенсивного культивирования водорослей позволила перейти от построения расчетных схем к экспериментальному осуществлению двухзвенной биологической системы, включающей человека и нестерильную культуру хлореллы.

В проведенных с этой системой экспериментах, человек находился в гермокабине объемом 12 м^3 ; культиватор для водорослей, соединенный воздуховодом с кабиной, имел светоприемную площадь 8 м^2 и объем культуры водорослей 17 л .

В двухзвенной системе удалось полностью регенерировать атмосферу за счет согласованного газообмена между звеньями. Это достигалось с помощью направленного подбора соответствующего физиологическим нормам рациона человека и использования карбамидной формы азота для питания водорослей.

Ассимиляционный коэффициент звена «хлорелла» при этом был уравнен с дыхательным коэффициентом человека — 0,88. Для снятия специфического водорослевого запаха между водорослевым звеном и человеком вводился угольный фильтр.

При средней концентрации CO_2 в воздухе гермокабины около $1,0\%$ суточные колебания концентрации CO_2 , вызываемые суточным ритмом дыхания человека, сглаживались изменениями продуктивности хлореллы, работавшей в режиме лимитирования фотосинтеза по CO_2 . В ночные часы интенсивность фотосинтеза хлореллы снижалась вслед за снижением интенсивности дыхания человека, а в дневные часы, благодаря некоторому повышению концентрации CO_2 , интенсивность фотосинтеза повышалась. Авторегуляционный

характер газообменных связей между звеньями обеспечивал колебания концентрации CO_2 в воздухе, не выходящие за верхний предел допустимых значений (около 1,3% в вечерние часы).

Регенерация воды осуществляется в этой системе одновременно с регенерацией атмосферы и тем же самым фотосинтетическим процессом. В этом совмещении функций проявляется характерная особенность биологических систем регенерации, определяющая их основное преимущество. Жидкие выделения человека и сточно-бытовая вода (после грубой фильтрации) поступали из кабины в питательный раствор водорослей. Потребности человека в питьевой воде полностью удовлетворялись за счет конденсата водорослевого культиватора, который доочищался на ионообменных смолах и корректировался солевыми добавками. Санитарные нужды удовлетворялись также конденсатом водорослевого культиватора и частично конденсатом гермокабины. Таким образом, человек получал воду, регенерированную в биологической системе.

Всю синтезированную хлореллу из системы выводили. Также выводили из системы твердые выделения человека. Потребность хлореллы в минеральных элементах удовлетворялась за счет жидких выделений человека и солевых добавок.

Неиспользуемые хлореллой элементы (Na, Ca, Cl) накапливались до концентраций, при которых их вынос на анализы и технологические потери компенсировался поступлением этих элементов с жидкими выделениями человека и сточно-бытовой водой.

Пищу в виде лиофилизированного рациона испытатель получал извне. Состояние испытателя в системе оставалось нормальным во всех экспериментах продолжительностью от нескольких часов до месяца.

Продуктивность культуры водорослей оставалась стабильной. Не обнаружено каких-либо биологических препятствий для функционирования системы в течение более длительного времени. Эта система была описана в наших сообщениях на XIX Конгрессе МАФ в 1968 году в Нью-Йорке; однако ею не решается задача обеспечения человека пищей. Употребление хлореллы в пищу человеком остается проблематичным. Хотя ее отдельные компоненты, например белки, могут быть использованы в пищу, однако их выделение требует очень сложной технологии.

Еще более затруднительно решение проблемы углеводного питания человека при использовании хлореллы, т. к. ее биомасса содержит в сравнении с рационом человека недостаточную долю углеводов и избыток белка.

Более перспективными продуцентами пищи пока что представля-

ются высшие растения. В связи с этим предпринята попытка включения звена высших растений в систему «человек—хлорелла».

Для этих целей была использована непрерывная культура пшеницы, дающая высококачественный пищевой продукт.

Таким образом была осуществлена трехзвенная система «человек—водоросли—высшие растения». Первоочередной задачей этой системы было выяснение совместимости звеньев при их прямом газообмене и частичное удовлетворение человека растительной частью рациона. Последовательность газообмена была следующая: человек—хлорелла—фильтр—высшие растения—человек.

Пшеницу выращивали в фитотроне со световой площадью $4,5 \text{ м}^2$. Фитотрон был соединен герметическим переходом с гермокабиной. Все работы в фитотроне выполнял сам испытатель.

В одном из экспериментов продолжительностью 30 суток газообмен человека обеспечивался фотосинтезом хлореллы на 82,4% и пшеницы на 17,6%. Суточный разбаланс системы — нехватка кислорода вследствие несоответствия ассимиляционного коэффициента пшеницы дыхательному коэффициенту человека составлял 4 л в сутки. Такой разбаланс может быть откорректирован изменениями в рационе человека, не выходящими за физиологически допустимые нормы.

Прямой контакт человека с воздухом фитотрона, поступавшим в течение всего опыта в гермокабину, а также во время работы испытателя в фитотроне, не привел к каким-либо изменениям в состоянии испытателя, что свидетельствует о полной газовой совместимости человека с культурой пшеницы.

В описываемом эксперименте частично был замкнут и водообмен системы. Принципиальная схема водообмена показана на рис. 1. Извне испытатель получал только 0,1 кг воды в составе лиофилизированного рациона.

Вся питьевая и санитарно-бытовая вода — 7,49 кг/сутки состояла

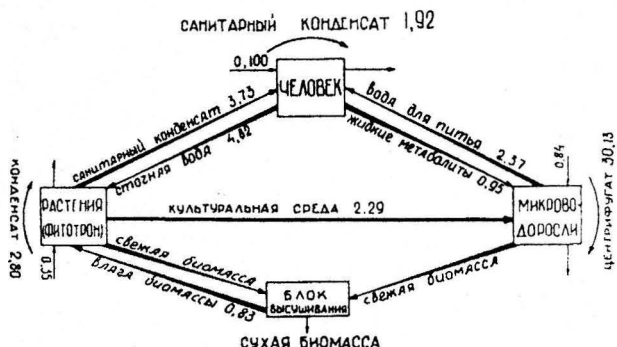


Рис. 1

из конденсатов водорослевого культиватора, фитотрона и гермокабины. Основная часть потребностей в воде водорослей и высших растений удовлетворялась также за счет внутрисистемных источников. Введение воды извне требовалось только для компенсации выноса растворов на анализы и технологических потерь, которые в сумме составили 1,25 кг/сутки.

Замкнутый водообмен не сказался на функционировании звеньев «человек» и «хлорелла». Состояние пшеницы при замкнутом водообмене ухудшалось. Было отмечено постепенное снижение ее общей продуктивности и, в особенности, хозяйственно полезной.

В течение 30 суток на площади 4,5 м² было выращено 3,1 кг абсолютно сухой биомассы пшеницы, включая 1,05 кг зерна. Последнее использовалось испытателем в виде печеного хлеба, что составило 7% от суточного сухого рациона.

Проведенный опыт обеспечил полное замыкание системы по газу, замыкание по воде на 0,83 и по пище на 0,07 от фактического потребления человека. Состояние испытателя оставалось нормальным как в течение всего опыта, так и после него.

Выращивание пшеницы проходило при малой скорости замены водной среды с передававшейся в водорослевый культиватор.

Такое выращивание ухудшало состояние пшеницы и не обеспечивало устойчивую работу звена. Размыкание газообмена системы после эксперимента не улучшало состояние растений. Продуктивность их быстро повышалась только после частой и полной смены водной среды.

Предполагаемой причиной ухудшения состояния растений могло быть накопление собственных метаболитов растений в среде, накопление метаболитов альго- и микрофлоры и, наконец, токсические выделения конструктивных элементов фитотрона. Вопрос этот подлежит дальнейшему изучению. Однако он не представляется принципиально неразрешимым.

В проведенном эксперименте были сокращены до минимума перечень и частота всевозможных анализов, требующих выноса веществ из системы. Это улучшало замкнутость системы, но вступало в противоречие с основной задачей всякого эксперимента — получением максимальной информации.

Это обстоятельство приводит к необходимости разработки таких методов анализа, которые не требуют выведения и введения веществ в систему.

Такие методы крайне важны и для надежного функционирования систем, рассчитанных на длительные сроки автономного существования.

Выполненные исследования экспериментально подтверждают осуществимость системы жизнеобеспечения с низшими и высшими растениями. Такая система обладает полной совместимостью всех звеньев по газу и совместимостью человека с хлореллой и пшеницей по водобмену.

Проведенные исследования позволяют наметить основные пути дальнейшего развития подобных систем и прогнозировать возможность устойчивого существования на значительно большие сроки.