

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ  
**Ю.Е. СИНЯК**



## АКТОВАЯ РЕЧЬ

### **СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБИТАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ** (Прошлое, настоящее и будущее)

Москва  
Октябрь 2008

#### **Содержание**

Введение	3
1. Системы жизнеобеспечения в герметичных кабинах стратостатов, ракет и первых искусственных спутников Земли	5
2. Системы жизнеобеспечения биологических спутников Земли типа "Бийон" и "Фотон"	6
3. Системы жизнеобеспечения на основе запасов для экипажей космических кораблей типа "Восток", "Восход", "Союз", "Меркурий", "Джемини", "Аполлон", "Шаттл", орбитальной станции "Скайлэб"	8
3.1. Системы жизнеобеспечения космических кораблей типа "Восток", "Восход", "Союз"	8
3.2. Системы жизнеобеспечения космических кораблей "Меркурий", "Джемини", "Аполлон", "Шаттл", орбитальной станции "Скайлэб"	9
4. Регенерационные системы жизнеобеспечения на основе физико-химических процессов для экипажей орбитальных космических станций "Салют", "Мир", "МКС"	10
5. Замкнутые экологические, биолого-технические системы жизнеобеспечения	20
Заключение	24
Литература	28

*Представим себе стеклянный...или...стальной шар.... Поместите туда немного почвы, растений, кислорода, углекислого газа, азота, влаги - и все условия существования животных будут соблюдены... Пищеварительные, дыхательные и прочие выделения ...не теряются, а сполна перерабатываются при участии солнечного*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Система жизнеобеспечения (СЖО) экипажа космического летательного аппарата является одним из важнейших условий успешного выполнения любой программы пилотируемой космонавтики. Большое значение системам жизнеобеспечения придавали К.Э. Циолковский, Ф.А. Цандер, С.П. Королев, Н.М. Сисакян [1-5] и многие другие основоположники космических исследований.

В соответствии с ГОСТ 28040-89 [6] "Система жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате" - СЖО космонавта - это "Совокупность функционально взаимосвязанных средств и мероприятий, предназначенных для создания в обитаемом отсеке пилотируемого космического аппарата условий, обеспечивающих поддержание энергомассообмена организма космонавта с окружающей средой на уровне, необходимом для сохранения его здоровья и работоспособности". В состав СЖО космонавта входят следующие системы:

- СОГС - система обеспечения газового состава,
- СВО - система водообеспечения,
- ССГО - система санитарно-гигиенического обеспечения,
- СОП - система обеспечения питанием,
- СОТР - система обеспечения теплового режима.

Помимо термина "СЖО космонавта" в ГОСТ 28040-89 дается понятие "КСОЖ космонавта" - "Комплекс систем обеспечения жизнедеятельности космонавта в пилотируемом космическом аппарате".

В состав КСОЖ космонавта (помимо "СЖО космонавта") входят следующие системы:

- СЗК - система защиты космонавта (средства защиты космонавта от перегрузок, динамической неустойчивости, ионизирующих излучений),
- СОД - система обеспечения деятельности космонавта (средства обеспечения условий труда, средства организации деятельности, средства поддержания космонавта в работоспособном состоянии),
- СМО - система медицинского обеспечения космонавта (средства медицинского контроля состояния космонавта, средства оперативного медицинского контроля состояния космонавта, средства периодических углубленных медицинских обследований, средства медицинской профилактики заболеваний космонавта, средства специфической и неспецифической медицинской профилактики заболеваний космонавта, средства оказания медицинской помощи космонавту, средства консервативной терапии, средства неотложной и специализированной медицинской помощи,

Система аварийного обеспечения жизнедеятельности космонавта (индивидуальные средства защиты космонавта, носимый аварийный запас космонавта, средства наддува при разгерметизации обитаемого отсека),

СОЖ ВКД - система обеспечения жизнедеятельности космонавта при внекорабельной деятельности.

Системы жизнеобеспечения (СЖО) обитаемых космических объектов (космических кораблей, орбитальных станций, Лунных, Марсианских баз и поселений) предназначены для решения следующих задач [7]:

- обеспечение экипажа кислородом,
- удаление диоксида углерода,
- удаление вредных микропримесей,
- поддержание физических и химических характеристик атмосферы (оптимальной температуры, состава, давления, влажности, аэроионного состава, скорости вентиляции газовой среды, оптимальных уровней электростатических и электромагнитных полей),
- снабжение экипажа необходимым количеством питьевой воды и воды для санитарно-гигиенических и бытовых нужд,
- снабжение экипажа необходимым количеством пищи заданного состава и калорийности, витаминами и минеральными солями,
- обеспечение санитарно - гигиенических процедур и бытовых нужд экипажа,
- обеспечение микробиологической безопасности,

- обеспечение стабилизации (обеззараживания), хранения (консервации) и / или трансформации физиологических и бытовых отходов,
- обеспечение радиационной безопасности,
- обеспечение оперативного анализа, оперативного контроля и управления качеством среды обитания, а также штатного протекания технологических процессов в различных звеньях системы.

От надежной работы космических систем жизнеобеспечения зависит выполнение программ полетов и безопасность экипажей космических кораблей, орбитальных комплексов, инопланетных баз и поселений. Мы должны помнить, что неэффективность системы жизнеобеспечения на втором искусственном спутнике Земли явилась причиной гибели собаки Лайка, когда температура в кабине поднялась до 41°C и выше.

Облик СЖО зависит от длительности полета, энерговооруженности космического обитаемого объекта, от условий и места функционирования (на борту орбитальной космической станции, в составе пилотируемого межпланетного корабля или на поверхности планеты), от возможности использования местных ресурсов.

Выбор принципиальной схемы СЖО основывается на следующих критериях и требованиях:

1. Требованиях обеспечения безопасности и надежности функционирования с учетом специфики экспедиции;
2. Требованиях, предъявляемых сценарием полета и проектным обликом корабля;
3. Требованиях минимальных масс, габаритов и энергопотребления СЖО;
4. Требованиях, обусловленных современными представлениями о понятии "обитаемости" пилотируемого космического аппарата.

Системы жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате могут быть созданы либо на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, либо на основе процессов регенерации и возврата, обеспечивающих круговорот веществ, либо на сочетании этих систем с преобладанием той или иной в зависимости от длительности экспедиции и энерговооруженности космического объекта.

Система жизнеобеспечения, основанная на запасах расходуемых веществ, наилучшим образом отвечает критерию 1 - обеспечению безопасности космического полета с учетом специфики экспедиции, а также частично критерию 3 в части требований минимального энергопотребления СЖО.

## **1. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В ГЕРМЕТИЧНЫХ КАБИНАХ СТРАТОСТАТОВ, РАКЕТ И ПЕРВЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ**

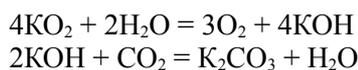
Первому полету человека в космическом корабле предшествовали запуски стратостатов, ракет и искусственных спутников Земли, в которых имелись системы жизнеобеспечения для людей и животных (большой частью для собак).

В стратостатах "СССР-1" (1933 г.) и "Осоавиахим-1" (1934 г.) системы жизнеобеспечения включали запасы криогенного и газообразного кислорода; последний находился в баллонах под давлением 150 атм. Диоксид углерода удалялся с помощью ХПИ - химического поглотителя известкового [8,9] в соответствии с реакцией:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{CO}_3) + \text{H}_2\text{O}$

В состав ХПИ входит 95 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 5 % асбеста.

В ракетах, с помощью которых производилось зондирование ближнего космоса, находилась герметичная кабина с животными, имеющая в своем составе три баллона для смеси воздуха и кислорода. Диоксид углерода, выделяемый животными, удалялся с помощью ХПИ [10].

На борту первых искусственных спутников Земли в состав систем жизнеобеспечения для собак входили некоторые элементы будущих СЖО для космонавтов [11]: устройство для приема пищи, ассенизационное устройство; очистка атмосферы и обеспечение кислородом осуществлялось с помощью надперекисных соединений, которые при поглощении диоксида углерода и паров воды выделяли кислород в соответствии с реакциями:





Большой вклад в медико-техническое обоснование разработок первых систем жизнеобеспечения для животных в полетах ракет и первых искусственных спутников Земли внесли: О.Г. Газенко, А.М. Генин, В.И. Яздовский, А.Д. Серяпин, А.С. Ушаков, С.В. Чижов и мн. др.

## **2. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ТИПА "БИОН" И "ФОТОН" [11]**

Биологические спутники Земли - автоматические космические аппараты "БИОН" и "ФОТОН" предназначены для исследований влияния факторов космического полета (невесомость, радиация и др.) на организм животных. При этом создаются экстремальные условия полета, при которых эксперименты с участием человека исключены. Следует отметить, что Россия - единственная страна в мире, имеющая автоматические космические аппараты для исследований на биологических объектах. Другие страны вынуждены посылать животных в Космос на наших аппаратах.

В разные годы научными руководителями программы "БИОН" были О.Г. Газенко и Е.А. Ильин. В настоящее время научным руководителем программы "БИОН" является О.И. Орлов, заместителями — Е.А. Ильин и Е.Н. Ярманова.

Биологический спутник "БИОН" снабжен системами водообеспечения и кормления животных, системой термовлагорегулирования, системой "день-ночь", системой обеспечения газового состава и др.

Система обеспечения газового состава автоматических космических аппаратов "БИОН" и "ФОТОН" предназначена для обеспечения животных кислородом, удаления диоксида углерода и газообразных микропримесей в спускаемом аппарате. Система состоит из:

- патронов с кислородосодержащим веществом и поглотителем вредных микропримесей;
- патрона с поглотителем диоксида углерода и вредных микропримесей;
- электровентиляторов;
- датчиков для индикации работоспособности вентиляторов и герметичности газовых трактов;
- газоанализатора;
- блока управления и контроля.

Система обеспечивает комфортные условия в газовой среде спускаемого аппарата (замкнутый герметичный объем, содержащий 4,0-4,5 м<sup>3</sup> воздуха). Система представляет собой три регенеративных патрона и поглотительный патрон с электровентилятором на каждый патрон, обеспечивающих регенерацию воздуха по диоксиду углерода, кислороду, оксиду углерода и вредным примесям. Включение и выключение микрокомпрессоров позволяет обеспечить заданный состав атмосферы объекта.

Система работает следующим образом. Воздух объекта вентилятором прокачивается через регенеративный патрон, где очищается от диоксида углерода и вредных примесей и обогащается кислородом.

Избыток диоксида углерода убирается путем периодического включения поглотительного патрона. Поглотительный патрон также обеспечивает очистку от вредных примесей. Система работает с блоком управления и контроля и газоанализатором по кислороду и диоксиду углерода. При падении парциального давления кислорода до 20,0 кПа включается первый регенеративный патрон.

Если парциальное давление кислорода больше или равно 20,8 кПа, регенеративный патрон отключается и включается вновь при парциальном давлении кислорода 20,5 кПа. Включение второго и последующих патронов происходит при парциальном давлении кислорода 20,0 кПа (при условии падения концентрации), причем ранее включенные патроны продолжают работать.

Поглотительный патрон включается периодически при парциальном давлении диоксида углерода 1,0 кПа, выключается при парциальном давлении диоксида углерода 0,8 кПа, вне зависимости от работы регенеративного патрона.

Большой вклад в создание систем жизнеобеспечения биологических спутников внес В.К.Голов.

## **3. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЗАПАСОВ ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ**

## **КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ ТИПА "ВОСТОК", "ВОСХОД", "СОЮЗ", "МЕРКУРИЙ", "ДЖЕМИНИ", "АПОЛЛОН", "ШАТТЛ", ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ "СКАЙЛЭБ" [12 -22]**

Системы жизнеобеспечения советских космических кораблей типа "Восток", "Восход", "Союз", а также американских "Меркурий", "Джемини", "Аполлон" и транспортного корабля многоразового использования "Шаттл" были основаны полностью на запасах расходуемых материалов: кислорода, воды, пищи, средств удаления  $\text{CO}_2$  и вредных микропримесей.

### **3.1. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ ТИПА "ВОСТОК", "ВОСХОД", "СОЮЗ" [12 -16]**

В состав СЖО на борту кораблей "Восток" и "Восход" для удаления диоксида углерода и очистки атмосферы входило устройство с использованием надперекиси калия и активированных углей. В корабле "Союз" для этих целей дополнительно применялся гидроксид лития. Обеспечение кислородом основано на использовании надперекиси калия и запасов кислорода и воздуха в баллонах под высоким давлением. Состав атмосферы (смесь азота и кислорода) в этих условиях контролировался с помощью газоанализатора на кислород и диоксид углерода. Вода находилась в емкостях, изготовленных из двухслойной полиэтиленовой пленки внутри металлического кожуха. Качество запасов питьевой воды, консервированной препаратом серебра "Кумазин", в условиях полетов не определялось. Начиная с полетов кораблей "Союз", начали использовать систему запасов воды "Колос" и консервант - растворы электролизного серебра; при этом концентрации серебра в питьевой воде составляли 0,1 ? 0,2 мг/л. Для удаления продуктов жизнедеятельности космонавтов использовался моче - калоприемник, позволяющий выполнять естественные надобности не снимая скафандр. Система регулирования температуры и влажности основана на использовании жидкостно-воздушного конденсирующего теплообменника. В качестве хладагента применялся водный раствор этиленгликоля. Температура поддерживалась автоматически изменением скорости прохождения воздуха через теплообменник. Влажность регулировалась температурой хладагента, а также обезвоженным силикагелем и активированным углем, импрегнированным хлоридом лития.

### **3.2. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ "МЕРКУРИЙ", "ДЖЕМИНИ", "АПОЛЛОН", "ШАТТЛ", ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ "СКАЙЛЭБ" [17-22]**

Системы жизнеобеспечения на американских космических кораблях "Меркурий", "Джемини", "Аполлон" и "Шаттл" отличались от СЖО на советских космических летательных аппаратах. Так, диоксид углерода удалялся с помощью гидроксида лития. Атмосфера в отличие от советских космических летательных аппаратов состояла из чистого кислорода под давлением, равным 246 мм. рт. ст. В состав СЖО кораблей "Джемини", "Аполлон" и "Шаттл" входили электрохимические генераторы тока - топливные элементы, в которых из криогенного кислорода и криогенного водорода синтезировалась питьевая вода, как побочный продукт при выработки электроэнергии для системы энергопитания. Обеззараживание и консервация воды осуществлялись методом хлорирования, в СЖО кораблей "Аполлон" - гипохлоритом натрия и йодом с концентрацией 10 мг/л. Поскольку вода, выходящая из электрохимических генераторов тока-топливных элементов, содержала водород как в растворенном состоянии, так и в виде пузырьков был предусмотрено устройство для его удаления. На кораблях "Аполлон 1-11" использовался гидрофобно - гидрофильный газожидкостной разделитель. Начиная с полетов кораблей "Аполлон 12" эксплуатировался серебряно - палладиевый разделитель, представляющий из себя пористую гидрофобную трубку, через которую водород диффундировал из потока воды в вакуум космического пространства.

На борту орбитальной станции "Скайлэб" в отличие от предыдущих космических кораблей США применялась атмосфера, состоящая из 72% кислорода и 28% азота (по объему). Азот и кислород хранились в баллонах высокого давления. Для удаления  $\text{CO}_2$  применялся цеолит-5А, для удаления паров воды - цеолит-3Х. Десорбция  $\text{CO}_2$  происходила в результате вакуумирования за борт; очистка воздуха от микропримесей - с помощью активированных углей и молекулярных сит. Контроль за оксидом углерода и другими вредными микропримесями осуществлялся с помощью системы трубок Дрегера.

Запасы воды (около 3000 кг), консервированной йодом в концентрации 0,5 мг/л, хранились в 10 контейнерах из нержавеющей стали. Проводился бортовой микробиологический контроль за качеством питьевой воды. Для этой цели использовался колориметрический метод определения концентрации йода с помощью полосок с нанесенным на их поверхность крахмалом.

## **4. РЕГЕНЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ "САЛЮТ",**

## "МИР", "МКС"

Несмотря на повышенную безопасность и надежность, незначительные энергетические потребности при функционировании систем жизнеобеспечения на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, последние имеют существенный недостаток: их масса и габариты возрастают прямо пропорционально длительности космической экспедиции и количеству членов экипажей. По достижении определенной продолжительности полета СЖО на основе запасов могут быть препятствием для реализации экспедиции. В табл. 1 приведены массовые характеристики СЖО, основанных на запасах расходуемых веществ применительно к экспедиции длительностью 50, 100 и 500 суток для экипажа, состоящего из 6 человек.

Основываясь на нормах потребления основных компонентов СЖО, полученных в результате многолетней практики длительных орбитальных полетов на станциях типа "САЛЮТ", "МИР" и "МКС" (кислород - 0,96 кг/чел. сут., питьевая вода - 2,5 кг/чел. сут., пища - 1,75 кг/чел. сут. и т.д.), легко подсчитать, что необходимая масса запасов для экипажа, состоящего из 6 - и человек в условиях 500-суточного полета без учета массы тары и систем хранения составило бы величину более 58 тонн (табл. 1). В случае использования систем жизнеобеспечения, основанных на запасах расходных материалов, понадобится создание систем хранения продуктов жизнедеятельности космонавтов: фекалий, мочи, конденсата атмосферной влаги, использованных санитарно-гигиенических и кухонных вод и т.д.

Данные, помещенные в табл.1, свидетельствуют о том, что системы жизнеобеспечения на основе запасов практически исключают реализацию длительных экспедиций. Габаритно-массовые ограничения могут быть преодолены за счет применения регенерационных систем жизнеобеспечения.

Созданию штатных космических регенерационных систем жизнеобеспечения предшествовали обширные исследования медико-биологических и технологических основ их разработок с последующей санитарно-гигиенической и токсикологической оценкой экспериментальных систем.

Таблица 1

Масса компонентов СЖО (кислород, вода и пища) для марсианских экспедиций - 6 членов экипажа, длительность экспедиций - 50, 100 и 500 суток (без учета массы тары, упаковки, средств хранения)

№ п/п	Наименование компонентов СЖО	Масса на 1 чел/сут, кг	Масса на 6 чел 1 сут,кг	Масса на 6 чел. 50 сут, кг	Масса на 6 чел. 100 сут, кг	Масса на 6 чел. 500 сут, кг
1.	Кислород	0,96	5,76	288,0	576,0	2 880,0
2.	Вода:	16,9	101,4	5 070,0	10 140,0	50 700,0
	- питьевая	2,5	15,0	750,0	1 500,0	7 500,0
	- душ, умывание	4,5	27,0	1 350,0	2 700,0	13 500,0
	- на стирку белья	7,0	42,0	2 100,0	4 200,0	21 000,0
	- техническая (на смыв АСУ)	0,6	3,6	180,0	360,0	1 800,0
	- для витаминной оранжереи	0,3	1,8	90,0	180,0	900,0
	- для мытья посуды	2,0	12,0	600,0	1 200,0	6 000,0
3.	Пища	1,75	10,50	525,0	1 050,0	5 250,0
	Итого:	19,51	117,66	5 883,0	11 766,0	58 830,0

Например, для регенерационных систем водообеспечения был разработан ряд физико-химических методов и технологий, таких, как метод лиофилизации, метод низкотемпературного испарения и вакуумной дистилляции, окислительно-каталитический метод, методы фотохимического и радиационного окисления, мембранные методы (ультрафильтрации, мембранного испарения и обратного осмоса), электрохимические методы (метод анодного окисления и электродиализ), газогидратный метод [16]. Некоторые из вышеперечисленных методов легли в основу создания экспериментальных систем регенерации воды из влагосодержащих продуктов жизнедеятельности человека и биолого-технических систем.

Созданные экспериментальные системы удаления диоксида углерода, генерирования кислорода, регенерации воды из мочи, из конденсата атмосферной влаги, блок удаления вредных микропримесей проходили

всестороннюю оценку в длительных наземных медико-технических экспериментах с участием испытателей.

В 1967-1968 годах в Институте медико-биологических проблем МЗ был проведен уникальный годовой медико-технический эксперимент с участием трех испытателей: Г.А. Мановцева, А.Н. Божко и Б.Н. Улыбышева. В гермокамерном эксперименте, длившемся 365 суток, проходила медико-биологическая и техническая оценка нового комплекса регенерационных систем жизнеобеспечения [23]. В состав СЖО наземного лабораторного комплекса входили:

- система удаления диоксида углерода,
- система очистки атмосферы от вредных микропримесей,
- система генерирования кислорода,
- система регенерации воды из влагосодержащих продуктов жизнедеятельности испытателей,
- санитарно-гигиеническое оборудование,
- оранжерея,
- система контрольно-измерительной аппаратуры.

Диоксид углерода удалялся с помощью регенерируемых синтетических цеолитов. Процесс регенерации цеолитов осуществлялся термо-вакуумным способом.

Для очистки атмосферы от вредных микропримесей использовались процессы каталитического окисления.

Кислород получался в системе, основанной на электролизном разложении воды с использованием щелочного электролита.

Система регенерации воды из влагосодержащих продуктов жизнедеятельности испытателей включала регенерацию воды из их мочи, из конденсата атмосферной влаги, из использованных санитарно-гигиенических и бытовых вод. Вода из мочи и бытовых вод регенерировалась с помощью окислительно-каталитического метода [24]; из конденсата атмосферной влаги - с помощью окислительно-сорбционного метода; из использованных санитарно-гигиенических вод - методом коагуляции с последующей фильтрацией и сорбционной доочисткой [16].

В годовом медико-техническом эксперименте по существу впервые в мире был реализован полный круговорот воды.

В состав санитарно-гигиенического оборудования входило умывальное устройство и душ.

Экспериментальные регенерационные системы жизнеобеспечения на основе физико-химических процессов, испытанные в годовом медико-техническом эксперименте, явились прототипом штатных СЖО для экипажей орбитальных станций "Салют", "МИР" и "МКС".

Впервые в мировой практике пилотируемых полётов на космической станции "Салют-4" функционировала регенерационная система "СРВ-К" - система получения питьевой воды из конденсата атмосферной влаги. Экипаж в составе А.А. Губарева и Г.М. Гречко использовал воду, регенерированную в системе "СРВ-К", для питья и приготовления пищи и напитков. Система работала в течение всего пилотируемого полёта станции. Аналогичные системы типа "СРВ-К" работали на станциях "Салют-6", "Салют-7", "МИР".

Эффективность использования регенерационных систем подтверждена опытом многолетней эксплуатации например орбитальной станции "МИР" [24-27], на борту которого успешно функционировали такие подсистемы СЖО, как:

- "СРВ-К" - система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги,
- "СРВ-У" - система регенерации воды из мочи (урины),
- "СПК-У" - система приема и консервации мочи (урины),
- "Электрон" - система генерирования кислорода на основе процесса электролиза воды,
- "Воздух" - система удаления диоксида углерода,
- "БМП" - блок удаления вредных микропримесей и др.

Аналогичные регенерационные системы (за исключением "СРВ-У") успешно функционируют в настоящее

время на борту Международной космической станции (МКС) [28]. Эти системы могут быть положены в основу проектирования и создания СЖО для экипажей в длительных космических экспедициях.

Достоинством этих систем является реализация возможности снижения стартовой массы по сравнению с системой жизнеобеспечения, основанной на запасах.

В табл. 1 и 2 (как пример) показаны массо-энергетические характеристики систем водообеспечения для экипажа марсианского космического корабля, построенных на физико-химических процессах регенерации воды, аналогичных системам, функционировавшим на ОК "МИР".

Масса регенерационных систем водообеспечения составит величину 2, 4 тонны, в то время как масса системы водообеспечения, основанная на запасах воды, была бы равна более 50 тонн.

Об эффективности регенерационных систем жизнеобеспечения свидетельствуют следующие цифры: на борту орбитальной станции "МИР" было получено около 14000 л. питьевой воды, регенерированной системой "СРВ-К", 6000 л. воды, регенерированной из мочи с помощью системы "СРВ-У", 4650 л. кислорода, полученного в системе "Электрон" в результате электролиза воды, регенерированной из мочи в системе "СРВ-У". На 31.03.2008 г. в результате функционирования системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги "СРВК-2М" на борту "МКС" было получено 10000 л питьевой воды.

Таблица 2

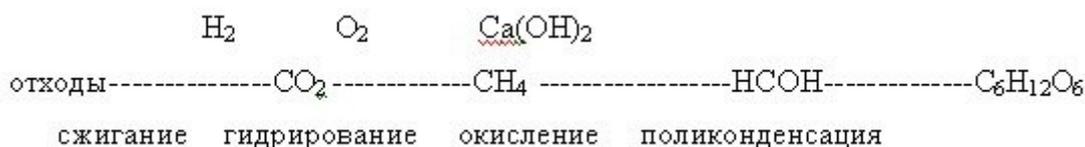
Массо-энергетические характеристики систем водообеспечения марсианского космического корабля, построенных на системах регенерации воды, аналогичных ОК "МИР"

№ п/п	Характеристики систем	"СРВ-К"	"СРВ-У" с "СПК-У"	"СРВ-Г"
1.	Установленная масса, кг	97,3	245,5	312,5
2.	Масса сменного оборудования, кг	528,4	509,2	727,6
3.	Стартовая масса системы, кг	625,7	754,7	1040,1
4.	Среднесуточная потребляемая мощность, Вт	40	340	100

Для доставки 30000 литров воды на борт орбитальной станции "МИР" и "МКС" потребовалось бы организовать дополнительно 12 запусков транспортного корабля "Прогресс", величина полезной нагрузки которого составляет 2,5 тонны. Если принять во внимание тот факт, что "Прогрессы" оборудованы баками для питьевой воды типа "Родник" емкостью 420 л., то количество дополнительных запусков транспортного корабля "Прогресс" должно было бы увеличиться в несколько раз.

К сожалению полного круговорота веществ на орбитальных станциях не достигнуто - пока с помощью физико-химических методов не удастся осуществить синтез белков, жиров, углеводов и других биологически активных веществ. Поэтому диоксид углерода, водород, влагосодержащие и плотные отходы жизнедеятельности космонавтов удаляются в вакуум космического пространства.

Справедливости ради следует отметить, что известны попытки получить синтетические углеводы из продуктов жизнедеятельности космонавтов для условий космических экспедиций по схеме:



В соответствии с вышеприведенной схемой продукты жизнедеятельности сжигаются с образованием диоксида углерода, из которого в результате гидрирования образуется метан (реакция Сабатье). Метан может быть трансформирован в формальдегид, из которого в результате реакции поликонденсации (реакция Бултера) образуются углеводы-моносахариды.

Однако полученные углеводы-моносахариды представляли собой смесь рацематов - тетроз, пентоз, гексоз, гептоз, не обладающих оптической активностью.

В целом современные регенерационные системы жизнеобеспечения орбитальных станций, основанные на физико-химических процессах, обеспечивают нормальные условия пребывания космонавтов и выполнение программ полетов продолжительностью до года (пример - рекордный по длительности 348-суточный полет космонавта В.В. Полякова).

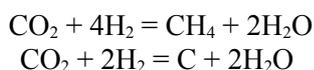
Результаты работ регенерационных систем жизнеобеспечения экипажей космических летательных аппаратов отражены во многих публикациях: докладах, статьях, монографиях [24-34].

Системы жизнеобеспечения для экипажей обитаемых космических объектов в условиях освоения дальнего космоса будут отличаться от СЖО орбитальных околоземных объектов. Основные отличия заключаются в отсутствии возможности возобновления расходуемых материалов, узлов, агрегатов, в повышенной радиационной обстановке, требующей проведения поиска новых эффективных методов и средств радиационной защиты, в наличии геомагнитных условий окружающей среды, в возможности использования местных планетных ресурсов. Д

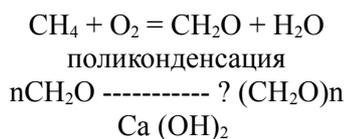
Для инопланетных баз и станций кардинальным решением было бы создание замкнутой экологической, биолого-технической СЖО на основе полного круговорота веществ. Однако в настоящее время для инопланетных космических кораблей энергетические и массогабаритные ограничения не позволяют создавать подобные системы. В этих случаях основные функции СЖО будут поддерживаться физико-химическими системами с возрастающей ролью биологических систем по мере увеличения энерговооруженности космических летательных аппаратов и продолжительности полетов.

Современные системы жизнеобеспечения после их модернизации могут быть положены в основу создания СЖО, необходимых для освоения дальнего космоса.

Большое внимание необходимо уделить созданию систем, обеспечивающих наиболее полный круговорот веществ. С этой целью необходимо использовать процесс гидрирования диоксида углерода по реакции Сабатье или Боша-Будуара, которые позволяют реализовать круговорот по кислороду и воде:



В случае экзобиологического запрета выброса  $\text{CH}_4$  в вакуум космического пространства метан может быть трансформирован в формальдегид и нелетучие углеводы-моносахариды. по реакциям:



В системе регенерации воды из мочи следует использовать паро-компрессионный метод с тепловым насосом, что даст возможность снизить энергопотребление и увеличить производительность регенерационной системы.

В систему регенерации санитарно-гигиенических вод необходимо ввести мембранные модули, использующие мембранные процессы: ультрафильтрацию и обратный осмос.

Вместе с тем имеется ряд нерешенных медико-технологических проблем, которые могут затруднить реализацию длительных космических миссий.

Так, например большие коррективы в создание СЖО в длительных экспедициях могут быть внесены экзобиологическими запретами на удаление продуктов жизнедеятельности космонавтов в вакуум космического пространства. Опасность загрязнения поверхностей планет (например, Марса) могут представлять не только влажосодержащие продукты жизнедеятельности, содержащие микрофлору, но также наличие органических соединений, например  $\text{CH}_4$ , синтезированного по реакции Сабатье. В этом случае результаты поиска низкоорганизованных форм жизни (одной из целей Марсианской экспедиции) могут быть ошибочными. Во время полетов орбитальных космических станций типа "Салют", орбитального комплекса "МИР" и в настоящее время на Международной космической станции (МКС) все влажосодержащие и плотные продукты жизнедеятельности космонавтов (фекалии, моча, концентрат мочи), упаковочные материалы, использованные средства после принятия санитарно-гигиенических процедур и некоторые другие отходы складываются, затем переносятся с борта МКС в грузовой корабль "Прогресс" для последующего сжигания во время

спуска в плотных слоях земной атмосферы.

Для СЖО в условиях длительных межпланетных полетов исследован широкий спектр физико-химических и биологических методов трансформации отходов жизнедеятельности экипажей: сушка (дегидратация), термическое - высокотемпературное сжигание, окислительно-каталитический метод минерализации, мокрое сжигание при использовании высоких температур и давлений окислителя (воздуха или кислорода), мокрое сжигание при использовании пероксида водорода, трансформация отходов с помощью аэробных микроорганизмов (биофильтры, аэротенки), минерализация отходов при использовании анаэробных микроорганизмов (метантенки).

В случае запрета загрязнения дальнего космоса продуктами жизнедеятельности человека наиболее вероятными технологиями их длительного хранения могут быть сушка (дегидратация) с последующим каталитическим окислением всех выделяющихся при этом вредных летучих органических соединений.

При снятии экзобиологических ограничений перспективна технология минерализации отходов при использовании анаэробных микроорганизмов. Образующиеся газообразные продукты могут быть использованы в двигателях малой тяги для стабилизации и ориентации летательного аппарата. В будущих замкнутых биолого-физико-химических СЖО должна использоваться трансформация отходов с помощью аэробных микроорганизмов (биофильтров, аэротенков) с целью получения питательных растворов для фотореакторов с водорослями и высших растений в оранжереях.

Большое внимание следует уделить работам в области создания автоматической системы оперативного контроля и управления качеством среды обитания. На борту будущих обитаемых объектов необходимо создать систему анализа по физико-химическим и микробиологическим показателям атмосферы, воды, пищи, интерьера, а также отдельных технологических узлов, агрегатов, звеньев, составляющих общую систему жизнеобеспечения.

Источниками загрязнения среды обитания являются:

- конструкционные материалы интерьера (полимерные синтетические материалы, лаки, краски),
- человек (при перспирации, транспирации, с кишечными газами, при санитарно-гигиенических мероприятиях, медицинских обследованиях и др.)
- работающая электронная аппаратура,
- звенья систем жизнеобеспечения (ассенизационное устройство - АСУ, кухня, сауна, душ).

Во время гермокамерных наземных испытаний в атмосфере обитаемых отсеков обнаруживалось свыше 200 летучих вредных микропримесей. В настоящее время в атмосфере "МКС" контролируется лишь часть органических соединений, таких как оксид углерода CO, цианид водорода (синильная кислота), фтороводород (фтористый водород), хлороводород (хлористый водород), аммиак, формальдегид, оксиды азота, диоксид углерода, кислород, водород, а также величина общего давления.

Оперативного автоматического контроля качества воды по физико-химическим и микробиологическим показателям в системе запасов "Родник" и питьевой воды, регенерированной из конденсата атмосферной влаги (а на станции "МИР" и из мочи) на борту "МКС" нет.

Во многом санитарно-гигиенический контроль среды обитания на "МКС" проводится в земных лабораториях, на основе результатов физико-химических и бактериологических анализов образцов воздуха и воды, доставляемых на Землю космическими кораблями "Союз" или "Шаттл".

Одной из нерешенных задач пилотируемой космонавтики является борьба с повышенным шумовым фоном. Предельно допустимые уровни шума в соответствии с нормами MORD составляют величины 60 дБ на рабочем месте космонавта и 50 дБ в каюте. Многочисленные вентиляторы, насосы и компрессоры, работа гидроскопических приборов и другой аппаратуры создают шумовой фон на борту МКС, превышающий эти нормативы.

Разработка медико-биологических и инженерно-конструкторских методов снижения шумового фона в длительных полетах при освоении дальнего космоса является одной из приоритетных задач.

Санитарно-гигиеническое обеспечение экипажей является одним из факторов, повышающих комфортность пребывания космонавтов в длительных миссиях и следовательно способствующих поддержанию высокой

работоспособности экипажей. Однако на борту "МКС" нет душевого устройства, умывальника, тепловой камеры-сауны, устройства для стирки и сушки белья.

Разработка вышеперечисленных средств санитарно-гигиенического обеспечения будет способствовать успешному выполнению программ освоения дальнего космоса.

В области радиационной безопасности разработаны нормативы доз облучения космонавтов, создана система радиационной защиты их для условий орбитальных полетов. Однако для условий длительных экспедиций необходимо разработать:

- методы прогнозирования степени радиационной опасности от галактических космических излучений и солнечных вспышек,
- новые подходы к снижению последствий радиационного воздействия ионизирующей радиации не только при использовании пассивных физических, активных физических, фармакохимических (адаптогены, радиопротекторы), но и иных методов и средств (например, постоянного употребления воды со сниженными концентрациями тяжелых стабильных изотопов водорода и кислорода),
- необходима токсикологическая оценка в экспериментах с участием животных последствий радиационного воздействия на космонавтов доз и видов радиации, присущих дальнему космосу.

Остается малоизученной проблема, связанная с влиянием гипомагнитных условий на организм человека. Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что пониженные величины магнитного поля отрицательно действуют на организм высших животных. Поэтому необходимо разработать устройства для создания постоянного искусственного магнитного поля по напряженности и индукции, равными земным.

Повышенные величины магнитного поля также не безразличны для человека.

Следует отметить, что официальных нормативов (ГОСТ) для предельно допустимых уровней постоянного магнитного поля, действующего на человека, пока нет.

Не нашли широкого применения результаты проведенных исследований в области оптимального изотопного состава среды обитания космонавта и в частности, в области использования легкоизотопной воды [34-37].

Рядом авторов установлено, что легко-изотопная вода обладает многими положительными медико-биологическими свойствами.

Так, показано, что бездейтериевая вода со сниженными (на 65%) концентрациями дейтерия обладает биологической активностью: отмечено возрастание количества биомассы и семян при культивировании высших растений, отмечено появление антимуутагенных свойств, вода с пониженными концентрациями тяжелых стабильных изотопов водорода (дейтерия) и кислорода ( $^{18}\text{O}_2$ ) оказывает противоопухолевое воздействие на организм животных (мышей). Отмечались радиопротекторные свойства: длительное употребление воды с пониженным содержанием дейтерия и кислорода ( $^{18}\text{O}$ ) приводит к снижению степени тяжести лучевых повреждений, обусловленных действием гамма - лучей в условиях ежедневного воздействия

Для условий лунных и марсианских экспедиций наличие радиопротекторных свойств легко-изотопной воды приобретает особенно большое значение, поскольку радиационная обстановка будет намного сложнее по сравнению с радиационными условиями орбитальных земных полетов. Выбор методов получения легко-изотопной воды в условиях невесомости весьма ограничен. Так, в условиях невесомости практически нереализуем, например, метод ректификации, широко используемый в химической практике для разделения стабильных изотопов.

Наиболее полно требованиям длительных межпланетных экспедиций отвечает метод электролиза воды, включающий стадии разложения воды на кислород и водород с последующей конверсией образующихся газов в воду. При определенных степенях разложения воды на катоде выделяется протий, образующий с выделенным кислородом легко-изотопную воду.

Источниками получения легко-изотопной воды в этих условиях могут служить конденсат атмосферной влаги, конденсат мочи, вода, образующаяся в результате реакции Сабатье ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ ) или Боша - Будуара ( $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}$ ). Одним из вариантов использования легко-изотопной воды могут служить

ее запасы, взятые с Земли. Однако, дейтерий,  $^{17}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$  будут входить в состав метаболической воды, образующейся в результате окисления белков, жиров и углеводов, поступать в мочу, транспирационную, перспирационную влаги и в системы регенерации воды, увеличивая таким образом концентрации тяжелых стабильных изотопов в питьевой воде.

На борту межпланетных обитаемых объектов, на лунных или марсианских станциях легко-изотопная вода может использоваться для культивирования высших растений при производстве витаминной зелени в оранжереях, для выращивания гетеротрофов с целью получения животных белков, для нормализации процессов метаболизма в организме космонавта, а также в виде радиопротекторного вещества с целью снижения риска радиационных воздействий и радиационного катаракто- и канцерогенеза.

Модернизированные и новые физико-химические системы жизнеобеспечения космонавтов, разработанные с учетом медико-биологических и медико-технологических основ их создания и функционирования, должны пройти стадию совместимости и взаимовлияния экипажей и штатных систем жизнеобеспечения в длительных наземных гермокамерных экспериментах с целью изучения закономерностей в системе "человек - машина".

## **5. ЗАМКНУТЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Несмотря на эффективность использования в условиях орбитальных полетов физико-химических систем жизнеобеспечения, последние обладают некоторыми особенностями, снижающими перспективность их использования при освоении дальнего космоса.

Одной из особенностей физико-химических систем жизнеобеспечения является создание искусственной среды обитания, в частности атмосферы, отличающейся от природной, Земной.

Кроме того, с помощью физико-химических систем жизнеобеспечения в настоящее время невозможно создать полный круговорот, поскольку неизвестны пути синтеза пищевых веществ.

Помимо этого, для функционирования физико-химических систем жизнеобеспечения требуется доставка расходных материалов: пищи, выработавших ресурс деталей, узлов и т.д., что будет практически не возможным в условиях длительных космических миссий.

Свободными от недостатков физико-химических СЖО являются замкнутые экологические, биолого-технические системы жизнеобеспечения, основанные на биолого-физико-химическом круговороте веществ, которые автономны и относительно не зависимы от продолжительности космических миссий при освоении дальнего космоса.

Перспективность биологических систем жизнеобеспечения (БСЖО) при освоении космического пространства показана в работах [38-49].

В мировой литературе описаны результаты проведенных наземных и космических обширных исследований в области создания медико - биологических и медико - технологических основ создания замкнутых экологических, биолого-технических СЖО на основе полного круговорота веществ.

Результаты наземных лабораторных исследований, посвященных разработке биологических систем жизнеобеспечения для экипажей космических летательных аппаратов, выявили принципиальную возможность их создания.

В статьях [38, 39] показано, что только биологические системы жизнеобеспечения могут создавать биологически полноценную среду обитания космонавта.

В 1967-1968 гг. в Институте медико-биологических проблем был проведен годовой медико-технический гермо-камерный эксперимент с участием трех испытуемых [23].

В состав систем жизнеобеспечения входила зеленая оранжерея посевной площадью  $7,5 \text{ м}^2$ . В качестве субстрата использовались насыщенные питательными веществами ионообменные смолы. В оранжерее выращивались: капуста хибинская, кресс-салат, огуречная трава, укроп. Оранжерея в режиме зеленого конвейера обеспечивала съем витаминной зелени в количестве 600 г. в сутки.

Один из результатов функционирования оранжереи заключался в возможности нормальной вегетации высших растений в обитаемом замкнутом объеме при многократном использовании конденсата атмосферной влаги оранжереи для полива растений.

В последующие годы в Институте медико-биологических проблем был создан и введен в действие наземный экспериментальный комплекс, в состав которого входила оранжерея с посадочной площадью  $14,7 \text{ м}^2$  и объемом  $69 \text{ м}^3$ . В качестве светильников использовались лампы накаливания с водяным охлаждением или дуговые натриевые лампы. Общая мощность ламп была свыше  $200 \text{ кВт}$ , обеспечивавшие облученность в области ФАР, равную  $210 \text{ Вт/м}^2$ .

В Институте биофизики СО АН СССР был создан экспериментальный комплекс "Биос-3" [44-47], представляющий из себя герметичную камеру с размерами  $14,9 \times 14,9 \times 2,5 \text{ м}$ . Два герметизированных отсека отведены под оранжерею с параметрами: объем около  $79 \text{ м}^3$ , посадочная площадь  $41 \text{ м}^2$ .

В качестве источников света использовались дуговые ксеноновые лампы общей мощностью  $240 \text{ кВт}$ , обеспечивающие облученность в области ФАР, равную  $300 \text{ Вт/м}^2$ .

В экспериментальном комплексе "Биос-3" проведен ряд гермо-камерных экспериментов, таких, как: 45 - и суточный эксперимент с двухзвенной системой "человек-микроводоросли", 5 - месячный эксперимент с двухзвенной системой "человек - высшие растения", эксперимент длительностью 1,5 года с трехзвенной системой "человек - микроводоросли - высшие растения",

В результате проведенных медико-технических экспериментов было показано, что биологическая система жизнеобеспечения на основе одноклеточных водорослей и высших растений полностью обеспечили экипаж кислородом, водой и растительной пищей. Отрицательного воздействия среды обитания на организм испытуемых не обнаружено.

Зарубежными учеными также проведены обширные наземные исследования по обоснованию и созданию биолого-технических систем жизнеобеспечения экипажей космических летательных аппаратов.

В космическом центре им. Дж. Кеннеди (США) был построен биолого-технический комплекс ВРС (Biomass Production Chamber) для культивирования высших растений гидропонными методами. Объем камеры  $113 \text{ м}^3$ , источники света - дуговые натриевые лампы высокого давления общей мощностью свыше  $50 \text{ кВт}$  [48].

В космическом центре им. Л. Джонсона (США) в 1995 г построен стенд с биолого-технической системой жизнеобеспечения. Объем камеры  $27 \text{ м}^3$ , в качестве источников света использовались дуговые натриевые лампы высокого давления общей мощностью  $40 \text{ кВт}$  [49].

В Японии в 1997 г. создана установка для исследований биолого-технических систем жизнеобеспечения, в частности для культивирования высших растений методом гидропонии. Суммарная мощность источников света (дуговые натриевые лампы высокого давления с водяными фильтрами для удаления инфракрасной радиации) составляла  $120 \text{ кВт}$  [50].

В 1991-1993 гг. в США был проведен двухгодичный медико-технический эксперимент с участием 8-испытателей в герметичном комплексе "Биосфера-2" [51, 52]. Общая площадь комплекса составляла  $1,28 \text{ га}$ , объем -  $164 \text{ тыс. м}^3$ . Для культивирования растений использовалась солнечная радиация.

На борту космических летательных аппаратов в условиях невесомости проведены многочисленные исследования отдельных звеньев биолого-технических систем жизнеобеспечения [53-62].

Показано, что невесомость не является препятствием для культивирования высших растений, одноклеточных водорослей и некоторых высших гетеротрофов (птиц) [58, 59, 62]. Из краткого обзора наземных биолого-технических комплексов следует, что солидные габариты (свыше  $100 \text{ м}^3$ ) и энергетические потребности БСЖО (свыше  $100 \text{ кВт}$ ) в настоящее время являются препятствием для широкого их внедрения в пилотируемую космонавтику, если учесть, что суммарное энергопотребление Российского сегмента Международной космической станции составляет  $10,8 \text{ кВт}$ , а общий свободный объем около  $78 \text{ м}^3$ .

Почему несмотря на явные преимущества экологических, биолого-технических замкнутых систем жизнеобеспечения последние не нашли применения в пилотируемой космонавтике до настоящего времени. Основная причина этого кроется в высокой их энергетической потребности, связанной в основном с низкими КПД фотосинтеза.

Рассмотрим пути трансформации световой солнечной энергии в биолого-технических замкнутых системах жизнеобеспечения. Энергообеспечение современных космических орбитальных станций основано на использовании солнечных батарей, в которых происходит превращение световой солнечной энергии в электрическую с КПД, равным 15 % [38]. На следующем этапе электроэнергия в светильниках должна трансформироваться в световую энергию с КПД, меньшим 50%. Суммарный КПД систем освещения на электрических лампах в космических оранжереях не превышает 3% [40].

Оставшееся количество энергии поступает в БСЖО, при этом часть ее тратится на нагрев окружающей атмосферы, субстрата, часть - на нагрев биологического объекта (одноклеточных водорослей или высших растений). Дошедшая до хлорофилла растений энергия усваивается только в определенном участке электромагнитных колебаний - в области ФАР - физиологически активной радиации, занимающий диапазон длин волн 380-710 нм.) [39, 42]. По данным некоторых авторов область ФАР занимает диапазон 400-750 нм [42] или 350-850 нм. [43].

Какую часть поглощенной растениями световой энергии в области ФАР они используют для создания органического вещества показывает КПД фотосинтеза

$$N_{\phi} = \frac{N_{исп}}{N_{погл}},$$

где  $N_{исп}$  - использованная энергия  
 $N_{погл}$  - поглощенная энергия.

Для лучших космических оранжерей КПД фотосинтеза не превосходит значения 0,12 [62]. КПД фотосинтеза для одноклеточных водорослей в экспериментальных установках колеблется в пределах 7-18%, у высших растений он составляет 0,2-1,5% в природных условиях и доходит до 4-14% в экспериментальных установках [39].

Следует отметить, что СЖО в обитаемом космическом летательном аппарате является открытой системой и не только по массе, но и по энергии. Это означает тот факт, что сколько бы веществ ни поступало в организм космонавта, они полностью должны быть выведены из него и сколько бы энергии ни вводили в космический летательный аппарат, она должна быть отведена в вакуум космического пространства. В условиях космического вакуума отвод заведенной энергии - солнечной, от ядерных реакторов и т.д. можно осуществить практически только с помощью радиационного излучения. Ни конвекция, ни кондукция, ни другие механизмы отвода энергии в глубоком вакууме практически не имеют места. При этом следует подчеркнуть, что эффективность отвода тепла излучением в соответствии с законом Стефана-Больцмана прямо пропорциональна температуре нагретого тела в четвертой степени

$$Q = \epsilon \sigma T^4$$

Если принять во внимание, что отвод энергии из гермообъема космического летательного аппарата должен проходить на низком температурном уровне, то площадь и масса радиационных панелей будет достигать значительных величин. Так, для отвода энергии в 10 кВт в настоящее время необходимы радиационные панели площадью около 100 м<sup>2</sup> [31]. Соответственно, для отвода энергии в 100 кВт потребуются радиационные панели площадью 1000 м<sup>2</sup>.

В будущем при наличии достаточного количества энергии на борту летательных аппаратов экологические, биолого-технические системы жизнеобеспечения найдут достойное применение в программах освоения дальнего космоса.

Тем не менее, в настоящее время необходимы поиски оптимальных медико-технологических решений для создания замкнутых экологических, биолого-технических СЖО на основе устойчивого круговорота веществ как для условий невесомости (на борту летательных аппаратов), так и в условиях пониженной гравитации (на поверхности Луны и Марса), при увеличенной продолжительности смены периодов дневного и ночного времени (для условий лунных станций и использовании солнечной энергии), при использовании местных ресурсов, в соответствии с условиями каждой космической миссии по гравитационным, солнечным, атмосферным, радиационным, магнитным, температурным и другим параметрам окружающей среды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные физико-химические системы жизнеобеспечения на основе запасов расходных материалов позволили реализовать программы космических полетов животных на ракетах и первых искусственных спутниках Земли, программы космических полетов человека на кораблях типа "Восток", "Восход", "Союз", "Меркурий", "Джемини", "Аполлон", "Шаттл", орбитальной станции "Скайлэб". Системы жизнеобеспечения на основе физико-химических процессов регенерации позволили реализовать Программы космических полетов экипажей орбитальных космических станций "Салют", "Мир", "МКС". Эти результаты стали возможными благодаря труду широкого спектра специалистов: медиков, химиков-технологов, инженеров-конструкторов, проектантов и широкой кооперации институтов, конструкторских бюро, научно-производственных предприятий, заводов. В СССР, а затем в России эти проблемы решались в Институте авиационной и космической медицины, Институте медико-биологических проблем, РКК "Энергия", "Ниихиммаш", "Гидромаш", "Ниипластмасс", НПП "Звезда", НПП "Наука", Институте "Биотехника", Институте биофизики СО РАН и мн. других предприятий и учреждений.

Создание космических экологических, биолого-технических систем жизнеобеспечения потребует не меньших усилий, как в области фундаментальных академических исследований, так и прикладных инженерно-конструкторских работ.

Системы жизнеобеспечения для обитаемых космических объектов, созданные на основе современных и будущих медико-биологических, технологических и инженерно-конструкторских разработок и независимые от продолжительности межпланетных миссий, создадут комфортные и безопасные условия обитаемости на борту обитаемых космических объектов, которые позволят выполнить Программы освоения дальнего космоса.

Оглядываясь на пройденный мной путь в пилотируемой космонавтике (с июня 1961 года - в институте авиационной и космической медицины ВВС МО; с ноября 1963 года по настоящее время - в ГНЦ РФ-ИМБП РАН), я прихожу к выводу, что судьба подарила мне интересную творческую жизнь, проходившую в интереснейшее время. На память приходят яркие моменты, такие, как:

- при первом моем появлении на территории Института авиационной и космической медицины меня встретило петушиное кукареканье и куриное кудахтанье, доносившиеся с чердачного помещения лабораторного корпуса. Как потом выяснилось, это были кандидаты в экологическую, биолого-техническую систему жизнеобеспечения, участвующие в первых космических экспериментах,
- квартальная премия за участие в подготовке питьевой воды для космонавта 2 - Германа Степановича Титова в 1961 г.,
- дегустация С.П. Королевым и М.В. Келдышем воды, полученной из мочи с помощью разработанной нами системы регенерации в 1962 году (Сергей Павлович, попробовав регенерированную воду, одобрил ее вкусовые качества, Мстислав Всеволодович вежливо, по аристократически от дегустации отказался),
- новогоднее опечатывание и сдача лабораторий дежурному офицеру (в тот вечер полковнику Шепелеву Евгению Яковлевичу), который попросил меня открыть запечатанную мной лабораторию и войдя, увидел под столом раскаленную до бела электроплитку и поднимающиеся вверх облачка дыма; он просто, спокойно сказал: "Убери ты ее, голубушку" и до последних своих дней ни разу не вспомнил об этом инциденте, инциденте с непредсказуемыми последствиями,
- годовой наземный медико-технический эксперимент, когда впервые в мире был реализован круговорот воды в ограниченном замкнутом пространстве: экипаж в составе Г.А. Мановцев, А.Н. Божко и Б.Н. Улыбышев употребляли воду, регенерированную из мочи, конденсата атмосферной влаги и санитарно-гигиенических вод в течение года; можно было с полным правом это событие занести в книгу рекордов Гиннеса. Технологии всех систем регенерации воды были разработаны в нашем институте совместно с НИИхиммашем.
- спокойный голос космонавта Г.М. Гречко с борта орбитальной станции "Салют - 4" в 1975 году, поведавший о том, что впервые в мировой космической практике была включена и стала функционировать система регенерации питьевой воды "СРВ-К" из конденсата атмосферной влаги, технология которой была разработана в нашем институте совместно с НИИхиммашем и РКК "Энергия" (а ведь подобная система NASA будет функционировать только в конце 2008 года).
- вспоминается время, когда в нашем отделе делал кандидатскую диссертацию будущий вице-президент Российской академии наук А.И. Григорьев.

И еще немало интересных и незабываемых научно-космических событий...

Вспоминаются времена, когда коллектив сотрудников работал вдохновенно, не взирая на время и усталость. А вся атмосфера, созданная заведующим отделом полковником медицинской службы, хирургом, доктором медицинских наук, профессором, Лауреатом Государственной Премии Чижевским Сергеем Владимировичем, прошедшим всю Отечественную войну на передовых позициях, располагала не только к работе, но и активному отдыху (знаменитые дни здоровья) и поэтическому творчеству. В 13-м отделе хорошие стихи писали многие сотрудники: В.Ф. Варламов, Е.Ю. Малых (Шалапина), Г.В. Канатова., С.И. Цитович., О.И. Сирицын и др. В 1962 году Варламовым Валентином Филипповичем, поэтом, микробиологом, специалистом в области микробиологической минерализации продуктов жизнедеятельности человека был написан гимн 13-го отдела, который мы регулярно исполняем в дни торжеств:

### **Гимн 13 отдела.**

*(Автор - Варламов Валентин Филиппович - псевдоним В. Вологдин)*

*Не космонавты мы, не летчики,*

*Не инженеры, не врачи.*

*А мы водо-водопроводчики:*

*Мы гоним воду из мочи!*

*И не факиры, братцы, вроде мы,*

*Но, не бахвалясь, говорим:*

*Круговорот воды в природе мы*

*В системе нашей повторим!*

*Наука наша очень точная.*

*Вы только дайте мысли ход.*

*Мы перегоним воды сточные*

*На запеканки и компот!*

*Проехав все дороги Млечные,*

*Не похудеешь вместе с тем*

*При полном самообеспеченьи*

*Наших космических систем.*

*Ведь даже торты превосходные,*

*Люля кебаб и калачи*

*В конечном счете - из исходного*

*Материала и мочи!*

*Не откажите ж, по возможности,*

*Когда мы просим по утрам*

*Наполнить колбу в общей сложности*

*Хотя бы каждый по сто грамм!*

*Должны по-дружески признаться мы,*

*Что с нами выгодно дружить:*

*Ведь без утили-тилизации*

*На белом свете не прожить!!!*

Уверен, что наша смена - молодые ученые с не меньшим интересом продолжат исследования ветеранов и достигнут не только орбитальных Земных, но Марсианских вершин.

Поскольку Ученый Совет проходит во время 45-й годовщины образования Государственного научного центра Российской Федерации - Института медико-биологических проблем РАН уместно вспомнить с благодарностью сотрудников ИМБП, многие годы своей жизни отдавшие или отдающие проблеме создания систем жизнеобеспечения для экипажей космических кораблей и орбитальных станций:

О.Г. Газенко, А.М. Генин, В.И. Яздовский, Ю.Г. Нефедов, А.И. Григорьев, Е.Я. Шепелев, С.В. Чижев, В.М. Баранов, Г.И. Козыревская, В.П. Савина, Л.Н. Мухамедиева., Б.Г. Гришаенков, Б.Г. Гусаров, Б.А. Адамович, А.Г. Лобанов, Г.И. Мелешко., В.К. Голов, В.П. Дадыкин, Е.А. Ильин, В.К. Ильин, В.В. Борщенко, С.Н. Залогуев, А.Н. Викторов, А.Г. Прищеп, Г.А. Шумилина, В.Б. Гайдадымов, З.П. Пак, Н.Н. Ситникова, Ю.С. Колоскова, А.А. Моисеев, А.Д. Носкин, В.М. Скуратов, В.Н. Сычев, М.А. Левинских, Ю.А. Беркович, Н.М. Назаров, В.Д. Волгин, А.А. Берлин, И.А. Смирнов, Н.М. Левашко, С.К. Смирнов, А.С. Ушаков, В.П. Бычков, А.Н. Агуреев, Е.Е. Ковалев, Б.А. Маркелов, В.М. Петров, К.А. Труханов и мн., мн. др.

Необходимо вспомнить с благодарностью всех испытателей и космонавтов, живших в искусственной среде обитания, употреблявших консервированную воду запасов, а также регенерированную воду и давших положительную ей оценку.

И конечно необходимо вспомнить с благодарностью специалистов других предприятий и организаций, без которых было бы невозможным создание систем жизнеобеспечения как штатных космических СЖО, так и экспериментальных наземных комплексов:

Н.М. Самсонов, Н.С. Фарафонов, В.М. Новиков, Л.С. Бобе, А.Я. Подругин Л.И. Гаврилов, А.А. Кочетков, Э.А. Курмазенко и др. ("НИИХиммаш"), И.В. Лавров, Е.Н. Зайцев, С.Ю. Романов, А.А. Телегин, Н.Н. Протасов, П.О. Андрейчук, А.С. Гузенберг, А.С. Рябкин, В.Н. Серебряков, А.Л. Машинский, Г.С. Нечитайло, О.В. Сургучев, С.Б. Максимов, Л.А. Горшков и др. (РКК "Энергия"), Г.И. Воронин, А.И. Поливода, Ю.И. Гришин и др. (НПП "Наука"), Г.И. Северин, А.С. Барер, В.И. Сверщек, И.П. Абрамов, И.А. Соколовский, Е.П. Тихомиров, А.А. Шейкин, А.А. Белов и др. (НПП "Звезда"), В.Н. Правецкий, В.В. Малоземов, Г.И. Морозов и др. (МАИ). Л.В. Киренский, И.И. Гительзон, И.А. Терсков, Б.Г. Ковров, Г.М. Лисовский, А.А. Тихомиров и др. (Институт биофизики СО РАН), И.Н. Медведев, Д.П. Солнцева ("Ниипластмасс") и мн. др.

## Литература

1. Циолковский К.Э.. Жизнь в межзвездной среде. Грезы о Земле и небе. Научно-фантастические произведения. Тула. 1986.
2. Цандер Ф.А. Перелеты на другие планеты. М. 1924.
3. С.П. Королев. Избранные труды и документы. М. 1980.
4. Сисакян Н.М., Газенко О.Г., Генин А.М. Некоторые проблемы космической биологии. // Журнал общей биологии. 1961. Т. 22. №5. С. 325-332.
5. Сисакян Н.М., Парин В.В., Черниговский В.И., Яздовский В.И. Некоторые проблемы изучения и освоения космического пространства. //Проблемы космической биологии. М. 1962. С. 5-16.
6. ГОСТ 28040-89 "Система жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате". М. Государственный комитет СССР по стандартам. 1989.
7. Гост Р 50804-95 "Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования". М. Госстандарт России. 1995.
8. Аполлонов А., Гурвич Х., Стрельцов В.В. Санитарное обеспечение полета стратостата "СССР". //В кн.: Труды всесоюзной конференции по изучению стратосферы. 31.3-6.4. 1934 г. Изд. АН СССР. Л.- М.1935.
9. Бресткин М.П. Регуляция содержания углекислоты и влаги в гондоле стратостата. //В кн.: Труды всесоюзной конференции по изучению стратосферы. 31.3-6.4. 1934 г. Изд. АН СССР. Л.- М.1935.
10. Стрельцов В.В. Снабжение стратонавтов кислородом. //В кн.: Труды всесоюзной конференции по изучению стратосферы. 31.3-6.4. 1934 г. Изд. АН СССР. Л.- М.1935.
11. Ильин Е.А. Биология в полетах беспилотных космических аппаратов. // Актовая речь. М. 2007.
12. Воронин Г.И., Поливода А.И. Жизнеобеспечение экипажей космических кораблей. Изд. "Машиностроение". М., 1967.
13. Гришаенков Б.Г. Регенерация и кондиционирование воздуха. //Основы космической биологии и медицины. М., "Наука". 1975. Т. 3. С. 70-121.
14. Хамфриз В.Р., Сезанн П.К., Эванич П.Л. Физико-химические системы жизнеобеспечения. //Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание в пяти томах. Под общей редакцией О.Г. Газенко, А.И. Григорьева (Россия), А.Е. Никогосьяна, С.Р. Молера (США). М. "Наука". 1994. С. 461-499.
15. Гузенберг А.С. Регенерация и кондиционирование воздуха. //Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание в пяти томах. Под общей редакцией О.Г. Газенко, А.И. Григорьева (Россия), А.Е. Никогосьяна, С.Р. Молера (США). М. "Наука". 1994. С. 252-296.
16. Чижов С.В., Сняк Ю.Е. Водобеспечение экипажей космических кораблей. // Проблемы космической биологии. М. "Наука". 1973. С. 268.
17. Konecni E.V. Manned space cabine systems. Douglas aircraft Co. Engineering paper № 673, NY, 1959.
18. Mercury project summary, NASA SP - 45, Washington, 1963.
19. Duca V.G.D., Konecni E.V., Ingelfinger A.L. Life support: the next generation. //Space aeronautics, v.41, № 6, 1964.
20. Hopson G.D., Littles L.W., Patterson W.C. Skylab environmental control and life support systems. //Life support and environmental control conference. San Francisco, 1971. (ASME Pap.71-Av-14).
21. "Союз" и "Аполлон". Сборник под редакцией К.Д. Бушуева. Изд-во Политической литературы. М., 1976.
22. Бурназян А.И., Парин В.В., Нефедов Ю.Г., Адамович Б.А., Максимов С.Б., Гольдшвенд Б.Л., Самсонов Н.М., Кириков Г.Н. Годовой медико-технический эксперимент в наземном комплексе систем жизнеобеспечения. //Космическая биология и медицина. 1969. Т. 3. № 1.
23. Сняк Ю.Е. Чижов С.В. Регенерация воды в кабине космического корабля. // В кн. Проблемы космической биологии. М. "Наука". Т.3. 1964. С. 104-112.
24. А.И. Григорьев, М. Баранов, Ю.Е. Сняк, В.М. Скуратов Ю.И. Григорьев, С.Ю. Романов, А.С. Гузенберг, Н.Н. Протасов, А.М. Рябкин, П.О. Андрейчук, Н.М. Самсонов, Л.С. Бобе, Л.И. Гаврилов, В.М. Новиков, Н.С. Фарафонов. Результаты эксплуатации комплекса систем жизнеобеспечения космической станции "МИР". //X11 конференция по космической биологии и авиакосмической медицине, Материалы конференции, 10-14 июня 2002 г, Москва, 2002. С. 308-309.
25. N.M. Samsonov, L.S. Bobe, N.S. Farafonov, V.A. Soloukhin, Yu.E. Sinyak, V.M. Skuratov. Status Aboard the International Space Station and Water Recovery Future Prospects. //34th ICES, July 19-24, Colorado Springs, USA. SAE Technical Paper. 2004-01-2489, 2004. 11 pp.
26. Л.С. Бобе, Н.М. Самсонов, В.А. Солоухин, Ю.Е. Сняк, В.М. Скуратов. Водобеспечение МКС за счет регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и доставки воды. //5-ый научно технический семинар "Технические средства и технологии для тренажеров". Звёздный городок. 13-14 октября 2004 г.
27. Н.М. Самсонов, Л.С. Бобе, Л.И. Гаврилов, А.А. Кочетков, Э.А. Курмазенко, М.Ю. Томашпольский. С.Ю. Романов, П.О. Андрейчук, А.С. Гузенберг, А.А. Железняков, Н.Н. Протасов, А.М. Рябкин, А.А. Телегин. А.И. Григорьев, В.М. Баранов, Ю.Е. Сняк. Опыт работы регенерационных систем жизнеобеспечения экипажей на космических станциях "Салют", "Мир" и МКС. // Материалы международной конференции "Системы жизнеобеспечения - как средство освоения человеком дальнего космоса". Москва. 24-27 сентября 2008 г. С. 80-81.
28. Сняк Ю.Е. О возможности физико-химического синтеза углеводов в кабине космического корабля. //Проблемы космической биологии. М. Изд. "Наука". 1964. Т.3.

29. Серебряков В.Н. Основы проектирования систем жизнеобеспечения экипажа космических летательных аппаратов. М. "Машиностроение". 1983.
30. Романов С.Ю., Железняков А.Г., Телегин А.А. и др. Системы жизнеобеспечения экипажей длительных межпланетных экспедиций //Изв. РАН. Энергетика. 2007. № 3. С. 57-74.
31. Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. М., "Машиностроение". 1986.
32. Яздовский В.И. Искусственная биосфера. М. "Наука". 1976.
33. Морозов Г.И. Теоретические основы проектирования систем жизнеобеспечения. //Проблемы космической биологии. М. "Наука". Т. 36. 1977.
34. Синяк Ю.Е., Григорьев А.И. Оптимальный изотопный состав биогенных химических элементов на борту пилотируемых космических аппаратов. // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1996. Т. 30. №4. С. 26-30.
35. Синяк Ю.Е., Григорьев А.И. Вода с измененным изотопным составом: получение и ее медико-биологические свойства. //Друга міжнародна науково-практична конференція Інформоенергетика 111-го тисячоліття: соціолого-синергетичний та медико-екологічний підходи, 21-22 березня 2003 р. Збірник наукових праць, випуск 11, Київ - Кривий Ріг, зат з твф коло, 2003.
36. Somlyai Gabor et al. The biological effect of deuterium - depleted water. A possible new tool in cancer therapy // Anticancer Research International Journal. May-June 2001. Volume 21. Number 3A.
37. Варнавський І.М., Пономарьов В.О., Шестаков В.І., Курик М.А., Бердишев Г.Д., Конев Ф.А., Чернилевський В.Й., Варнавський Г.І. Установка ВІМ-7 "Надія" для одержання цілощой питної води зі зниженим вмістом дейтерію та тритію "Реліктова вода" від 25.12.1997 р. Патент України № 20185 від 08.10.1997 р. Бюллетень изобр. и откр. Украины. 1997. № 6.
38. Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я. Биологические системы жизнеобеспечения (замкнутые экологические системы). Под редакцией академика О.Г. Газенко. М. "Синтез", 1994.
39. Шепелев Е.Я. Системы жизнеобеспечения человека в кабине космических кораблей на основе биологического круговорота веществ. //Космическая биология и медицина. М. 1966. С. 330-362.
40. (Drysdale A., Ewert M., Hanford A. Equivalent System Mass Studies of Missions and Concepts. 1999. SAE technical paper. 1999 - 01-2081.
41. Клешнин А.Ф. Растение и свет. Л. Изд-во АН СССР. 1954.
42. Sager J., McFarlane C. Radiation. In: Plant Growth Chamber Handbook. Iowa State Univ. USA. 1997. pp. 1-29.
43. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я. Обитаемость и биологические системы жизнеобеспечения //Космическая биология и авиакосмическая медицина. № 2. 1990. С. 12-17.
44. Киренский Л.В., Терсков И.А., Гительзон И.И., Лисовский Г.М., Ковров Б.Г., Окладников Ю.Н., Рерберг М.С., Белянин В.Н., Трубачев И.Н., Сидько Ф.Я., Базанова М.И. Биологическая система жизнеобеспечения с низшими и высшими растениями. В кн.: Управляемый биосинтез и биофизика популяций. 2-е Всесоюзное совещание. Красноярск. 1969.
45. Терсков И.А., Гительзон И.И., Ковров Б.Г. и др. Замкнутая система: человек - высшие растения. Новосибирск. "Наука". 1979.
46. Гительзон И.И., Ковров Б.Г., Лисовский Г.М. и др. Экспериментальные экологические системы, включающие человека. //Проблемы космической биологии. М. "Наука". Т. 28. 1975.
47. Гительзон И.И., Терсков И.А., Ковров Б.Г. и др. Проблемы создания биолого-технических систем жизнеобеспечения. //Материалы IX Всесоюзного совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев. 1976. 26-31.
48. Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Stutte G.W., Sager J.C., Yorio N. C., Ruffe L.M., Forston R.E., Dreschel T.W., Knott W.M., Corey K.A., NASA s biomass production cambtr: a testbed for bioregenerative life support studies. Adv. Space Res. Vol. 18. № 4/5. pp. 215-224.
49. Tri T.O., Heninger D.L. Progress on development of the Advanced Life Support Human - Rated Test Facility. 1995. SAE technical paper 951691.
50. Nitta K., Otsubo K., Ashida A. Integration test project of CEEF. Presentation F.4.5-0008 in 32-nd Scientific Assembly of COSPAR . 12-19 July 1998. Nagoya. Japan.
51. Alling A., Nelson M., Silverstone S. Life under glass. The inside story of Biosphere 2. 1993. The Biosphere Press. USA. 256 p.
52. Nelson M., Dempster W. Alvares-Romo N., MacCallum T. Atmosphere dynamics and bioregenerative technologies in a solid-based ecological life support system: Initial results from Biosphere 2. Adv. Space Res. Vol. 14 (11). 1994. pp. 417-426.
53. Меркис А.И., Лауриневичус Р.С. Полный цикл индивидуального развития растений Арабидопсиса на борту орбитальной станции "Салют-7". //Доклады АН СССР.1 983. Т. 271. № 2. С. 509-512.
54. Nechitailo G.S., Mashinsky A.L. Space biology. Studies at orbital stations. Mir . Publishers. Moscow.1993.
55. Иванова Т.Н., Дандалов И., Сапунова С., Беркович Ю.А., Машинский А.Л. Итоги эксплуатации космической оранжереи "СВЕТ" в условиях орбитальной станции "МИР".// Труды XXIV Совещания постоянной рабочей группы по космической биологии и медицине стран - участниц программы "Интеркосмос". Ленинград. 1991. С.59
56. Левинских М.А., Сычев В.Н., Дерендяева Т.А., Сигналова О.Б., Салсбери Ф., Кэмбелл У., Бабенхайм Д.. Анализ влияния факторов космического полета на рост и развитие суперкарликовой пшеницы при выращивании в оранжерее "Свет". //Авиакосмическая и экологическая медицина. 1999. Т.33. № 2. С. 37-41.
57. Сычев В.Н. Результаты экспериментов с активной культурой хлореллы на космическом комплексе "Салют-Союз".//Космическая биология и авиакосмическая медицина. Калуга, 1982. С.197.
58. Сычев В.Н., Шепелев Е.Я., Мелешко Г.И., Гурьева Т.С., Левинских М.А., Подольский И.Г., Дадашева О.А., Попов В.В. Биологические системы жизнеобеспечения - исследования на борту орбитального комплекса "Мир". // Авиакосмическая и экологическая медицина, 1999, Т. 33, № 1, С. 10-16.
59. T.S. Gurieva, E.I. Mednikova, O.A. Dadasheva, N.B. Povalko, The musculoskeletal apparatus of Japanese quail during hypodynamy. Folia Veterinaria, 1998, vol. 42, Supplementum, pp. 37-41.
60. Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Мелешко Г.И., Соловьев А.Я. и др. Реакция взрослых перепелов на условия космического полета. // Авиакосмическая и экологическая медицина, 1993. Т.27. № 5-6. С. 71-73.
61. Адамович Б.А., Горшенин В.А. Жизнь вне Земли. М. 1997.
62. Ю.А. Беркович, Н.М. Кривобок, С.О. Смолянина, А.И. Ерохин. Космические оранжереи: настоящее и будущее. М. Фирма "Слово". 2005.