

# BIOTECHNICAL LIFE SUPPORT SYSTEMS FOR CREWS OF MANNED SPACE COMPLEXES

# БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Boris I. KRYUCHKOV,**  
Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center", Star City, Russia,  
[B.Kryuchkov@gctc.ru](mailto:B.Kryuchkov@gctc.ru)

**Vitaly M. USOV,**  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center", Star City, Russia,  
[V.Usov@gctc.ru](mailto:V.Usov@gctc.ru)

**Elena V. POPOVA,**  
Candidate of Pedagogical Sciences, Head of Department, State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center", Star City, Russia,  
[E.Popova@gctc.ru](mailto:E.Popova@gctc.ru)

**ABSTRACT** | The article analyzes the state of development and prospects for the creation of biotechnical life support systems for manned space complexes. The main stages and problems of creating these systems are considered. The possibilities of using biotechnical units in modern regenerative physicochemical life support systems and manned complexes in the near future are assessed.

**Keywords:** *biotechnical life support systems, manned space complexes, space experiments, space greenhouses*



**Борис Иванович КРЮЧКОВ,**  
доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина», Звездный городок, Россия,  
[B.Kryuchkov@gctc.ru](mailto:V.Kryuchkov@gctc.ru)



**Виталий Михайлович УСОВ,**  
доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина», Звездный городок, Россия,  
[V.Usov@gctc.ru](mailto:V.Usov@gctc.ru)



**Елена Владимировна ПОПОВА,**  
кандидат педагогических наук, начальник отделения, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина», Звездный городок, Россия,  
[E.Popova@gctc.ru](mailto:E.Popova@gctc.ru)

**АННОТАЦИЯ** | В статье проанализировано состояние разработок и перспектив создания биотехнических систем жизнеобеспечения пилотируемых космических комплексов. Рассмотрены основные этапы и проблемы создания данных систем. Сделаны оценки возможностей использования биотехнических звеньев в современных регенерационных физико-химических системах жизнеобеспечения и пилотируемых комплексах ближайшей перспективч.

**Ключевые слова:** *биотехнические системы жизнеобеспечения (БТ СЖО), пилотируемые космические комплексы (ПКК), космические эксперименты (КЭ), космические оранжереи*

При выполнении межпланетных полетов, в первую очередь к Марсу, или долговременном пребывании космонавтов на планетных базах, когда доставка грузов с Земли будет нецелесообразна по экономическим соображениям, потребуется автономное воспроизводство продуктов питания, кислорода, воды, создание биологически полноценной среды обитания. Для обеспечения искусственного кругооборота в обитаемых отсеках планетной станции или межпланетного экспедиционного комплекса возможно применение биотехнических систем жизнеобеспечения (БТ СЖО).

Впервые обоснование предложений по использованию биологических элементов в системах жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов (ПКА) было изложено К. Э. Циолковским в 1895 году в повести «Грезы о Земле и небе и эффекты всемирного тяготения» [1]. В его последующих работах, а также работах Ф. А. Цандера неоднократно рассматривались вопросы жизнеобеспечения в космосе и роли биотехнических элементов СЖО в этом процессе.

Хронологически начальный этап разработки БТ СЖО можно оценивать периодом с 1895 по 1935 год, который охватывает все годы творческой деятельности и К. Э. Циолковского, и Ф. А. Цандера в данной области.

Появлению значительного интереса к исследованиям БТ СЖО послужили успешные пуски животных на высотных ракетах, начатые в СССР в 1951 году, а также публикации (1953 г.) по одноклеточным водорослям [20] для использования в космосе. Этими датами завершился второй этап исследований БТ СЖО.

Наибольший вклад в изучение проблем БТ СЖО в период с 1953 по 1962 год (третий этап) внесли С. Адамс (С. Adams), З. Бамбенек (Z. Vambenek), В. Хокинс (W. Hawkins), С. Хансон (S. Hanson), А. Билек (A. Bialecky), Г. Мелешко, В. Пиневиц, А. Ничипорович, В. Яздовский, А. Штоль, Е. Мельников и др. [2-4]. В 1957 году в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ), и в том же году на борту второго ИСЗ появилось животное — собака Лайка. На корабле «Спутник-5» (1960 г.) в орбитальном полете вместе

с собаками Белкой и Стрелкой находились семена некоторых сельскохозяйственных и декоративных растений. Таким образом, начиная с 1957 года в космосе стали проводиться исследования влияния микрогравитации на биообъекты.

По инициативе С. П. Королёва в 1965-1970 годах в Институте медико-биологических проблем (ИМБП) был построен наземный экспериментальный комплекс (НЭК), ставший одной из ключевых баз по исследованиям БТ СЖО.

После этого в нашей стране стали интенсивно проводиться экспериментальные исследования, в рамках которых ставились натурные эксперименты в замкнутых отсеках с различными моделями БТ СЖО и участием человека, которые получили название изоляционных экспериментов [2, 4].

### Рост, развитие и метаболизм растений в условиях космического полета не отличаются от таковых в наземных контрольных экспериментах.

Период с 1962 по 1988 год (четвертый этап) был знаковым в истории биотехнических СЖО, поскольку он характеризовался развитием мощной экспериментальной базы и проведением фундаментальных исследований с участием человека в контуре БТ СЖО. Изоляционные эксперименты, связанные с длительным пребыванием добровольцев-испытателей в герметически замкнутом объеме в НЭК, интенсивно велись до 1988 года.

Особый этап в развитии БТ СЖО связан с проведением космических экспериментов (КЭ) на борту ПКА (рис. 1). В результате была подтверждена возможность нормального онтогенетического развития и репродукции высших растений, что дает основания для их применения в пищу космонавтам в качестве свежих витаминных добавок [14].

На орбитальном комплексе «Мир» также выполнялись исследования с гетеротрофными организмами с целью введения их в состав перспективных БТ СЖО [2], в частности КЭ с японскими перепелами (с 1990 по 1999 год), в расчете на включение их в будущем в рацион питания космонавтов как источника животных белков. Однако на этом пути ожидается еще множество проблем из-за негативного влияния невесомости (рис. 2).

Рассмотренный выше пятый этап формирования системы базовых исследований элементов



Рис. 2. Птенцы японского перепела на ОКС «Мир»

БТ СЖО в рамках КЭ на борту ПКА охватывает 1988-1999 годы.

Эксперименты, связанные с перспективой развития БТ СЖО, продолжились на российском сегменте Международной космической станции (МКС) в оранжерее «Лада» с 2003 года (разработана совместно специалистами РФ и США). В их рамках были изучены биохимические и морфологические показатели ряда высших растений, стадийность их роста, способы культивации и др. [6, 7, 8].

Было выявлено, что рост, развитие и метаболизм растений в условиях космического полета не отличаются от таковых в наземных контрольных экспериментах [9-12, 15].

Эксперименты, проведенные в рамках работы В. Н. Сычева, М. А. Левинских, И. Г. Подольского, О. М. Стругова, С. А. Гостимского, Т. Е. Саматадзе, А. В. Зеленина, М. Сугимото, Е. Шагмарданова, О. А. Гусева, Н. Д. Новиковой, Л. Н. Мухамедиевой, Г. Е. Бингхем по исследованиям свойств семян растений при развитии в условиях космического полета по плану «от семени до семени», показали, что факторы космического полета не внесли изменений в морфологические и физиологические характеристики полученных семян и выращенных из них растений [10, 16, 21]. Многими авторами отмечалось, что космическое излучение, состав атмосферы орбитальной станции и другие факторы космического полета при длительном воздействии могут вызывать изменения в геноме растений [13, 15, 17].

Российскими учеными были проведены исследования по выявлению генетических последствий при выращивании растений в ряду поколений на борту российского сегмента (РС) МКС. В кос-

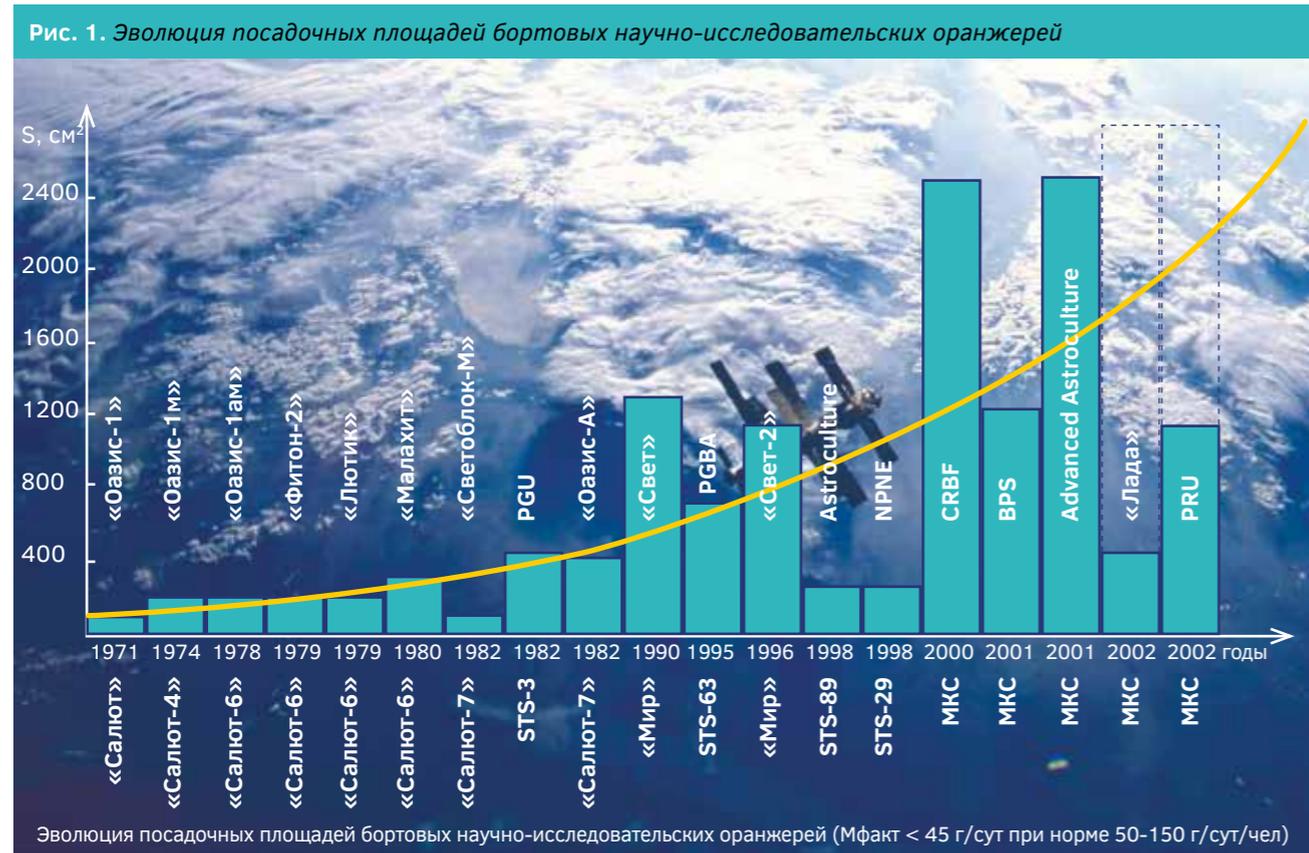
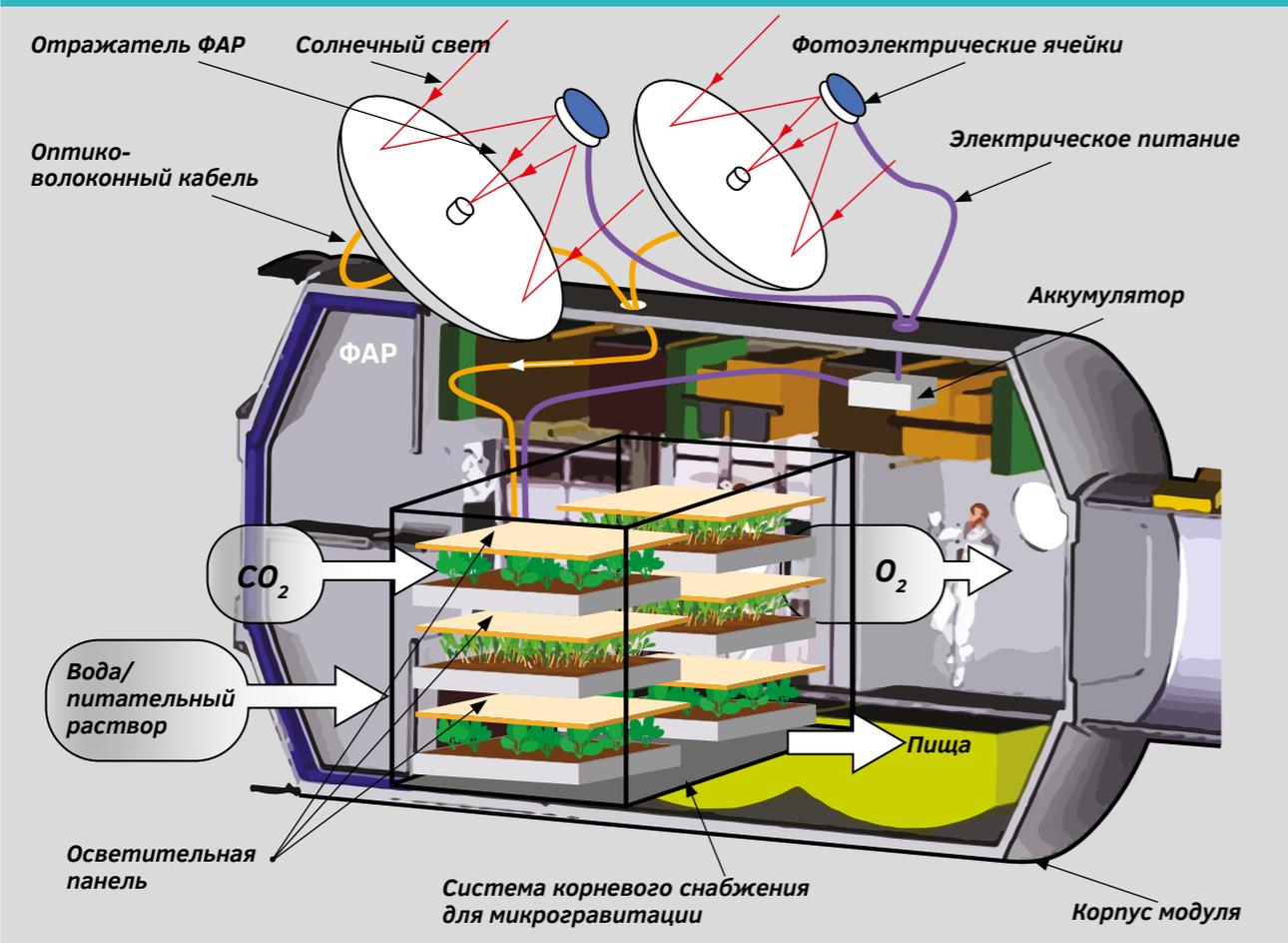


Рис. 3. Оранжерейный модуль



мической оранжерее «Лада» было проведено пять экспериментов по культивированию генетически маркированных растений карликового гороха.

Было показано, что у растений, прошедших четыре полных цикла развития в условиях космического полета, не выявлен генетический полиморфизм, что позволяет говорить об отсутствии влияния факторов космического полета на генетический аппарат растений в первом — четвертом «космических» поколениях [11, 18, 19].

Успешные бортовые эксперименты с высшими растениями свидетельствуют о том, что первым шагом введения в СЖО биологических

систем должны стать оранжереи, обеспечивающие биологическую добавку к пище (витаминный компонент, пищевые волокна). Однако, как справедливо отмечено в работе [3], ни одна из побывавших в космосе экспериментальных оранжерей не способна обеспечить экипажи ПКА необходимым количеством биопродуктов из-за низкой производительности. Выходом из положения могут стать только производственные специализированные оранжерейные модули — функциональные бортовые или напланетные комплексы с высокой производительностью, автоматизацией процессов культивирования растений и разнообразным их составом (рис. 3).

Исследования Луны с помощью автоматических аппаратов показали, что в ее недрах имеется достаточно ресурсов для обеспечения функционирования физико-химических СЖО [22]. Поэтому задача создания высокозамкнутых БТ СЖО для обеспечения жизнедеятельности космонавтов лунных баз (ЛБ) уходит на второй план. Однако использование в ЛБ отдельных

Первым шагом введения в системы жизнеобеспечения космонавтов биологических компонентов должны стать оранжереи.

биологических звеньев будет, видимо, вполне обоснованным.

Возможности использования природных ресурсов на Марсе для жизнеобеспечения космонавтов пока не столь очевидны, как для Луны [23], учитывая, что на их добычу и создание технологий использования уйдет достаточно много времени. Кроме того, Луна значительно ближе к Земле, чем Марс, и возможность относительно быстрой доставки на нее при необходимости каких-то элементов СЖО все-таки имеется. Можно предполагать, что на Марсе без БТ СЖО обойтись будет невозможно.

Несмотря на то, что время освоения Луны и Марса в режиме систематических кратковременных полетов на них еще не наступило, интерес к их колонизации не ослабевает, с каждым годом появляется все больше и больше исследовательских проектов. Предполагаемая колонизация планет

подразумевает создание на них больших поселений с биологически полноценной средой обитания в герметичных жилых и служебных помещениях. В перспективе такая полноценная среда будет включать автотрофные и гетеротрофные комплексы БТ СЖО, а также подсистемы биологической минерализации отходов.

**Выводы:**

1. БТ СЖО экипажей ПКА за 125-летний путь своего развития прошли несколько последовательных этапов. К концу первой четверти XXI века учеными и конструкторами наибольшие успехи достигнуты в создании автотрофного звена БТ СЖО. В отношении гетеротрофных подсистем БТ СЖО к настоящему времени не получено результатов, позволяющих надеяться на их применение в обозримой перспективе на ПКА.

2. Комплексы обеспечения жизнедеятельности космонавтов в длительных экспедициях за пределами земных орбит до 2040 года, в том числе на Луне и Марсе, будут строиться на принципах оптимального сочетания физико-химических и биологических звеньев. Создание производственных бортовых оранжерейных комплексов (модулей) возможно уже в настоящее время.

Специализированные бортовые или напланетные оранжерейные модули смогут обеспечить экипажи необходимым количеством биопродуктов.

Рис. 4. Оранжерейный комплекс на Марсе



**Литература**

1. **Циолковский К.Э.** Грезы о Земле и небе и эффекты всемирного тяготения. М., 1895. 56 с.
2. **Григорьев А.И., Сычев В.Н.** Системы жизнеобеспечения космонавтов на основе биосферных механизмов // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 8. С. 675 – 689.
3. **Беркович Ю.А. и др.** Космические оранжереи: настоящее и будущее. М., 2005. 367 с.
4. **Лисовский Г.М., Гительзон И.И., Терсков И.А.** Автотрофные организмы как компоненты замкнутых экологических систем // Проблемы создания замкнутых экологических систем. М., 1967. 44 с.
5. **Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Железняков А.Г., Гузенберг А.С.** К вопросу о компоновке космической оранжереи для пилотируемых космических кораблей // Пилотируемые полеты в космос. 2018. № 4. С. 53 – 66.
6. **Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Урохин А.Н.** Космические оранжереи: настоящее и будущее. М.: Слово, 2005. 367 с.
7. **Беркович Ю.А.** Разработка оранжерей для космических систем жизнеобеспечения // Космическая биология и медицина: сборник научных статей / под ред. А.И.Григорьева, И.Б.Ушакова. Воронеж: Научная книга, 2013. С. 599 – 610.
8. **Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С., Подольский И.Г., Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я., Дадашева О.А.** Исследования замкнутых экологических систем жизнеобеспечения // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 2. Медико-биологические эксперименты. М.: ГНЦ РФ ИМБП РАН, 2002. С. 306 – 365.
9. **Левинских М.А., Сычев В.Н., Дерендяева Т.А. и др.** Выращивание пшеницы «от семени до семени» в условиях космического полета // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2000. Т. 34. № 4. С. 37 – 43.
10. **Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С., Подольский И.Г., Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я., Дадашева О.А.** Исследования замкнутых экологических систем жизнеобеспечения // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 2. Медико-биологические эксперименты. М.: ГНЦ РФ ИМБП РАН, 2002. С. 306 – 365.
11. **Souza K.A., Ilyin E.A., Sychev V.N., Jahns G.C.** Biological Research in Space // Space biology and medicine. Vol. 5. Reston, Virginia, 2009. Pp. 1 – 43.
12. **Sychev V.N., Shepelev E.Ya., Meleshko G.I., Gurieva T.S., Levinskikh M.A., Podolsky I.G., Dadasheva O.A., Popov V.V.** Biological life support systems: investigation aboard orbital complex Mir // Folia Veterinaria. 2001. Vol. 45. No. 1. Supplementum, pp. 60 – 65.
13. **Левинских М.А., Сычев В.Н., Сигалова О.Б. и др.** Рост и развитие растений в ряду поколений в условиях космического полета в эксперименте «Оранжерея-3» // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 3. С. 43 – 48.
14. **Левинских М.А., Сычев В.Н., Дерендяева Т.А. и др.** Рост и развитие растений в ряду поколений в условиях космического полета в эксперименте «Оранжерея-5» // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 4. С.45 – 50.
15. **Меркис А.И., Лауринавичус Р.С.** Полный цикл индивидуального развития растений арабидопсиса на борту орбитальной станции «Салют-7» // Доклады АН СССР. 1983. Т. 271. № 2. С. 509 – 512.
16. **Левинских М.А., Сычев В.Н., Сигалова О.Б., Дерендяева Т.А., Нефедова Е.Л., Масгрейв М.Е., Кэмпбелл У.Ф., Конлин Д., Бингхейм Г.Е.** Некоторые характеристики сформировавшихся в условиях микрогравитации семян растений // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2002. Т. 36. № 6. С. 32 – 35.
17. **Ваулина Э.Н.** Исследование мутагенных факторов космического полета / Мутагенез при действии физических факторов / под ред. Н. П. Дубинина. М.: Наука, 1980. 211 с.
18. **Сычев В.Н., Левинских М.А., Подольский И.Г., Новикова Н.Д., Гостимский С.А., Алексеев В.А., Бингхем Г.** Основные результаты экспериментов по изучению высших растений и походящихся форм организмов на борту российского сегмента Международной космической станции // Космонавтика и ракетостроение. 2007. № 4. С. 54 – 64.
19. **Sychev Vladimir N., Levinskikh Margarita A., Gostimsky Sergey A. et al.** Spaceflight effects on consecutive generations of peas grown onboard the

- Russian segment of the International Space Station // Acta Astronautica. 2007. № 60. Pp. 426 – 432.
20. **Bowman N.J.** The food and atmosphere control problems in space vessels. Part 2. The use of algae for food and atmosphere control // Journal British Interplanetary Society. 1953. Vol. 12. № 4. Pp. 159 – 167.
21. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Derendyaeva T.A., Signalova O.B., Salisbury F.B., Campbell W.F., Bingham G.E., Bubenheim D.L., Jahns G.** Analysis of The Spaceflight Effects on Growth And Development of Super Dwarf Wheat Grown on the Space Station "Mir" // Journal of Plant Physiology. 2000. Vol. 156. Pp. 522 – 529.
22. **Bingham G.E., Topham T.S., Taylor A., Podolsky I.G., Levinskikh M.A., Sytchev V.N.** Lada: ISS Plant growth technology checkout. SAE Technical Paper 2003-01-2613, 2003, <https://doi.org/10.4271/2003-01-2613>
23. **Тихомиров А.А., Ушакова С.А.** Научные и технологические основы формирования фототрофного звена биолого-технических систем жизнеобеспечения: учебное пособие. Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2016. 200 с.
24. Ученые выяснили, сколько человек сможет прожить на Марсе и Меркурии [Электронный ресурс] // SLOVARSLAV. RU, 2020. URL: <https://slovarslov.ru/uchnye-vyyasnili-skolko-chelovek-smozhet-prozhit-na-marse-i-merkurii.html> (Дата обращения: 11.08.2020).

**References**

1. **Tsiolkovskiy K.E.** Grezy o Zemle i nebe i efekty vseirnogo tyagoteniya. Moscow, 1895. 56 p.
2. **Grigor'ev A.I., Sychev V.N.** Sistemy zhizneobespecheniya kosmonavtov na osnove biosfernykh mekhanizmov. Vestnik RAN, 2004, vol. 74, no. 8, pp. 675 – 689.
3. **Berkovich Yu.A. et al.** Kosmicheskie oranzherei: nastoyashchee i budushchee. Moscow, 2005. 367 p.
4. **Lisovskiy G.M., Gitel'zon I.I., Terskov I.A.** Avtotrofnye organizmy kak komponenty zamknutykh ekologicheskikh system. Problemy sozdaniya zamknutykh ekologicheskikh system. Moscow, 1967. 44 p.
5. **Berkovich Yu.A., Smolyanina S.O., Zheleznyakov A.G., Guzenberg A.S.** K voprosu o komponovke kosmicheskoy oranzherei dlya pilotiruemykh kosmicheskikh korablye. Pilotiruemye polety v kosmos, 2018, no. 4, pp. 53 – 66.
6. **Berkovich Yu.A., Krivobok N.M., Smolyanina S.O., Urokhin A.N.** Kosmicheskie oranzherei: nastoyashchee i budushchee. Moscow, Slovo, 2005. 367 p.
7. **Berkovich Yu.A.** Razrabotka oranzherey dlya kosmicheskikh sistem zhizneobespecheniya. Kosmicheskaya biologiya i meditsina: sbornik nauchnykh statey. Eds. A.I.Grigor'ev, I.B.Ushakov. Voronezh, Nauchnaya kniga, 2013, pp. 599 – 610.
8. **Sychev V.N., Levinskikh M.A., Gur'eva T.S., Podol'skiy I.G., Meleshko G.I., Shepelev E.Ya., Dadasheva O.A.** Issledovaniya zamknutykh ekologicheskikh sistem zhizneobespecheniya. Orbital'naya stantsiya "Mir". Kosmicheskaya biologiya i meditsina, vol. 2, Mediko-biologicheskie eksperimenty. Moscow, GNTs RF IMBP RAN, 2002, pp. 306 – 365.
9. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Derendyaeva T.A et al.** Vyrashchivanie pshenitsy "ot semeni do semeni" v usloviyakh kosmicheskogo poleta. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2000, vol. 34, no. 4, pp 37 – 43.
10. **Sychev V.N., Levinskikh M.A., Gur'eva T.S., Podol'skiy I.G., Meleshko G.I., Shepelev E.Ya., Dadasheva O.A.** Issledovaniya zamknutykh ekologicheskikh sistem zhizneobespecheniya. Orbital'naya stantsiya "Mir". Kosmicheskaya biologiya i meditsina. T. 2. Mediko-biologicheskie

- eksperimenty. Moscow, GNTs RF IMBP RAN, 2002, pp. 306 – 365.
11. **Souza K.A., Ilyin E.A., Sychev V.N., Jahns G.C.** Biological Research in Space. Space biology and medicine. Vol. 5. Reston, Virginia, 2009. Pp. 1 – 43.
12. **Sychev V.N., Shepelev E.Ya., Meleshko G.I., Gurieva T.S., Levinskikh M.A., Podolsky I.G., Dadasheva O.A., Popov V.V.** Biological life support systems: investigation aboard orbital complex "Mir". Folia Veterinaria, 2001, vol. 45, no. 1, Supplementum, pp. 60 – 65.
13. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Signalova O.B. et al.** Rost i razvitie rasteniy v ryadu pokoleniy v usloviyakh kosmicheskogo poleta v eksperimente "Oranzhereya-3". Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2001, vol. 35, no. 3, pp. 43 – 48.
14. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Derendyaeva T.A. et al.** Rost i razvitie rasteniy v ryadu pokoleniy v usloviyakh kosmicheskogo poleta v eksperimente "Oranzhereya-5". Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2001, vol. 35, no. 4, pp.45 – 50.
15. **Merkis A.I., Laurinavichus R.S.** Polnyy tsikl individual'nogo razvitiya rasteniy arabidopsisa na bortu orbital'noy stantsii "Salyut-7". Doklady AN SSSR, 1983, vol. 271, no. 2, pp. 509 – 512.
16. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Signalova O.B., Derendyaeva T.A., Nefedova E.L., Masgreyv M.E., Kempbell U.F., Konlin D., Bingkheym G.E.** Nekotorye kharakteristiki sformirovavshikhsya v usloviyakh mikrogravitatsii semyan rasteniy. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2002, vol. 36, no. 6, pp. 32 – 35.
17. **Vaulina E.N.** Issledovanie mutagennykh faktorov kosmicheskogo poleta. Mutagenез pri deystvii fizicheskikh faktorov. Ed. N. P. Dubinin. Moscow, Nauka, 1980. 211 p.
18. **Sychev V.N., Levinskikh M.A., Podol'skiy I.G., Novikova N.D., Gostimskiy S.A., Alekseev V.A., Bingkhem G.** Osnovnye rezul'taty eksperimentov po izucheniyu vysshikh rasteniy i pokoyashchikhsya form organizmov na bortu rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii. Kosmonavtika i raketostroenie, 2007, no. 4, pp. 54 – 64.
19. **Sychev Vladimir N., Levinskikh Margarita A., Gostimsky Sergey A. et al.** Spaceflight effects on consecutive

- generations of peas grown onboard the Russian segment of the International Space Station. Acta Astronautica, 2007, no. 60, pp. 426 – 432.
20. **Bowman N.J.** The food and atmosphere control problems in space vessels. Part 2. The use of algae for food and atmosphere control. Journal British Interplanetary Society, 1953, vol. 12, no. 4, pp. 159 – 167.
21. **Levinskikh M.A., Sychev V.N., Derendyaeva T.A., Signalova O.B., Salisbury F.B., Campbell W.F., Bingham G.E., Bubenheim D.L., Jahns G.** Analysis of The Spaceflight Effects on Growth And Development of Super Dwarf Wheat Grown on the Space Station "Mir". Journal of Plant Physiology, 2000, vol. 156, pp. 522 – 529.
22. **Bingham G.E., Topham T.S., Taylor A., Podolsky I.G., Levinskikh M.A., Sytchev V.N.** Lada: ISS Plant growth technology checkout. SAE Technical Paper 2003-01-2613, 2003, <https://doi.org/10.4271/2003-01-2613>
23. **Tikhomirov A.A., Ushakova S.A.** Nauchnye i tekhnologicheskie osnovy formirovaniya fototrofnogo zvena biologo-tekhnicheskikh sistem zhizneobespecheniya. Krasnoyarsk, Sibirskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskii universitet, 2016. 200 p.
24. Uchenye vyasnili, skol'ko chelovek smozhet prozhit' na Marse i Merkurii. SLOVARSLAV.RU, 2020. Available at: <https://slovarslov.ru/uchnye-vyyasnili-skolko-chelovek-smozhet-prozhit-na-marse-i-merkurii.html> (Retrieval date: 11.08.2020).

© Крючков Б.И., Усов В.М., Попова Е.В., 2020

**История статьи:**  
Поступила в редакцию: 21.06.2020  
Принята к публикации: 30.07.2020

**Модератор:** Плетнер К.В.  
**Конфликт интересов:** отсутствует

**Для цитирования:**  
*Крючков Б.И., Усов В.М., Попова Е.В. Биотехнические системы жизнеобеспечения для экипажей пилотируемых космических комплексов // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 3. С. 82 – 89.*

