

АВТОМАТИЗИРАНИТЕ КОСМИЧЕСКИ ОРАНЖЕРИИ - БЪЛГАРСКИЯТ ПРИНОС ЗА ПОЛЕТА НА ЧОВЕКА ДО МАРС

Таня Иванова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: tivanova@space.bas.bg*

Ключови думи: *Интеркосмос, Орбитална станция МИР, Космическа оранжерия СВЕТ*

Резюме: По повод 30-годишнината от старта на един от най-успешните български проекти - Космическата оранжерия (КО) СВЕТ е направен обзор на извършената изследователска и инженерно-конструкторска дейност през трите основни етапа на работа за изпълнението му. КО СВЕТ е първата автоматизирана апаратура в света за провеждане на дългосрочни експерименти с растения на борда на Орбиталната станция МИР. Създадена е в партньорство с Института по медико-биологични проблеми, Москва, с цел разработка на космически биотехнологии за развитие на растенията - основно звено на Биологичните системи за осигуряване на живота на екипажите при полет до Марс. Експерименталните изследвания в нея са осъществени от международни колективи по различни научни програми: Интеркосмос, МИР-НАСА, ФНИ, Марс-500. Дадени са накратко и основните научни резултати, доказващи възможността за нормално развитие на растенията в микрогравитация - значителен принос за успешното осъществяване на първия полет на човека до Марс.

AUTOMATED SPACE GREENHOUSES - THE BULGARIAN CONTRIBUTION FOR HUMAN MISSION TO MARS

Tania Ivanova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tivanova@space.bas.bg*

Key words: *Intercosmos, MIR Orbital Station, SVET Space Greenhouse*

Abstract: *An overview of the research, engineering and design activities during the one of the most successful Bulgarian projects – SVET Space Greenhouse (SG) is made, on the occasion of the 30th anniversary of its start. SVET SG is the first automated equipment in the world, designed for long-term experiments with plants, and worked onboard the MIR Orbital Station for 10 years. It was created in partnership with the Institute of Biomedical Problems, Moscow, in order to develop space biotechnologies for growing plants – basic unit of the Biological Life Support Systems for the future long-duration manned missions. The experimental researches were carried out by the international teams in the frame of various scientific programs - Intercosmos, MIR-NASA, NSF, Mars-500. Basic scientific results are presented in brief, proving the possibility of normal development and use of plants in the conditions of microgravity - a significant contribution to the successful realization of the first manned mission to Mars.*

Въведение

Мечтата на човека за полет до Марс изглежда все по-реализуема поради непрекъснатото увеличаващите се възможности за продължителни полети на космонавтите и изключително бързото развитие на космическата техника. Днес непрекъснатото пребиваване на поредния най-малко тричленен екипаж с месеци в околоземна орбита на борда на Международната космическа станция (МКС) не прави впечатление никому. През следващите години там ще бъдат изпращани още много мисии. Опитът от тях служи безусловно на бъдещата голяма цел на космонавтиката – осъществяването на полети до други планети, първоначално до Марс. А при полета дори до тази най-близка планета от Слънчевата система

няма да може да се изпращат товарни кораби с храна, вода и кислород, както сега на околоземните орбитални станции.

Според редица проекти, някъде в периода 2020-2030 година там се предвижда първоначално да бъде построена първата изследователска станция, в която заселниците ще пристигат с редовен транспорт, както сега между Земята и околоземните Орбитални станции (ОС). В бъдещите научни станции на Луната и Марс животът ще се осигурява с помощта на изкуствени Биологични системи за осигуряване на живота (БСОЖ), в които ще се пресъздава земната биосфера с необходимите растителни и животински видове – достатъчно, за да се осъществява равновесие за поддържане на въздух, нормален за дишане, за пречистване на водата и за осигуряване на храната.

Както е известно, гравитацията на Марс е три пъти по-малка от земната, но макар и засега да е единствено перспективната за посещение планета от Слънчевата система, все пак е с твърде негостоприемлив климат. Изпращаните автоматични станции и спускаеми апарати ни дават много точна информация за всичките ѝ параметри; и в момента там функционират 2 всъдехода и 3 автоматични ОС. Марс е със 100 пъти по-ниско атмосферно налягане, със съдържание главно на въглероден двуокис (95,6%) в разредената си атмосфера, с 80° С пониски средни температури и с големи амплитуди през деня и нощта. Марс е суха и студена планета, но през 2008 г. с радари бяха открити под повърхността ѝ големи площи със зъмръзнала вода, което обнадежди човека за нейното колонизиране. Но Марс е и твърде отдалечена от Земята - между 56 и 400 милиона километра, така че за посещението на човека там, кацането на марсианската повърхност и обратното му завръщане у дома при сега достигнатите скорости са необходими 1,5 - 2 години.

Екип от учени и специалисти, натрупали опит в разработката на първите български сондови космически прибори, наредили страната ни сред космическите държави, се включи с голям ентузиазъм преди 30 години към международната програма „Интеркосмос“, за да подпомогне нейното осъществяване в областта на пилотируемия полет до Марс. В рамките на Постоянно-действащата работна група по „Космическа биология и медицина“ се провеждаха ежегодни съвещания за набиеляване на програмите за изследвания по време на пилотируемите полети. През 1983 г. в Кечкемет, Унгария, българските учени официално се включиха в темата „Търсене на пътища и методи за използването на растенията и животните в БСОЖ“, ръководена от Института по медико-биологични проблеми (ИМБП), Москва. Беше им възложено най-важното звено - висшите растения, които могат да осигуряват храната и пречистването на въздуха, които дишат космонавтите.

Разработена бе първата автоматизирана Космическа оранжерия (КО) СВЕТ за дългосрочни изследвания с растения в условия на безтегловност. Тя бе монтирана като щатна апаратура в модул „Кристал“, скачен към ОС МИР на 10 юни 1990 г. До 2000 година в нея са проведени 8 многомесечни експеримента (общо 680 дни) с различни видове растения по няколко международни програми. Постигнати са уникални резултати, доказващи че микрогравитацията не е пречка за развитието на растенията и те могат да бъдат използвани пълноценно за създаването на БСОЖ на екипажите при бъдещите им дълготрайни мисии.

Основните етапи на работа по проекта, свързана с разработката на различните оптимизирани модификации на апаратурния комплекс на КО СВЕТ са:

1983 - 1991 – разработка на КО СВЕТ по програма „Интеркосмос“ - изстреляна през 1990 на ОС МИР, проведени са първите дългосрочни експерименти със зеленчукови растения;

1992 - 2000 – разработка на КО СВЕТ-2 по програма МИР-НАСА - изстреляна през 1996 на ОС МИР, получени са първите семена от растенията горчица и пшеница, доказана е и репродуктивност в безтегловност;

2000 - 2013 – разработка на КО СВЕТ-3 по проекти: с Бразилия, с ФНИ по Национална научна програма „Космически изследвания“ и с Русия „Оранжерия-Марс“ по ЕБР.

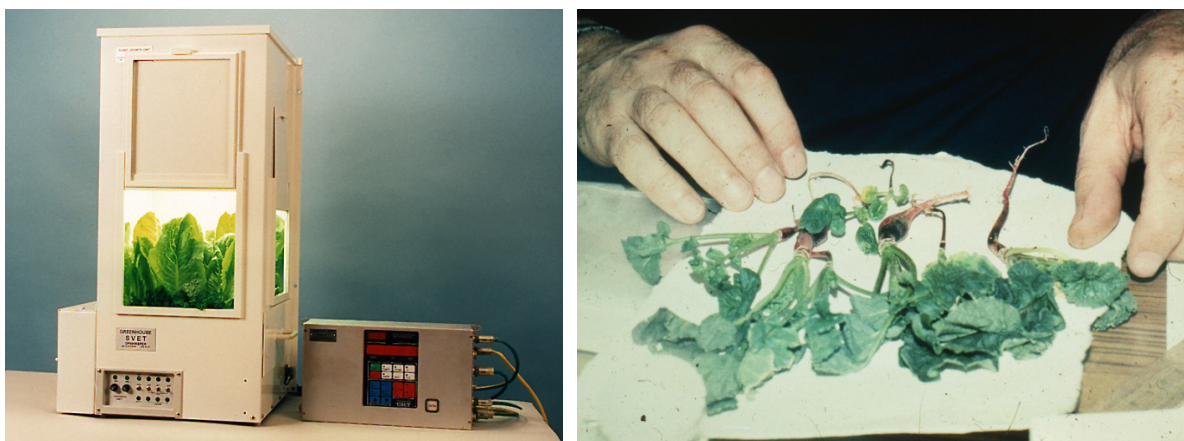
Описани са накратко апаратурата, дейностите и осъществените експерименти по време на всеки етап от изпълнението на проекта, свързан с разработката на всяка от модификациите на КО СВЕТ, както и съответното им финансиране по различни програми, проекти и договори, представени са накратко и резултатите.

Космическите оранжерии «СВЕТ»

През 1985 г. бе проведен предварителен експеримент "Субстрат" на борда на ОС "Салют-7" с цел да се проучи каква хранителна среда (почва) да бъде използвана в бъдещата КО СВЕТ. Бяха изследвани 4 различни фракционни състава на субстрата "Балканин" (на зеолитна основа), обогатена по специална българска технология с необходимите за растенията

хранителни вещества и минерални соли. Беше тествана за пръв път и електронната система за измерване и поддържане на влажността на субстрата [1].

Разработката и изработването на всички блокове от първия комплекс научна апаратура, както и програмното осигуряване на специализираната микропроцесорна система е осъществено изцяло в България и финансирано от българското правителство през 80-те години (Договор 820/1983 с ДКНТП). КО СВЕТ се състои от Блок за управление и Камера за отглеждане на растенията, в която се монтира допълнително в орбита Кореновия модул и Блока осветление (фиг. 1а). През 1990 г. космонавтите А. Баландин и А. Соловьев проведоха първия дългосрочен експеримент с растения - първоначално зеленчуци (репички и китайско зеле) като витаминозна добавка към рациона на космонавтите. Свежи образци от 54-дневни растения бяха свалени за изследване на Земята (фиг. 1б). За пръв път бе получен кореноплод (репичка) в условия на космически полет [2].



Фиг. 1. а) Космическата оранжерия СВЕТ изстреляна на ОС МИР през 1990 г.
б) Първите „космически“ репички бяха върнати за изследвания на Земята.

Вторият период (1992-2000 г.) обхваща американско-руско-българското сътрудничество с финансиране от НАСА, с което беше разработена и изстреляна втората модификация КО СВЕТ-2. Бяха проведени серия от дългосрочни експерименти с цел доказване възможността за получаване на пълен вегетационен цикъл на растения в безтегловност - на „космически“ семена.

През 1995 г. по програма МИР-ШАТЪЛ'95 в старата КО СВЕТ бе проведен първия 3-месечен експеримент с пшеница сорт *Super Dwarf* - специално селектирана нискостеблена, защото "възрастните" растения се развиват до височина най-много 25-30 см. При този експеримент растенията достигнаха само до фазата на цъфтеж поради силно влошените параметри на апаратурата, престояла 5 години в тежките условия на необитаемата ОС МИР.

Бяха разработени блоковете на ново поколение космическа оранжерия - КО СВЕТ-2 с оптимизирани параметри, изстреляна на ОС МИР през 1996 г. по програмата МИР-НАСА. Втората модификация доказа своята надеждност и работи безотказно до края на експлоатацията на станцията (включително и по време на последния 28-ми екипаж през 2000 г.). Към съществуващата българска апаратура американските учени от Лабораторията по космическа динамика към Университета на Юта, Логан, добавиха и своя система за мониторинг на средата и за измерване на газовия обмен в камерата GEMS (Gas Exchange Measurement System). Целта бе да се измерва количеството въглероден двуокис на входа и изхода на системата. По този начин можеше да се прогнозира ролята на фотосинтезата за биологичното прочистване на въздуха в бъдещите космически станции за далечни мисии на човека с големи оранжерии на борда. Бяха проведени редица дългосрочни експерименти с различни видове растения по програма МИР-НАСА-3,5 (1996-97) и по руската национална програма (1998-2000).

По програма МИР-НАСА-3 бяха проведени два последователни експеримента с пшеница сорт *Super Dwarf* с участието на американски астронавти с цел - получаване на пълен жизнен цикъл на развитие (от посяти на борда семена да се получат растения със семена). По време на първия 123-дневен експеримент проведен от Шанън Люсид се получиха зрели растения с класове с по-малки размери, но повече на брой от наземните. Джон Блаха проведе вторият 42-дневен експеримент за получаване на зелени растения, които бяха замразени [3].

Образци от растенията и от двата експеримента бяха върнати за изследване на Земята. Оказа се, че първите космически класове от 4-месечния експеримент не съдържат семена, въпреки усъвършенствените биотехнологии и апаратура. Причина за стерилитета на "космическата" пшеница се оказа не безтегловността, а наличието на големи концентрации газ етилен в атмосферата на ОС МИР, които не са вредни за екипажа и не се контролират [4].

Програмата МИР-НАСА-5 включваше провеждането на три последователни експеримента през 1997 г. с растения горчица в сътрудничество с Университета на Луизиана, САЩ и с участието на американския астронавт Майкъл Фуул [5]. При първия експеримент се развиха нормални растения до фазата на цъфтеж до деня на сблъсъка на товарния кораб с модул "Спектър" на 25 юни 1997 г.. Независимо от аварията към КО СВЕТ-2 се е подавало хранене по 1 час всеки ден, но така че образувалите се първи "космически" семена продължават да зреят, като били използвани за засяване на втора реколта при втория експеримент, заедно със семена изпратени от Земята. От "космическите" семена се разви само едно растение от второ поколение, но от "земните" се получават отново семена, с част от които се осъществява трети експеримент. За пръв път е доказана възможността за репродуктивност на растенията в безтегловност.



Фиг. 2. а) Космонавтът С. Авдеев получи първите «космически» семена от пшеница през 1998 г.
б) Салатени култури бяха отгледани през 2000 г.

През 1998-1999 г. по Руската научна програма в КО СВЕТ-2 бяха проведени два последователни научни експеримента с нов сорт пшеница (*Арогее*), по-устойчив на високото съдържание на етилен (над 1%) в атмосферата на ОС МИР. Руският космонавт Сергей Авдеев отгледа първите 508 "космически" семена пшеница от 12 растения с 29 формирани класа (фиг.2а). Част от тях бяха засети отново и се развиха второ поколение растения, отново до пълен вегетационен цикъл (класове със семена, макар и по-малки по размер). Това беше голямо постижение в областта на фундаменталната гравитационна биология, тъй като за първи път се отглеждаха семена от пшеница в Космоса, от които беше получена втора генерация "космически" семена в условия на безтегловност [6].

Последните изследвания с растения в КО СВЕТ-2 бяха осъществени от 28-ия екипаж на ОС МИР (космонавтите Сергей Залютин и Александър Калери) през 2000 г., когато бяха засети семена от различни видове салатни култури (фиг.2б). По един образец от получените растения бяха изпратени на Земята, а останалите за пръв път бяха предоставени за храна на космонавтите за да се оценят вкусовите качества на растителния материал.

Подготовка на мисия на човека към Марс

Изследванията с растения продължават и през 21 век на новата Международна космическа станция (МКС). Всички големи космически сили, основни участници в изграждането ѝ, използват оранжерийни установки, даже центрофуги за изследване на влиянието на различна от земната гравитация (0-2g) върху развитието на растенията. Българските учени също са разработили нова концепция за адаптивно управление на околната среда в камерата на следващото поколение КО СВЕТ-3 за постигане на оптимални резултати при експерименти с

растения [7]. Канени са да участват в различни международни проекти със своя натрупан досега опит и „ноу-хау“.

През 2000 г. бе подписан договор сътрудничество с Бразилия (BRAZSAT) за разработка на оранжерийна установка EARM (Equipment for Agricultural Research in Microgravity) за изследване на продуктивността на соята на борда на МКС (по програмата за полета на първия бразилски космонавт Маркос Понтес). Направена бе предварителна оценка за осъществимостта на проекта (Feasibility Study), но обективни обстоятелства (терористичните атаки, катастрофиралата Совалка, войната в Ирак) попречиха на финансирането и реализацията му. През 2003-2007 г. бяха разработени основните възли на трето поколение КО СВЕТ-3 с финансиране от ФНИ по Национална научна програма „Космически изследвания“ [8]. Разработена бе нова система за разширен мониторинг на параметрите на средата в листната зона и управление с помощта на съвременна миниатюрна компютърна система за събиране на данни ME-4610. Осъществени бяха експериментални изследвания за влиянието на стреса (кислородна недостатъчност в кореновата зона) върху различни видове перспективни за БСОЖ растения в лабораторни условия [9].

През 2006-2010 г. се изпълняваше проекта „Оранжерея-Марс“ във връзка с подготовката на полет на човека до Марс - отново в сътрудничество с ИМБП, Москва (по специално споразумение по ЕБР между БАН и РАН в областта на Фундаменталните космически изследвания). Проектът се осъществяваше паралелно и във връзка с експеримента „Марс-500“ - наземна имитация на полета до Марс, в който шестима доброволци бяха затворени за 520 дни в Наземен експериментален комплекс (НЕК). В един от модулите бе разположена голяма оранжерия 3 м², в която бяха отработени редица ключови въпроси свързани с техниката, биотехнологията и нуждите на екипажа от свежа и витаминозна храна и психологическа подкрепа [10].

Целта на проекта бе разработката на нов Блок за осветление на базата на светодиоди (BO-LED), който да замести използваните досега в КО СВЕТ-1, 2 флуорисцентни лампи. Изработени бяха две лабораторни установки с два вида BO-LED (с мощни и маломощни светодиоди), които са с редица съществени предимства: по-голяма яркост, енергоефективност, ниско тегло, висока надеждност и дълъг живот (100 000 часа, докато при лампите са 8 000) [11]. Осъществени са експериментални изследвания с различни видове растения (основно листни култури - салата и цикория) за подбор на оптимални параметри на светлината - интензитет и спектрален състав за получаване на добре развити растения [12,13].

Най-перспективно за участието ни в космически изследвания на МКС е сътрудничеството ни с Неаполския университет и MAPC центъра в Италия. През май 2010 г. бяхме поканени да участваме в международната Workshop AGROSPACE 2010 в Сперлонга и да представим резултатите от изследванията си - единствено проведени от нас в безтегловност. След проведените обсъждания и преговори бе подписано „Letter of interest“ за партньорство в разработката на Космическа оранжерия за проекта на ЕКА „Lunar/Mars Simulator“ - големи центрофуги имитиращи гравитацията на Луната и Марс в модула „Леонардо“ на МКС. Продължават преговорите за включване в научния колектив по проекта за разработка на оранжерийна система за производство на храна и пречистване на отпадъците в базата Concordia в Антарктика.

Научният колектив работещ по проекта има над 130 научни публикации по резултатите от изследванията у нас и в чужбина (50 в списания и 80 сборници с доклади). Издаден е патент на КО СВЕТ и 4 авторски свидетелства. Резултатите от изследванията са докладвани на 25 научни форуми в чужбина, най-важни от които са участията ни в конгресите на Международната астронавтична федерация и на COSPAR, европейските симпозиуми по Life Sciences, конференциите RAST (Recent Advances in Space Technologies) в Турция и др. [14]. Освен това са изнесени и публикувани в пълен текст в сборници доклади на десетки конференции и симпозиуми у нас с международно участие (ET-5, SENS-20, STIL-5, ЕКО и др.), както и на много национални форуми и обществени чествания на „космически“ събития и юбилеи.

Заклучение

В резултат на дългогодишните изследвания с помощта на разработените от българските учени космически и наземни оранжерийни системи бе доказано, че безтегловността не е пречка за нормалния растеж и развитие на растенията (при използването на подходящите технически средства и биотехнологии) и те могат да бъдат използвани за създаване на БСОЖ. Дадена е „зелена улица“ на учените от цял свят, разработващи космическа техника и биотехнологии за по-мощните оранжерии необходими за бъдещите междупланетни мисии на човека, както и за научно-изследователските станции на Луната и на

Марс. В последната програма за изследвания и иновации на Европейския съюз „Хоризонт 2020“ вече се отделя специално финансиране за създаване на БСОЖ (COMPET-07-2014 - Life support). И когато многолюдните орбитални и междупланетни станции вече бъдат факт, когато извънземните бази започнат да приличат на селища със своите паркове и градини, в Историята на космонавтиката ще остане записано, че първите автоматизирани дългосрочни Космически оранжерии, със запазената „марка“ СВЕТ, са били разработени и изработени в България.

Литература:

1. Ivanova, T. N., P.T. Kostov. Prospects for the Use of the Higher Plants in Space Flight-Experiment "Substrat", *Report on the 37th IAF Congress*, 4-11 October 1986, Innsbruck, Austria, № IAF/IAA-86-374.
2. Ivanova, T.N., Yu.A.Bercovich, A.L.Mashinskiy, G.I.Meleshko. The First Vegetables Have been Grown up in the "SVET" Greenhouse by Means of Controlled Environmental Conditions. *Microgravity Quarterly*, Vol. 2, 2, 1992, pp. 109-114.
3. Ivanova, T.N., P.T. Kostov, S.M. Sapunova, I.W. Dandolov, F.B. Salisbury, G.E. Bingham, V. N.Sytchov, M.A.Levinskikh, I.G.Podolski, D.B.Bubenheim, G.Jahns. Six-Month Space Greenhouse Experiments - a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica*, Vol. 42, Nos. 1-8, 1998, pp. 11-23.
4. Levinskikh, M.A., V.N. Sychev, T.A. Derendyaeva, O.B. Signalova, F.B. Salisbury, W.F. Campbell, D.L. Bubenheim and G. Jahns. Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and Development of *Super Dwarf* Wheat in Greenhouse SVET. *J. Plant Physiology*, 156(4), 2000, pp. 522-529.
5. Musgrave, M.E., A.Kuang et al. Gravity Independence of Seed-to-seed Cycling in *Brassica rapa*. *Planta*, 210, 2000, pp. 400-406.
6. Levinskikh, M.A., V.N. Sychev et al. Growth and Development of Plants in a Row of Generations under the Conditions of Space Flight (Experiment Greenhouse-5). *Aviakosm. Ekolog. Med.*, 35(4), 2001, pp. 45-49.
7. Kostov, P., T.Ivanova, I.Dandolov, S.Sapunova, I.Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, Vol. 51, 1-9, 2002, pp. 213-220.
8. Ivanova, T. N., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, I. I. Ilieva, S. K. Neychev. Plant Cultivation in Space: Next Steps towards the SVET-3 Space Greenhouse Project and Current Advances. *Space Technology*, Vol. 26, Nos.3-4, 2006, pp. 129-136.
9. Naydenov, Y., T.Ivanova, I.Dandolov, I.Ilieva. Plant Shoot Environment Monitoring and Control in the SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the 60th International Astronautical Congress*, 12-16 October, 2009, Daejeon, Republic of Korea, Curran Associates Inc., Vol. 1, 2010, pp. 299-306.
10. Иванова, Т., И. Илиева, Й. Найденов, В. Сычев, М. Левински х. Стартира проекта "МАРС-500" - участия в наземния експериментален комплекс. *Proceedings of the 3rd Scientific Conference with International Participation SENS 2008*, 4-7 June 2008, Golden sands, Bulgaria, 2008, pp. 64-69.
11. Ivanova, T., I. Dandolov, I. Ilieva, Y. Naydenov, M. Levinskikh, V. Sychev. New LEDs Light Module Developed on "Greenhouse-Mars" Project. *Aerospace Research in Bulgaria*, 23, 2009, pp. 85-102.
12. Ilieva, I., T. Ivanova, Y. Naydenov, I. Dandolov, D. Stefanov. Plant Experiments with Light-Emitting Diode Module in SVET Space Greenhouse. *Advances in Space Research*, Vol. 46, No. 7, 2010, pp. 840-845.
13. Илиева, И., Й. Найденов, Т. Иванова, И. Дандолов, Е. Гешева, В. Ненова. Влияние на съотношението зелена : синя светлина върху физиологията на листна цикория при RGB осветление. *Proceedings of the Eighth Scientific Conference with International Participation SES 2012*, 2013, pp. 239-243.
14. Ivanova, T. 25 years SVET Space Greenhouse Project. *Proceedings of the Fifth Scientific Conference with International Participation SENS 2009*, 2-4 November 2009, Sofia, 2010, pp. 59-65.