

25 ГОДИНИ ПРОЕКТ КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ СВЕТ

Таня Иванова

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

25 YEARS SVET SPACE GREENHOUSE PROJECT

Tania Ivanova

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

Key words: *Intercosmos Program, MIR Orbital Station, SVET Space Greenhouse, LED Light Module*

Abstract: *The article summarizes the enormous organizational, engineering and constructional work carried under the project SVET Space Greenhouse (SG) - the first automated facility on board the MIR Orbital Station in which plant experiments were conducted. The project runs already 25 years mainly in partnership with the Institute of BioMedical Problems (IBMP), Moscow. The activities and experiments carried out during each of the project's three main stages related to the development and modernization of the equipment are briefly described. The fundamental research in the field of gravitational biology carried out in the facility was accomplished by international teams in the frame of several research programs: "SVET-1" SG - "Intercosmos", "SVET-2" SG – Mir-NASA, "SVET-3" SG - by EARM, National Scientific Program on Space Research, Mars-500. The contracts and funding under these programs are described. The basic research results from the major terrestrial and space experiments are presented in brief. The international scientific forums where the results have been reported over the years are listed. The research results obtained during SVET SG's experiments will contribute significantly to the successful implementation of the first man flight to Mars.*

Въведение

Разработката на самовъзстановяваща се биологична система, която да поддържа нормални условия за съществуване на космическите екипажи при техните дълготрайни мисии, е една от основните научни задачи на нашата цивилизация. Пътешествията на бъдещите космически кораби, които дори и до най-близката планета Марс ще са с продължителност 1,5-2 години, ще бъдат невъзможни без създаването на изкуствена Биологична система за осигуряване живота (БСОЖ) на космонавтите, в която се осъществява автономно пречистване на въздуха, водата, както и набавяне на храна. Такава затворена екосистема се базира на естествената биологична обмяна на химическите елементи, така както в земната биосфера и може да бъде осъществена основно на растения. Затова експерименти с различни видове растения се провеждат още от годините на полета на Гагарин на почти всеки пилотируем и непилотируем космически апарат.

Целта на учените е да се отглеждат важни за храната на космонавтите култури в условия на безтегловност. Да се осигури също така достатъчно богата биомаса за биологично пречистване на въздуха от въглеродния двуорис, отделян при дишането на хората и възстановяването на кислорода, както и регулирането на влагата чрез фотосинтезата. Тази задача обаче се оказва изключително трудна. Растенията нямат висша нервна дейност и не биха могли да се адаптират към космическите условия така, както хората. При отклонения от условията, към които те са привикнали на Земята, те реагират със забавяне на растежа или загиват. Трябваше да се създаде една по-съвършена оранжерийна установка, която да осигури условия за отглеждането на висшите растения в точно определени норми и при липса на гравитация.

Преди 25 години в Института за космически изследвания (ИКИ) при БАН започна разработката на първата автоматизирана Космическа оранжерия (КО) СВЕТ за дългосрочни изследвания с растения в условия на безтегловност. Договорът за сътрудничество за изпълнението на проекта е подписан на двустранна международна среща през 1984 г. в Института по медико-биологични проблеми (ИМБП), Москва, с който сме партньори и до днес. Първата модификация на КО СВЕТ е монтирана като щатна апаратура в модул "Кристал", стикован към комплекса на Орбиталната станция (ОС) МИР на 10.06.1990 г. До 2000 г. в нея са проведени общо 680 дни експерименти с различни видове растения по няколко международни програми. Постигнати са уникални резултати, доказващи че безтегловността 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 различни модификации на апаратурния комплекс на КО СВЕТ са:

I етап (1984 - 1991) – разработка на КО СВЕТ-1 по програма "Интеркосмос" - изстреляна през 1990 на ОС МИР, проведени първи експерименти със зеленчуци.

II етап (1992 - 2000) – разработка на КО СВЕТ-2 по програма МИР-НАСА и руска - изстреляна през 1996, получени първи семена от растенията горчица и пшеница, доказана е и репродуктивност в безтегловност.

III етап (2001 - 2010) – разработка на КО СВЕТ-3: по проект с Бразилия; по Национална научна програма "Космически изследвания" на ФНИ и по проект с Русия "Оранжерия-Марс".

Описана е накратко дейността и осъществените експерименти по време на всеки от трите етапа на изпълнение на Проекта, свързан с разработките, със съответното финансиране по различни програми, проекти и договори, както и представянето на резултатите.

I етап - Програма "ИНТЕРКОСМОС"

В изкуствените затворени БСОЖ за бъдещите дълготрайни космически мисии параметрите на околната среда се поддържат по естествен път от обитаващите я живи организми: растения, животни, хората от космическия екипаж, както и микро-организми за преработка на отпадъците. Растенията са основно звено и "енергийна врата" на системата и чрез фотосинтезата си, могат да осигурят със своята биомаса до голяма степен (>90%) храната на космонавтите, биологично пречистване на въздуха от CO₂ отделян от екипажа при дишането и набавяне на необходимия O₂.

Българските учени се включват активно в темата "Изследването на пътищата и методите за използване на растенията в БСОЖ на космическите екипажи" по програма "Интеркосмос" (ИК) още от 1984 г.. Колектив от специалисти на ИКИ-БАН в сътрудничество с учени от ИМБП, Москва, разработват концепцията на първата Космическа оранжерия, наречена СВЕТ, за провеждане на експерименти с висши растения в условия на безтегловност. Подготвена е и дългосрочна програма за развитие чрез усъвършенстване на оранжерийните системи, както и за разширяване на вегетационната площ (от 0.1 м² на КО СВЕТ-1 до 1 м² след 2000 г.) с цел подготовката на първия полет на човека до Марс.

През 1985 г. бе проведен предварителен експеримент "Субстрат" на борда на ОС "Салют-7" с цел да се проучи каква хранителна среда да бъде използвана. Бяха изследвани 4 различни фракционни състава на субстрата "Балканин" – изкуствена почва 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 комплекса научна апаратура, както и програмното осигуряване на специализираната микропроцесорна система е осъществено изцяло в България и финансирано от българското правителство през 80-те години. КО СВЕТ се състои от Камера за отглеждане на растенията, в която се монтират допълнително в орбита Кореновия модул и Блока осветление, както и от отделен Блок за управление. 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. За пръв път бе получен кореноплод (репичка) в условия на космически полет [2].

Но по време на изпълнението на I етап от проекта, се развиваше изключително бързо направлението Космическа биология и медицина (КБМ) на програма ИК, свързано с полетите на космонавти от всички бивши социалистически страни (включително и на българските Г. Иванов през 1979 г. и А. Александров – 1988 г.). Ежегодно се събираха водещите учени по отделните проекти на Постоянно-действащата работна група по КБМ, където докладваха резултатите от извършената работа и съгласуваха План-програмата за следващите години. В

тези съвещания участваха винаги и ръководителите на проекта от ИКИ и ИМБП със свои представители (Таблица 1). За съжаление, след приключването на програма ИК през 1991 г. с настъпването на демокрацията, ОС МИР бе изоставена.

Таблица 1. Участия в съвещанията на Постоянно-действащата работна група по Космическа биология и медицина на програма "Интеркосмос"

№	Година, от-до	Град, държава
1.	1983, 19-25 юни	Кечкемет, Унгария
2.	1984, 10-16 юни	Бърно, Чехословакия
3.	1985, 27 май-1 юни	Гагра, Р. Грузия
4.	1986, 5-12 април	Хавана, Куба
5.	1987, 18-22 май	Берлин, Германия
6.	1988, 6-10 юни	Б.-Сандомерски, Полша
7.	1989, 14-20 май	Варна, България
8.	1990, 20-26 май	Кошице, Чехословакия
9.	1991, 17-22 август	Санкт-Петербург, Русия

II етап - по Програма "МИР-НАСА"

През 1993 г. бе подписан договор между Русия и САЩ за съвместни изследвания в космоса, като се използва и съществуващата апаратура на ОС МИР. НАСА оцени постиженията на българо-руското сътрудничество по програма ИК и финансира нови програми за продължаване на изследванията за влиянието на гравитацията върху развитието на растенията с участието и на учени от американски научни центрове и университети. Към съществуващата българска апаратура те добавиха и своя система за мониторинг на средата и за измерване на газовия обмен в камерата (Gas Exchange Measurement System – GEMS), където планираха да отглеждат реколти от различни видове растения. 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 дългосрочни космически станции с големи оранжерии на борда.

През 1995 г. по програма МИР-ШАТЪЛ'95 бе проведен първия 3-месечен експеримент с пшеница (сорт 1 *Super Dwarf*), специално подбран, защото "възрастните" растения се развиват до височина най-много 25-30 см (Таблица 2). При този експеримент растенията достигнаха само до фазата на цъфтеж поради силно влошените параметри на апаратурата, преседяла 5 години в тежките условия на необитаемата ОС МИР.

Таблица 2. Проведени експерименти в българската Космическа оранжерия СВЕТ-1,2 на борда на ОС МИР в периода 1990-2000 г.

№	Год.	Дати (от .. до ..)	Дни	Вид растения	Програма
1	1990	16 юни - 8 август	54	репички и кит. зеле	ИНТЕРКОСМОС
2	1995	10 август - 9 ноември	90	пшеница – сорт 1	МИР-ШАТЪЛ'95
3	1996	5 август - 6 декември	123	пшеница – сорт 1	МИР-НАСА-3
4	1996-97	6 дек. -17 януари	42	пшеница – сорт 1	МИР-НАСА-3
5	1997	31 май- 30 септември	115	горчица	МИР-НАСА-5
6	1998-99	18 ноември-26 февр.	100	пшеница – сорт 2	Руска научна прогр.
7	1999	9 март - 17 август	130	пшеница – сорт 2	Руска научна прогр.
8	2000	21 май - 15 юни	26	салатени култури	Руска научна прогр.
Общо дни:			680		

С финансиране от НАСА бе разработено ново поколение Космическа оранжерия КО СВЕТ-2 с оптимизирани параметри, изстреляна на ОС МИР през 1996 г.. Втората модификация доказа своята надеждност и работи безотказно до края на експлоатацията на станцията (до последния екипаж през 2000 г.). Бяха проведени редица дългосрочни експерименти с различни видове растения по програма МИР-НАСА-3,5 (1996-97) и по руската програма (1998-2000).

По програма МИР-НАСА-3 се проведеха два последователни експеримента с пшеница сорт 1 в сътрудничество с учени от Университета на Юта, САЩ и с участието на американските астронавти Шанън Люсид и Джон Блаха: 123-дневен експеримент с цел получаване на пълен

жизнен цикъл на развитие (от засети на борда семена да се получат изсушени класове със семена) и 42-дневен експеримент за получаване на зелени растения, които бяха замразени [3].

Образците от двата експеримента бяха върнати за изследване на Земята. Оказа се, че първите космически класове от 4-месечния експеримент не съдържат семена, въпреки усъвършенстваните биотехнологии и апаратура. Причина за стерилитета на "космическата" пшеница не е 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 Фоул [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 1997г.. 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.

Нашите партньори от ИМБП (сега Държавен научен център), Москва, се опитаха да направят последната крачка за получаване на "космически" семена от пшеница и да осигурят "хляба" на бъдещите космически екипажи. През 1998-99 г. по Руската научна програма в КО СВЕТ-2 бяха проведени два последователни научни експеримента с нов пшеница сорт 2 (*Арогее*), по-устойчив на етиленовия газ в атмосферата на ОС МИР. От 12 растения с 29 формирана класа се получиха първите 508 "космически" семена пшеница. Това беше голямо постижение в областта на фундаменталната гравитационна биология, тъй като за пръв път се отглеждаха семена от пшеница в Космоса, от които беше получена втора генерация "космически" семена в безтегловност [6].

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

III етап – проекти за разработка на КО "СВЕТ-3"

Изследванията с растения продължават и през 21 век на новата Международна космическа станция (МКС). Всички големи космически сили, основни участници в изграждането ѝ, използват различни 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]. Поканени 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 (Equipment for Agricultural Research in Microgravity - EARM) за изследване на продуктивността на соята на борда на МКС (по програмата на полета на първия им космонавт Маркос Понтес). Направена бе предварителна оценка на осъществимостта на проекта (Feasibility Study), но обективни обстоятелства (терористични атаки, катастрофиралата Совалка, войната в Ирак) попречиха на финансирането и реализацията му.

През 2003 г. в конкурс на ФНИ бе спечелено финансирането на проект по Национална научна програма за Космически изследвания (ННП-КИ) за разработката на ново поколение КО СВЕТ-3. Разработена бе нова система за мониторинг на параметрите на средата в листната зона и управление с помощта на универсалната компютърна система за събиране на данни ME-4610, осъществени са експериментални изследвания за влиянието на стреса върху различни видови перспективни за БСОЖ растения [8].

Проектът "Оранжерея-Марс" е двустранно научно сътрудничество с ИМБП, Москва, съгласно споразумение между БАН и РАН в областта на Фундаменталните космически изследвания за периода 2006-2010 г.. Проектът се изпълнява в рамките на експеримента «Марс-500» – наземна имитация на полета до Марс, в който шестима доброволци ще бъдат затворени за повече от 500 дни в наземен експериментален комплекс (НЕК). В един от модулите е разположена голяма оранжерия (3 м²). Целта на проекта е разработката на Блок за осветление (БО) на базата на светодиоди (Light-Emitting Diodes – LED), който да замести

използваните досега в КО СВЕТ-1,2 флуорисцентни лампи. Разработен е лабораторен образец на новия БО, който е с много предимства: по-голяма яркост, енергоефективност, ниско тегло, висока надеждност и дълъг живот. Извършват се експериментални изследвания с различни биологични образци за подбор на оптимални параметри на светлината (интензитет и спектрален състав) за получаване на добре развити растения [9].

Разработва се и Лабораторна установка на КО СВЕТ-3 с растителна камера от затворен тип с регулиране на температурата и контролиране на газовия състав [10].

Разработката на всички модификации на КО СВЕТ и научно-изследователската дейност е финансирана по различни проекти със средства в размер на 330 000 лева и 265 000 щ.долара (Таблица 3).

Таблица 3. Проектно финансиране на разработките на КО СВЕТ-1,2,3 по Договори

№	Наименование на проекта	Договор №/дата - източник	Средства
1.	Проектиране и изработване на КО СВЕТ-1	№ 820/20.10.1987 г. с ДКНТ, МС	200 000 BGN
2.	Моделиране на звено "Висши растения" от БСОЖ	НИ Б-304/30.10.1993 г. с МОН	100 000 BGN
3.	Проектиране и изработване на КО СВЕТ-2	B906705/11.05.1994 г.– USU Found., Space Dynamics Laboratory, USA	187 000 USD
4.	Изработване на летателни образци за бордови изследвания.	715167J78/ 08.10. 1996 г. – Lockheed Martin Eng. & Sci. Company, USA	72 000 USD
5.	Предварителни проучвания за бразилска КО (EARM)	02102000-SJC/01.11. 2000 г. – BRAZSAT, Сао Паоло, Бразилия	6 000 USD
6.	Методи и технологии за осигуряване живота на екипажите – КО СВЕТ-3	ННП КИ-1-01/15.10.2003 г. с МОН	30 000 BGN

Основни резултати по проекта КО "СВЕТ"

В резултат от експериментите проведени в КО СВЕТ на ОС МИР (съгласно Таблица 1 общо 680 дни за периода 1990 - 2000 г.) бяха изяснени редица фундаментални въпроси, свързани с растежа и развитието на растенията в микрогравитация [11]:

- Растенията се насочват към светлината след като поникнат - тя напълно заменя гравитационния вектор (свойството фототропизъм, а не геотропизъм).
- Семената трябва да бъдат предварително ориентирани преди "посев", тъй като ако коренът започне да расте нагоре към светлината, растението ще загине.
- Корените изпълват целият обем на субстрата и са ориентирани не по посока на гравитационния вектор, а по посока на концентрацията на влагата в субстрата.
- Хранителните вещества в кореноплодите се натрупват не под влияние на гравитацията, а поради капилярната "осмоза" на самите растения.
- Космическите растения изискват същото време за цъфтеж и добиване на семена в микрогравитация и имат сравнима продуктивност, както и в земни условия.
- Растенията могат да осъществят пълен жизнен цикъл в микрогравитация, те могат да дадат второ поколение растения (да се възпроизведат).

Основният резултат постигнат от серията експерименти е, че няма принципни пречки за развитието на растенията в микрогравитация при подходящо проектирано оборудване и биотехнологии. Научно-изследователската работа проведена с помощта на КО СВЕТ допринесе изключително много за доказване на възможността да отглеждат растения както за храна, така и за пречистването на въздуха в Космоса. Те доказаха осъществимостта на БСОЖ при бъдещите дългосрочни мисии на човека.

Резултатите от изследванията са докладвани активно на научни форуми у нас и в чужбина, най-важни от които са участията ни в конгресите на Международната астронавтична федерация (Таблица 4). Престижно е участието и срещите с научната общност, работеща в областта на космическата биология в конгресите на COSPAR, европейските симпозиуми по Life Sciences, конференциите RAST (Recent Advances in Space Technologies) и др. (Таблица 5).

Таблица 4. Доклади изнесени на конгреси на Международната астронавтическа федерация по проект КО СВЕТ

№	Година, от-до	Конгрес	Град, държава
1.	1986, 4-11 Oct.	37 th	Innsbruck, Austria
2.	1991, 5-11 Oct.	42 nd	Montreal, Canada
3.	1992, 28 Aug.- 5 Sep.	43 rd	Washington D.C. USA
4.	1995, 2-6 Oct.	46 th	Oslo, Norway
5.	1997, 6-10 Oct.	48 th	Turin, Italy
6.	2000, 2-6 Oct.	51 st	Rio de Janeiro, Brazil
7.	2001, 1-5 Oct.	52 nd	Toulouse, France
8.	2002, 10-19 Oct.	53 th	Houston, USA
9.	2006, 2-6 Oct.	57 th	Valencia, Spain
10.	2008, 29 Sep.-3 Oct.	59 th	Glasgow, Scotland
11.	2009, 12-16 Oct.	60 th	Daejeon, R. of Korea

Научният колектив работещ по проекта има общо 120 научни публикации у нас и в чужбина по резултатите от изследванията (50 в списания и 70 сборници с доклади). Издаден е патент на КО СВЕТ и 4 авторски свидетелства. Освен това са изнесени и публикувани в пълен текст доклади на 20 конференции и симпозиуми у нас с международно участие (ET-5, SENS-5, STIL-5, ЕКО и др.), както и на 10 национални научни конференции. Организираны от нас са 3 международни Микро-симпозиума СВЕТ във Варна (1989, 1990 и 1995) и 2 национални Workshops - в Костенец (2005) и в Копривщица (2007).

Таблица 5. Доклади на други конференции и конгреси в чужбина

№	Наименование на форума	Година, от-до	Град, страна
1.	Drop Tower Days Workshop	1992, 1-3 June	Bremen, Germany
2.	COSPAR World Space Congress	1992, 28 Aug.- 5 Sep	Washington D.C. USA
3.	EU Symposium on Life Sciences Research in Space	1993, 26 Sept-1 Oct.	Arcachon, France
4.	18 th Annual International Gravit. Physiology Meeting	1997, 20-25 April	Copenhagen, Denmark
5.	12 th Man in Space Symposium	1997, 8-13 June	Washington DC, USA
6.	6 th International Conference on Natural Zeolites	2002, 3-7 June	Thessaloniki, Greece
7.	9 th EU Symposium on Life Sciences in Space	2005, 26 Jun-1 Jul	Cologne, Germany
8.	2 nd International Conference RAST	2005, 9-11 June	Istanbul, Turkey
9.	3 rd International Conference RAST	2007, 14-16 June	Istanbul, Turkey
10.	10 th EU Symposium "Life in Space for Life on Earth"	2008, 22-27 June	Angers, France
11.	37 th COSPAR Congress	2008, 13-20 June	Montreal, Canada
12.	4 th International Conference RAST	2009, 11-13 June	Istanbul, Turkey

В резултат на изследванията е дадена "зелена улица" на учените, разработващи космическа техника и биотехнологии за оранжерии на бъдещите междупланетни мисии на човека, за научно-изследователските станции на Луната и на Марс. И когато многолюдните орбитални станции вече бъдат факт, когато лунните бази започнат да приличат на селища със своите паркове и градини, навярно само в Историята на космонавтиката ще пише, че първата автоматизирана Космическа оранжерия, наречена СВЕТ, е била разработена и изработена в България.

Литература:

1. Ivanova T. N., P. T. Kostov. Prospects for the Use of the Higher Plants in Space Flight-Experiment "Substrat", 37th IAF Congress, 4-11 October 1986, Innsbruck, Austria, Report 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, 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, 11-23.

4. L e v i n s k i k h M. A., V. N. S y c h e v, T. A. D e r e n d y a e v a, O. B. S i g n a l o v a, F. B. S a l i s b u r y, W. F. C a m p b e l l, D. L. B u b e n h e i m and G. J a h n s. Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and development of *Super Dwarf* Wheat in Greenhouse SVET. *J. Plant Physiol.*, 156(4), 2000, 522-9.
5. M u s g r a v e M. E., A. K u a n g et al. Gravity Independence of Seed-to-seed Cycling in Brassica rapa. *Planta*, 210, 2000, 400-406.
6. L e v i n s k i k h M. A., V. N. S y c h o v 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, 45-49.
7. K o s t o v P., T. I v a n o v a, I. D a n d o l o v, S. S a p u n o v a, I. I l i e v a. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, Vol. 51, 1-9, 2002, 213-220.
8. I v a n o v a T. N., P. T. K o s t o v, S. M. S a p u n o v a, I. I. I l i e v a, S. K. N e y c h e v. Plant Cultivation in Space: Next Steps towards the SVET-3 Space Greenhouse Project and Current Advances. *Space Technology*, Vol. 26, Nos.3-4, 2006, 129-136.
9. I v a n o v a T., V. S y c h e v. Project "Greenhouse - Mars" - Plant Growth Study with Different Spectra LEDs Light Units. Proceedings of the Second Scientific Conference with International Participation *SENS'2006*, 14-16 June 2006, Varna, Bulgaria, CD – Session 7/2; <http://www.space.bas.bg/astro/bulg.html>.
10. K o s t o v P. T., S. M. S a p u n o v a, Y. N. N a y d e n o v, G. K. G a l e v. Progress in the Svet-3 Space Greenhouse Project: Temperature Measurements; Thermoelectric Sensor Calibration Apparatus. *Proceedings of the 4th International Conference on RAST*, 11-13 June 2009, Istanbul, Turkey, 2009, 690-695.
11. I v a n o v a T., P. K o s t o v, I. D a n d o l o v, S. S a p u n o v a. Results from Microgravity Experiments in the SVET Space Greenhouse Onboard the MIR Orbital Station, *51st IAF Congress*, 2-6 October 2000, Rio de Janeiro, Brazil, Report IAF-00-J.3.10.