*The world is full of obvious things which nobody by any chance ever observes.*
*Arthur Conan Doyle (1859-1930)*

*Светът е пълен с очевидни неща, които никой никога не забелязва.*
*Артър Конан Дойл (1859-1930)*

Arthur Conan Doyle

SES 2011

© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences
ISSN 1313 - 3888
2012

# SES 2011

## Seventh Scientific Conference with International Participation

## SPACE, ECOLOGY, SAFETY

**29 November - 1 December 2011, Sofia, Bulgaria**

SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

**BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES**
**Space Research and Technology Institute**

**BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY**

**RUSSIAN CULTURE AND INFORMATION CENTRE**

# *SEVENTH SCIENTIFIC CONFERENCE*
## *with International Participation*

***Dedicated to the 30th Anniversary of the Bulgaria-1300 Satellites***

# S P A C E
# E C O L O G Y
# S A F E T Y

# S E S 2011

# PROCEEDINGS

**2012**

## Organizational Committee

***Honoured Chairman:*** Acad. Nikola Sabotinov

***Chairman:***
Prof. Petar Getsov, DSc

***Vice-Chairman*:**
Prof. Garo Mardirossian, DSc

***Secretary:***
Assoc. Prof. Dr. Tania Ivanova

***Members:***
Prof. Tsvetan Dachev, DSc
Prof. Zhivko Zhekov, DSc
Dr. Krassimir Stoyanov
Assoc. Prof. Dr. Boycho Boychev
Chief Assistant Dimitar Danov
Chief Assistant Rumen Shkevov
Chief Assistant Maria Dimitrova
Chief Assistant Georgi Jelev
Yuliya Stamboliyska, MS

## Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia
Assoc. Prof. Dr. Mihail Mogilevskiy – Russia
Prof. Rupert Gerzer – Germany
Prof. Alen Hauchecorne – France
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece
Prof. Stefano Tinti – Italy
Prof. Danilo Ristich – Macedonia
Dr. Stoyan Velkoski – Macedonia
General Dr. Alexander Alexandrov
Corr. Member Peter Velinov, DSc
Corr. Member Chavdar Roumenin, DSc
Corr. Member Filip Filipov, DSc
Prof. Petar Getsov, DSc
Prof. Garo Mardirossian, DSc
Prof. Nikola Vichev, DSc
Assoc. Prof. Dr. Boyko Ranguelov
Chief Assistant Lubomira Kraleva
Tsveta Srebrova, MS

# PROCEEDINGS

## Publishing team:

Garo Mardirossian
Tsveta Srebrova
Georgi Jelev

This Collection contains reports presented orally or in the form of posters during the Seventh Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety - SES 2011", which was held on 29 November – 1 December 2011 in Sofia.

The Collection includes reports which were sent within the due term and were drafted in accordance with the preliminarily announced instructions. The reports submitted by the authors have not been edited in substance, but have only been subject to technical processing.

The reports and the accompanying abstracts are published in one of the three working languages of the Conference after the authors' choice.

**© Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences**

**ISSN 1313 – 3888**

Bulgaria, Sofia 1113, *Acad. G. Bonchev* St., bl. 1, P.O.Box 799
phone: (+359 2) 988 35 03, fax: (+359 2) 986 16 83
**e-mail: office@space.bas.bg; http://www.space.bas.bg**

# CONTENTS

***Plenary Session***

***Таня Иванова***
30 години спътници "България-1300". . . . . .9

***Session 1***
***Space Physics***

***Николай Ерохин, Людмила Михайловская, Надежда Зольникова, Румен Шкевов***
Структура фазовой плоскости при серфотронном ускорении электронов пакетом электромагнитных волн в космической плазме. . . . . 19

***Николай Ерохин, Надежда Зольникова, Людмила Михайловская, Румен Шкевов***
Нелинейная динамика регионального циклогенеза с учетом вариаций температуры поверхности океана и скорости ветра . . . . . .27

***Tsvetan Dachev***
Profile of the Space Radiation between Earth Surface and Moon Orbit. . . . . 33

***Tsvetan Dachev, Borislav Tomov,Yury Matviichuk, Plamen Dimitrov, Nikolai Bankov, Guenther Reitz, Gerda Horneck, Donat-Peter Häder, Michael Lebert, Martin Schuster***
Investigation of Relativistic Electron Fluxes on International Space Station By R3DR instrument . . . .41

***Peter Tonev***
Electric Response of High Latitudinal Middle Atmosphere to Solar Wind Characteristics Studied by Model Simulations. . . . . .49

***Veneta Guineva, Irina Despirak, Rolf Werner***
The Auroral 5577 Å and 6300 Å Emissions during Substorms. . . . . 55

***Веселин Ташев, Ролф Вернер, Мариана Горанова, Ангел Манев, Богдана Мендева, Димитър Вълев***
Приложение на метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus за атмосферни изследвания в ИКИТ, гр. Ст. Загора. . . . . .61

***Веселин Ташев, Ангел Манев***
Широкоспектърен електронен сензор с фотодиод за измерване на слаби светлинни потоци в атмосферата. . . . . .67

***Красимира Янкова***
Генерирането на корона следствие от само-структуриране на магнитнетизиран диск. . . . . .73

***Deyan Gotchev***
Infinity in Space and GNOSIS. . . . . .79

***Deyan Gotchev, Daniela Boneva***
Multiverses - What is the Difference that Makes the Difference? . . . . . .84

***Deyan Gotchev, Plamen Trenchev***
Space Debris and Space Situational Awareness. . . . . .88

***Костадин Шейретски, Меглена Лазарова, Румен Шкевов, Николай Ерохин***
Движение на спътник в екваториалната равнина на планета. . . . . 92

***Session 2***

***Aerospace Technologies and Biotechnologies***

***Михаил Владов, Дмитрий Добров, Максим Колпакович, Румен Недков, Георги Сотиров***
Сканер дистанционного зондирования земли . . . . . 101

***Михаил Владов, Дмитрий Добров, Георги Сотиров, Румен Недков***
Бортовая система телеметрического контроля летательного аппарата. . . . . 106

***Иван Григоров, Таня Иванова, Йордан Найденов, Григор Зехиров, Георги Атанасов***
Система „Акваплант" за производство на екологично чисти растителни и аквакултури в контролирана среда. . . . . 114

***Илияна Илиева, Йордан Найденов, Таня Иванова, Иван Дандолов, Детелин Стефанов, Емилия Гешева***
Морфометрични характеристики и фотосинтетична активност на листна цикория при RGB LED осветление. . . . . .119

***Пламен Костов***
Капилярно придвижване на вода във въздушно-сух зеолитен субстрат „Балканин": анализ на резултатите от космически и лабораторни експерименти. . . . . .125

***Пламен Костов***
Поведение на датчика за относителна влажност на въздуха в космическа оранжерия „Свет" по време на 54 дневен експеримент в микрогравитация. . . . . .131

***Malina Jordanova***
From Technologies to Services: The Telehealth Services Code of Practice for Europe. . . . . .138

***Malina Jordanova, Tanya Zenchenko, Irina Stoilova, Tamara Breus, Yuri Gurfinkel, Dimitar Maslarov***
Cerebral Pathology and Solar Activity. . . . . .143

***Антонио Андонов, Мариана Михова, Петър Димкин***
Принципът на инвариантността за компенсация на нелинейния ефект при предаване на сигнали. . . . . .148

***Зоя Хубенова***
Формиране на базови ментални модели на операторска дейност в сложни ергатични системи. . . . . .153

***Valentin Gospodinov***
Comparing Research on the Volume Dependence of the Grüneisen Ratio with Regard to Its Use in Shock Physics. . . . . 159

***Тинка Грозданова***
Трибоемисионни явления в металите при триене във вакуум . . . . . .165

***Тинка Грозданова***
Трибологични характеристики и явления в алуминиеви материали в космически условия . . . 168

***Слави Славов, Георги Сотиров, Мая Божилова***
Оценка на възможностите за противодействие на радиоуправляеми импровизирани взривни устройства с използване на предаватели на смущения монтирани на БЛА. . . . . 172

***Велко Велков, Слави Славов***
Систематизиране на критерии, признаци и параметри, прилагани за класификация на целите в системите за наблюдение, разузнаване и противодействие. . . . . 178

***Стоян Танев, Пламен Трендафилов, Христо Христов, Людмила Танева***
Компенсиране на дрейфа на изоелектричната линия в реално време при ЕКГ сигнали в условия на повишена физическа активност . . . . . 183

***Иван Димитров***
Никулицел - военен лагер на хан Аспарух. . . . . .189

***Session 3***
***Remote Sensing and Geoinformation Systems***

***Eugenia Roumenina, Lachezar Filchev, Georgi Jelev, Petar Dimitrov, Hristo Lukarski, Valentin Kazandjiev, Veska Georgieva***
Determination of Wheat Crop Status after Winter Using Simulated PROBA-V and Ground-Based Data . . . . . 197

***George Letchov***
LAI Development in Mixed Forest Inferred from Modis LAI/FPAR Data Product – Central Rhodope Mountains. . . . . .208

***Bozhidar Srebrov, Lyubka Pashova***
Investigation of the Influence of Strong Geomagnetic Storms on the Signal Parameters in GNSS Station SOFI. . . . . 214

***Ваня Найденова***
Визуална интерпретация и картографиране на свлачища по сателитни данни със свръхвисока пространствена разделителна способност. . . . . .222

***Ваня Найденова, Стефан Стаменов***
Картографиране на туристическите ресурси на район Нови Искър на базата на спътникови данни и ГИС. . . . . 229

***Стефан Стаменов***
Съвременно земно покритие и земеползване на територията на Външния град на средновековната българска столица Плиска по данни от сателитно изображение с висока разделителна способност. . . . . .236

***Богдана Мендева, Димитър Кръстев***
Влияние на слънчевата активност върху общото съдържание на озона. . . . . 241

***Юлия Крумова, Стоян Недков***
Карта на природното и културно наследство в Дунавската равнина – организация на база данни и дизайн. . . . . .245

***Валентин Атанасов, Георги Желев, Любомира Кралева***
Пространствена разделителна способност на спектрометрични системи. . . . . .251

***Петър Димитров, Александър Гиков***
Идентификация и картографиране на реликтните каменни ледници в Пирин планина чрез използване на аерокосмически изображения. . . . . .256

***Session 4***
***Ecology and Risk Management***

***Ралица Берберова***
Анализ на природните бедствия в България за периода 2004-2008 г. . . . . 267

***Ралица Берберова***
Уязвимост на България от природни бедствия. . . . . .276

***Румяна Кънчева, Георги Георгиев***
Връзка на спектралните характеристики на растителност с условия на околната среда. . . . . .283

***Georgi Georgiev, Rumiana Kancheva***
UVC Radiation on the Earth Surface and Wildfires Detection. . . . . .288

***Олеся Исайкина, Юрий Кукса, Игорь Шибаев***
Длительный мониторинг артериального давления и пульса. Сопоставление данных мониторинга с метеорологическими и геофизическими параметрами . . . . . 292

***Igor Shibaev, Vitaliy Ishkov***
Investigation of the Statistical Characteristics of Wolf Numbers Reliable Series: Signs of Solar Cycles Likelihood. . . . . .297

***Иван Димитров***
Мениджмънт на риска при горски пожари – човешки фактор. . . . . .302

***Boyko Ranguelov, Garo Mardirossian, Nadya Marinova, Edelweiss Spassov***
Early Warning Systems - EWS (Earthquakes and Tsunamis) and Their Effectiveness. . . . . .307

***Stojan Velkoski***
Retrospection on the Connections between Ancient Macedonian Medicine and Medicine of Modern Times . . . . . .313

# *Plenary Session*

# 30 ГОДИНИ СПЪТНИЦИ "БЪЛГАРИЯ-1300"

**Таня Иванова**

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

***Ключови думи:*** *програма „Интеркосмос", спътник „Интеркосмос-България-1300"*

***Резюме:*** *Едно от най-значимите български научни постижения в областта на космическата изследвания беше програмата "България-1300", осъществена през 1981 година в чест на 1300-годишнината от създаването на нашата държава, включваща два изследователски спътника. Първият спътник "Интеркосмос-България-1300" беше изстрелян на 07.08.1981 г. в почти полярна орбита с височина около 900 km, с комплекс от 11 български научни уреда за измерване на плазмата и за изучаване на йоносферно-магнитосферните взаимодействия, както и от лазерен отражател за геодезични измервания. Вторият спътник "Метеор-Природа" с научна апаратура за дистанционно изучаване на природните ресурси на Земята, разработена с участието на българските учени, беше изстрелян на 10.07.1981 г. на слънчево-синхронна орбита 650 km. Научните резултати, получени от обработването на спътниковата информация се използват от целия свят и се публикуват и до днес.*

# 30 YEARS "BULGARIA-1300" SATELLITES

**Tania Ivanova**

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

***Keywords:*** *"Intercosmos" Program, "Intercosmos-Bulgaria-1300" Satellites*

***Abstract:*** *One of the most important Bulgarian scientific achievements in the space research was the "Bulgaria-1300" Program, realized in 1981 in honor of the 1300$^{th}$ anniversary of the founding of our country, including two research satellites. The first satellite "Intercosmos-Bulgaria-1300" was launched on 07.08.1981 into nearly polar orbit with an altitude of about 900 km with a complex of 11 Bulgarian scientific instruments for space plasma measurement and studying the ionosphere-magnetosphere interactions, as well as the laser reflector for geodetic measurements. The second satellite "Meteor-Priroda" with scientific instrumentation for remote sensing, developed with the participation of Bulgarian scientists was launched on 10.07.1981 in 650 km sun-synchronous orbit. The scientific results from the processed satellite information are world wide used and published up to now.*

## Въведение

През 1967 година бе създадена програмата "Интеркосмос" за международно сътрудничество в изследването и използването на космическото пространство за мирни цели, която даваше възможност на всички страни от бившия социалистически лагер да участват в космическите изследвания в желаната от тях научна област и със своя научна апаратура, като използват безвъзмездно руската космическа техника и съоръжения. Академиците Любомир Кръстанов и Кирил Серафимов от Геофизичния институт (ГФИ) при БАН, извършиха огромна научно-организационна дейност, участвайки активно в създаването на тази програма, както и включването на България в нея.

Началото на организираното участие на българските учени в космическите изследвания датира от 1.11.1969 г., когато към Президиума на БАН беше създадена Група по физика на космоса, прераснала в Централна лаборатория за космически изследвания (1974 г.), а покъсно в Институт за космически изследвания (1987 г.). Областта на изследване бе йоносферата, както се нарича наелектризирания под влиянието на слънчевите лъчи слой от атмосферната обвивка на Земята, от която зависи до голяма степен живота на нашата планета. В тази област

българската наука бе създала своя мощна школа добила световна известност и съвсем закономерно бе избрана за проучвания и от Космоса с апаратура, монтирана на борда на спътници и ракети.

Първият български космически уред П-1, предназначен за директно измерване на параметрите на йоносферната плазма (температурата и концентрацията на йоните и електроните, както и масовия състав), беше изстрелян на борда на спътника “Интеркосмос-8” на 1.12.1972 г. България се нареди на 18-то място в списъка на "космическите държави", които пряко извеждат своя апаратура в Космоса, съгласно ратифицирания и от нашата страна договор за космическата дейност на държавите (приет от ООН през 1968г.). Така започна “космическата ера” за страната ни и през изминалите близо 40 години българските учени участваха активно в стотици интересни проекти в почти всички области на космическите изследвания. След П-1 бяха разработени и успешно изстреляни още цяла серия от български сондови уреди за директно изследване на йоносферата и високата атмосфера, които летяха на борда на спътниците “Интеркосмос -12,14 и 19”, както и на геофизичните ракети “Вертикал - 3,4,6,7 и 10”.

Вълнуващо събитие в космическата активност на България към края на 70-те години беше подготовката на научната програма и стартът на първия български космонавт Георги Иванов, след което България стана шестата поред в света държава със свой космонавт. Полетът, осъществен на 10-12 април 1979 година на борда на космическия кораб “Союз-33” съвместно с космонавта Никалай Рукавишников, беше изключително сложен и драматичен, тъй като поради повреда на двигателя не можа да се осъществи скачване с ОС „Салют-6”. Във връзка с полета българските учени разработиха апаратура за изследвания в областта на касмическата физика, космическата медицина и дистанционните методи, които бяха използвани от следващите екипажи.

Едно от най-значимите български научни постижения в областта на космическата изследвания беше програмата “България-1300”, осъществена през 1981 година в чест на 1300-годишнината от създаването на нашата държава. Идеята за програмата е на колектива от български учени К. Серафимов, Д. Мишев, М. Гогошев и И. Кутиев, а осъществяването й е в партньорство с Института за космически изследвания на Руската академия на науките (ИКИ-РАН). Изключително активна подкрепа имаха от акад. Б. Н. Петров, председател на “Интеркосмос”, както и от Председателя на БАН акад. А. Балевски.

Целта на космическата програма „България-1300” е постигането на съществени научни резултати в две области на космическите изследвания, в които нашата страна вече имаше свои традиции: космическата физика и дистанционното изследване на Земята от космоса. Така по програмата бяха изведени в орбита два големи изкуствени спътника на Земята тип „Метеор”. Първият спътник “Интеркосмос-България-1300” (ИК-Б-1300) беше изцяло оборудван с комплекс от българска научна апаратура за изучаване на йоносферно-магнитосферните взаимодействия, изстрелян на орбита с височина около 900 km. Програмата на втория спътник “Метеор-Природа” включваше участието ни с научна апаратура за дистанционно изучаване на природните образувания на Земята от по-ниска орбита (650 km).

Ръководители на програмата „България-1300” бяха акад. К. Серафимов и акад. А.Г. Йосифян, съответно от българска и руска страна. Директорът на ИКИ-РАН акад. Р.З. Сагдеев посочи за свой заместник и отговорник за проекта В.М. Балебанов. Директори и научни ръководители бяха: за “ИК-Б-1300” - Ст. Чапкънов, И. Кутиев и М. Гогошев/ В. Адаско, а за “Метеор-Природа” - проф. Д. Мишев/ проф. И. Ветлов.

**Спътникът “Интеркосмос-България-1300”**

Основната задача на първата част от програмата - в областта на космическата физика, е разкриването на механизма на пренос на енергия от Слънцето към Земята във времето и пространството. Задачата се усложнява от необходимостта от комплексен подход към изучаването на явленията, протичащи в йоносферата и магнитосферата. Инициативата на българските учени е не само за разработката на програмата за изследвания, но и за създаването на самите научни прибори и методиката за измервания.

Комплексът научна апаратура на спътника „ИК-Б-1300” (снимка на Фиг. 1) е предназначен за измервания на йоносферната плазма и високоенергийните потоци заредени частици, постоянни и променливи електрически и магнитни полета, светенето на високите слоеве на атмосферата в ултравиолетовия и видимия диапазон на спектъра [1].

Фиг. 1. Снимка на спътника “Интеркосмос-България-1300”, изцяло оборудван с българска научна апаратура за изследвания в областта на космическата физика

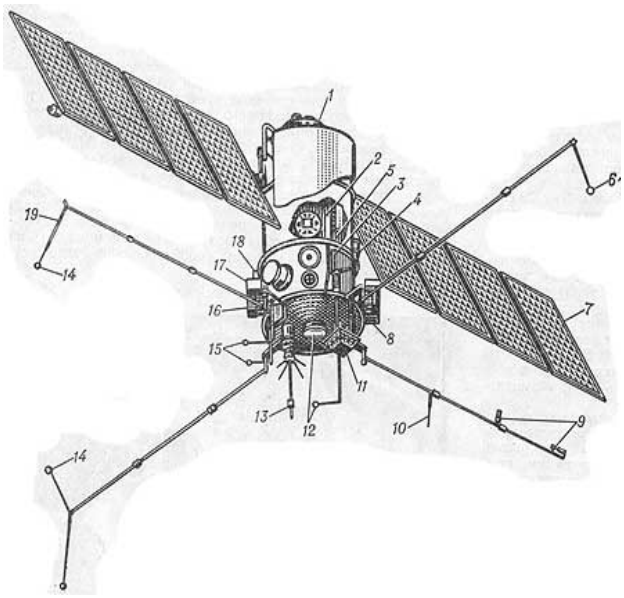
Спътникът „ИК-Б-1300” е изведен на 07.08.1981 г. от руския космодрум „Плесецк”, Архангелска област, на почти полярна орбита с наклон 81.2$^{o}$, перигей 825 km и апогей 906 km. Спътникът е с 2 панела слънчеви батерии, с ориентация на оста му по направление на радиуса на Земята с точност +/-1$^{o}$, с осигурена херметизация и темпериране на електрониката, разположена вътре в корпуса. Научният комплекс е съставен от 12 уреда - 11 от тях за магнитосферно-йоносферни изследвания и лазерен отражател за геодезични измервания. В Таблица 1 са дадени наименованието, предназначението и обозначението на всеки от тях, водещите български учени - физици и инженери, както и отговорниците (кураторите) от руска страна.

Таблица 1. Комплексът българска научна апаратура на спътника „ИК-Б-1300”

| № | Уреди и предназначение | Обозначение | Водещи учени |
|---|---|---|---|
| ***I. Плазмени изследвания:*** | | | |
| 1. | Йонен уловител | П6-ИЛ | Т. Иванова, Т. Самарджиев, С. Сапунова, Г.Л. Гдалевич |
| 2. | Йонен дрейф | ИД-1 | Л. Банков, Б. Киров, М. Гушева, В.Г. Истомин |
| 3. | Йоносферна плазма | П7-ЗЛ | Т. Иванова, К. Георгиева, П. Костов, В.Ф. Губский |
| 4. | Електронна температура | ДИЕТ | В. Марков, Д. Теодосиев, Х. Близнаков |
| 5. | Анализатор на маси и енергии на йони | АМЕЙ | П. Неновски, Й. Семкова, Р. Колева, О. Вайсберг, В. Смирнов |
| ***II. Измерване на потоци:*** | | | |
| 6. | Анализатор на нискоенергийни протони и електрони | АНЕПЕ | Ц. Дачев, И. Богомилов, Ю. Матвейчук, М. Телцов |
| 7. | Спектрометър протонни потоци | ПРОТОН-1 | К. Казаков, И. Георгиев, Н. Николаева |
| ***III. Измерване на електрически и магнитни полета*** | | | |
| 8. | Електростатични полета | ИЕСП | Г. Станев, Д. Теодосиев, М. Петрунова, В. Чмырев |
| 9. | Магнитно поле | ИМАП | А. Бочев, И. Аршинков, Л. Юсгов |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ***IV. Оптични измервания*** | | | |
| 10. | Ултравиолетова спектрометрична система | ФОТОН-1 | М. Гогошев, Б. Мендева, С. Сргойчев, Л.П. Смирнова |
| 11. | Спектрофотометър за видимата област | ЕМО-5 | М. Гогошев, Н. Петков, Ц. Гогошева, А. Кузмин |
| ***V. Геодезични измервания*** | | | |
| 12. | Оптическа лазерна светлоотражателна система | ОЛСС | Н. Георгиев, Ал. Хаджийски, Вл. Диков Г. Кръстев |

Комплексът научна апаратура е разположен в обърнатата към Земята част на космическия апарат, откъдето с помощта на датчикови системи събира информация за магнитното поле и за електрическото поле на Земята, параметрите на заобикалящата спътника плазма, както и оптичните емисии от йоносферата, намираща се под орбитата му. Много от датчиците са разположени на разгъващи се след старта щанги с различни дължини, за да се избегне влиянието на смущенията около корпуса на спътника върху измерваните параметри (Фиг. 2).



*3 – ултравиолетов фотометър ФОТОН-1*
*4 – измервател протони ПРОТОН-1*
*6 – измервател на електрост. полета ИЕСП*
*8 – оптичен електрофотометър ЕМО-5*
*9 – измервател на пост. магн. полета ИЕСП*
*10 – измервател йоносферна плазма П7-ЗЛ*
*11 – лазерен отражател ОЛСС*
*12 – измервател концентрация йони П6-ИЛ*
*13 – измервател магнитни полета ИМАП*
*14 – измервател електрост. полета ИЕСП*
*15 – измервател електр. температура ДИЕТ*
*16 – измервател на дрейфа ИД-1*
*17 – анализтор йони АМЕЙ*
*18 – анализатор йони и електрони АНЕПЕ*

Фиг. 2. Разположение на датчиците на уредите върху корпуса и на щанги на спътника „ИК-Б-1300”

**Описание на комплекса научна апаратура на „ИК-Б-1300”**

**1. Йонният уловител „П6-ИЛ”** е за измерване на йонната концентрация, неоднородности в нея и йонната температура в околоземната плазма [2]. Състои се от монтиран в корпуса Блок електроника, управляващ работата на уреда по зададена циклограма и частично обработващ получените волт-амперни характеристики и два датчика – триелектроден и четириелектроден сферични йонни уловители (Фиг. 3). Диапазоните на измерваните параметри са: йонната концентрация $N_i$ - $10^2 – 10^6$ $sm^{-3}$; йонната температура $T_i$ - 500 -5000 К и масовия състав $M_i$ - $H^+$, $He^+$, $O^+$. Отделно се изработва към всеки от уредите Контролно-изпитателен пулт (КИП Б-1300), имитиращ измерваните параметри и служебните системи на спътника по време на изпитанията.

**2. Уред за измерване на йонния дрейф „ИД-1”** - йонната концентрация $N_i$ - $10^2 – 10^6$ $sm^{-3}$, йонната температура $T_i$ - 500 -5000 К и надлъжната компонента на йонния дрейф се определят с помощта на плоска сонда на Ленгмюр [3]. Дрейфовата скорост на йоните в йоносферата напречно на посоката на движение на спътника в диапазона 0,1 - 4,5 km/s се определя с плоска сонда на сегментиран колектор.

Фиг. 3. Комплексът научна апаратура на йонния уловител П6-ИЛ включва Блок електроника, два сферични датчика монтирани на щанги извън корпуса и КИП Б-1300 за приемо-предавателни изпитания

**3. Уред „П7-ЗЛ" за измерване на йоносферната плазма:** електронната температура **-** $T_e$ – 1000 – 10 000 K и електронната концентрация $N_e$ - $5.10^2$ – $3.10^5$ $sm^{-3}$, както и масовия състав на йоните $M_i$ - $H^+$, $He^+$, $O^+$ [4]. Състои се от датчик (цилиндрична сонда на Ленгмюр) и блок електроника, в който се изработват и подават към датчика трионообразни напрежения с подходяща продължителност и амплитуда. Блокът осигурява работа на уреда по определена циклограма с цел да се намали взаимовлиянието между експериментите.

**4. Уред „ДИЕТ" за директно измерване на електронната температура** $T_e$ - 1000 – 6000 K и концентрацията на електроните $N_e$ - $5.10^3$ – $10^5$ $sm^{-3}$ в йоносферната плазма. Датчиковата система представлява две идентични позлатени сферични сонди на Ленгмюр с диаметър 80 sm. Работи на модулационен принцип.

**5. Анализатор на маси и енергии на йони „АМЕЙ" -** цилиндрични електростатични анализатори осъществяват енергийния анализ, а постоянен магнит - масовото разделяне с предварително ускорение на йоните до 1 keV [5]. Диапазон на измерване на енергии: 1-30 eV и 0,2 - 8 keV/заряд; диапазон по маси: 1 - 64 A.M.U. с разрешение - по енергия $\Delta E/E$ = 11% и 7% и по маси $M/\Delta M$ = 20.

**6. Анализатор на нискоенергийни протони и електрони „АНЕПЕ"** - за изследване на „гореща" магнитосферна плазма в енергиен диапазон 0,2-15 keV и механизми на ускоряване на заредените частици [6]. Деветканален анализатор на нискоенергийни потоци електрони и протони от три взаимноперпендикулярни посоки. Състои се от колимационна система, електростатичен цилиндричен анализатор, канален електронен умножител, зарядочувствителен усилвател, дискриминатор, формировател на логически импулс, блок логика за задаване на различни режими на работа, високоволтов генератор на стъпаловидно напрежение и високо напрежение за захранване на канални умножители. Чувствителност на поток: $10^3$-$10^9$ част/$cm^2$.ster.s.keV, разрешаваща способност по енергия: E = 22-40%, апертурен ъгъл: $10^0$ x $20^0$ и динамичен диапазон: $10^6$.

**7. Спектрометър ПРОТОН-1** - за измерване на пространствени и временни вариации на протонни потоци в 4 спектрални диапазона (90 кеV - 1 MeV) [7].Състои се от блок електроника и блок датчик, оформен на основата на повърхностнобариерен полупроводников силициев детектор. Колиматорната система е с ъгъл $20^o$, а магнитната система отклонява електроните с енергии до 500 кеV.

**8. Измерител на електростатичните полета „ИЕСП"** - измерва електричните полета (ЕП) по метода на двойната сонда, като чувствителните елементи са 4 сфери със стъкловъглеродно покритие, а магнитните полета (МП) с 2 ферозондови магнитометра [8]. Сферите и магнитометрите са разположени на отварящи се щанги на разстояние 4,5 m от спътника. Измерва: вектора на квазипостоянното ЕП в диапазона +/- 500 mV/m с разрешителна способност 0,6 mV/m и честота на запитване 12,5 Hz; вектора на ЕП в честотния диапазон 0,2-8 Hz в диапазона +/-100 mV/m с разрешителна способност 0,1 mV/m и честота на запитването 17

Hz; вектора на МП в честотния диапазон 0,2-8 Hz в диапазона +/-170 nT и +/- 17 nT с разрешителна способност 0,2 nT и 0,02 nT и честота на запитването 17 Hz; спектрите на една компонента на МП и ЕП с помощта на 8-канален филтров спектроанализатор с честота на запитването 12,5 Hz; автокорелационните функции на същите компоненти на МП и ЕП, като всяко от тях се изчислява за 0,63 s.

**9. Магнитометър „ИМАП"** измерва трите компоненти на интензитета на МП на Земята с цел изучаване на електрическите токове, течащи по силовите линии на МП (надлъжни токове), които играят важна роля във взаимовръзката между магнитосферата и йоносферата [9]. Блокът електроника е разположен в херметичния отсек на спътника, датчиците са монтирани на щанга с дължина 1.2 m. Разработен на приниципа на ферозондовите магнитометри с компенсираща намотка с диапазон на измерване: +/- 64 000 nT в честотния диапазон (3 дб) 0-1 Hz**,** разделителна способност 2,5 nT, точност 0.025 % и честота на запитване 12,5 Hz.

**10. Ултравиолетова спектрометрична система ФОТОН-1** - за изследване на вакуумния ултравиолет в диапазона 115-259 nm и измерва: спектъра в работния диапазон в зависимост от географската и геомагнитната ширина, местното време, слънчевата и гемагнитната активност; разпределението на концентрация на елементи в максимума на F слоя; разпределението на атомарния водород и спектралното разпределение на ултравиолетовите емисии в полярните сияния. Време за пълен цикъл на сканиране: 290 s, динамичен диапазон на интензивност: 100 R - 50 000 kR и ъгъл на полезрение $9^{o}$.

**11. Спектрофотометър ЕМО-5** - за изследване на временните и пространствените характеристики на оптични емисии от видимата част на спектъра [10]. Измерва интензивността на следните спектрални линии: 732, 630, 557,7 и 486,1 nm в подспътниковата точка. Съдържа две фотометрични системи: система филтри за периодично измерване на спектъра 16 s, счувствителност 5 R, динамичен диапазон $1.10^{4}$ и система пространствено сканиране 2 s, чувствителност 50 R и динамичен диапазон $0,5.10^{4}$.

**12. Оптическа лазерна светло-отражателна система (ОЛСС)** - за извършване на лазерна локация и се състои от 84 отражателни триъгълни призми, закрепени на дъното и на четирите страни на правилна пресечена четириъгълна пирамида с тегло само 4.5 kg и малки габарити. Локацията на спътника бе осъществена от 14 лазерни станции, разположени по целия свят и с над 2000 измервания на разтояния до него.

От партньорите ни в ИКИ-РАН са предоставени общо 750 сеанса с данни от уредите на комплекса научна апаратура, получени по телеметричната система на спътника „ИК-Б-1300" по време на 18-месечната му работа - първи сеанс 91 (13.08.1981) и последен 7893 (16.02.1983). Те са обработени в ЦЛКИ (ИКИ) - БАН и са заложени в Банката за данни от спътникови експерименти, обвързани с навигационните параметри за съответното универсално време. Към 2000 г. са прехвърлени в цифров вид на CD за по-добро съхраняване общо 395 сеанса: 189 за 1981 г., 191 за 1982 г. и 4 за 1983 г.

### Вторият спътник на програмата "България-1300"

Вторият спътник на програмата "България-1300" - „Метеор-Природа" за дистанционно изучаване на природните ресурси на Земята, бе изстрелян на 10.07.1981 г. Всички монтажни дейности и изпитания на апаратурите на спътника бяха извършени с непосредствено участие на българските учени и специалисти на космодрума "Плисецк", след което спътникът бе пренесен до "Байконур" и изведен в слънчево-синхронна орбита на височина 650 км; ъгъл на равнината на орбитата спрямо Екватора – $97^{o}$; период – 98 ± 1 мин; точност на ориентация по трите оси - $1^{o}$ [11].

Комплексът научна апаратура "Тангра" монтиран на борда на спътника, включваше както българските 32-канален спектрометър СМП32 и СВЧ-радиометър РМ1, така и руските СВЧ-радиометър РМ2 и сканер със средно разрешение МСУ-С (Таблица 2). Комплексът се разглеждаше като единна информационно-измервателна система в състава на която влизат първичните измервателни прибори, системата за единно управление на автономното функциониране и захранващите устройства.

Таблица 2. Българска научна апаратура на спътника „Метеор-Природа"

| № | Прибор | Обозначение | Основни характеристики |
|---|---|---|---|
| 1. | Многоканален спектрометър, във видимата и близката инфрачервена област | СМП-32 | Спектрален диапазон: 450 – 900 nm<br>Брой канали: 32<br>Ширина на спектъра на канал: 14 nm<br>Сканиране по спектър: електронно<br>Елемент на разрешение: 280 x 280 m |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2. | Микровълнов радиометър | РМ-1 | Работна дължина на вълната: 4 cm<br>Чувствителност при времеконстанта 1 sec: 0.7 K<br>Динамичен диапазон: 140 – 340 K<br>Времеконстанти: 0.5; 1.0; 2.0 sec<br>Ъглово разрешение на антената: 3 deg |
| 3. | Блок управление - Бордови компютър на базата на микропроцесор СМ600 | БУ | Данни: 8 разряда<br>Адресна магистрала: 16 разряда<br>Елементарен цикъл (такт): 2 μsec<br>Оперативна памет: 8 кбайта |

Специално е проектиран бордови компютър (БУ) с българско участие, който управлява работата на научните прибори, събирането, обработката и регистрацията на масивите от данни. Този високонадежден БУ поддържа всички комуникации с устройствата на самия космически апарат като управляващи команди, сигнали за единно бордово време, превключване на радио-комуникационни канали, избор на захранващи устройства и др.

Основната цел на изследванията с комплекса апаратура на спътника „Метеор-Природа" бе да се установи връзката между различни природни образувания и техните състояния с отразеното и излъчено електромагнитно лъчение във видимия и близкия инфрачервен и СВЧ диапазони на електромагнитния спектър. Към тези изследвания имаше изключително голям интерес, защото даваха нов вид описание на природните образувания и техните състояния чрез обективни физически характеристики.

Научната програма спомогна за решаване на задачи в областта на екологията, климатологията, корабоплаването, опазването на природните ресурси и много други. На тогавашния етап от развитието на космическите системи за изучаване на околната среда най-актуални бяха проблемите с идентификацията на различните природни обекти и оценката на тяхното състояние с необходимата за потребителите достоверност, както и отработката на методи за дистанционно измерване на параметрите на земната повърхност и атмосферата. Многоканалния спектрометър СМП32, с относително висока пространствена разделителна способност, бе използван в експерименти непосредствено свързани с обработката и анализа на многоканални спектрални видеоданни за различни еталонни природни обекти. Измерванията на микровълновото излъчване в избрани 4 спектрални интервала на СВЧ радиометрите РМ1 и РМ2 позволи да се изследва с висока точност динамиката на температурата на морската повърхност, пълното влагосъдържание на атмосферата, водното съдържание на облачната покривка над моретата и океаните, определяне на зоната на валежите, свойствата на ледената и снежната покривка.

Важна съставна част от работата по проекта беше създаването на наземни пунктове в София и Москва за приемане, първична обработка и регистрация на космическите данни, оборудване със съвременна изчислителна и регистрационна техника за съхраняване на спектрометрични, радиометрични и телеметрични данни на магнито-съвместими носители. За периода на работа на спътника, от 1981 г. до 1983 г. бе натрупан огромен обем научна информация. Експерименталните резултати бяха обобщени в сборник с научни доклади „Дистанционно сондиране на Земята със спътник "Метеор-Природа". Руско-български експеримент (Б-1300-II)".

През изминалите 30 години резултатите от обработената научна информация, получена от българската апаратура по телеметрията на двата спътника, са доклавани на много национални и международни научни форуми и има добро съвпадение с измервания от други спътници [12, 13]. По случай честването на 10-годишнината на програмата „България-1300" е съставен „Библиографски каталог - 1981-1991 г." от колегите К. Георгиева, А. Бочев и Л. Матеев под редакцията на акад. Д. Мишев, в който са успяли да съберат 236 научни трудове по тази тема. Това са монографии, публикации, доклади, авторски свидетелства, отразяващи научно-изследователската дейност по проекта, проведена в ЦЛКИ, ИКИ, ЦЛСЗВ, ГФИ, както и ИЗМИРАН и ИКИ-РАН - от руска страна. Не можахме да изясним точно колко са научните публикации по резултатите от изследванията досега, но при запитване с ключова дума „България-1300" на системата ADS на НАСА и Харвард излизат 187 публикации и 222 цитата, което определя разпознаваемост на работата ни по този проект и в световен мащаб. Като израз на признание на заслугите към честването на 1300-годишнината от създаването на българската държава, водещите учени на програмата „България-1300" получиха през 1981 г. юбилейни медали с грамоти, а през 1984 г. най-високите държавни отличия - ордени „Стара планина" и „Кирил и Методий".

Постигнатите в апогея на развитието на космическата наука у нас резултати се внедряваха и в практиката. Тази тенденция продължава и се развива особено силно в

последните години на криза, в които проектното финансиране е основният източник на средства за науката. Например включването ни в система за дистанционни изследвания на Земята чрез проекти финансирани от ЕС, за глобален мониторинг на околната среда и защита от природни бедствия, е приоритет за развитие на космическите изследвания у нас.

Изказвам сърдечна благодарност за предоставените материали на колегите от ИКИТ-БАН, участници в програмата „България-1300": Й. Семкова, М. Гушева, Ц. Дачев, Д. Петков, Г. Станев и Л. Банков, на вече пенсионералите се И. Кутиев, А. Бочев, Н. Банков, на Д. Димитров от НИГГГ-БАН за уреда ОЛСС, както и на Д. Борисова и И. Дандолов за техническата помощ при събирането на информацията.

**Литература:**

1. Serafimov, K., I. Kutiev, S. Chapkunov, M. Gogoshev, A. Bochev, Ts.Dachev, I. Ivanov, V. Adasko, V. Balebanov, A. Josifjan, I. Podgorni, N. Sheremetevsky. New Complex for Ionospheric-Magnetospheric Study "Intercosmos-Bulgaria-1300". *32 IAF-Congress*, Roma, 1981, Paper IAF-81-212.
2. Ivanova, T., T. Samardgiev., S. Halova, P. Kostov, G. Karamishev, I. Kutiev, G. GdalevIch. Spherical Ion Traps for "Intercosmos-Bulgaria-1300". *Adv. Space Res*., 1983, 2, 7, 21-25.
3. Bankov, L., M. Gousheva, B. Kirov, N. Bankov, Yu. Shulchishin, K. Greshnev, N. Nikolaeva. An Instrument for Total Ion Drift Velocity Measurements Aboard the "Intercosmos-Bulgaria-1300" satellite. *Adv. Space Res.*, 1983, 2, 7, 71-74.
4. Serafimov, K., L. Bankov, M. Gousheva, T. Ivanova, V.Markov, S.Chapkunov, I.Kutiev, V. Genov. Probe Experiment for Measurement of Plasma Parameters and Ion Drift Velocities in the Ionosphere Plasma aboard the Intercosmos Bulgaria 1300 Satellite. *Acta Astronautica*, 1982, 9, 10, 637-640.
5. NenovskI, P., Y. Semkova, R. Koleva, S. Chapkunov, N.Kanchev, N.Tabov, A.Kanchev, O. ValsberG, V. SmIrnov, G. Zastenker, A. LelbOv. The Ion Energy and Mass Analyzer onboard "Intercosmos-Bulgaria-1300". *Adv. Space Res.,* 1983*,* 2, 7, 27-30.
6. Ivanov, I., Ts. Dachev, P. Nenovski, Y. Semkova, R. Koleva, S. Chapkunov, I. KutIev, et al. Measuring Equipment for Energy, Ion, Proton, and Electron Fluxes aboard the Intercosmos-Bulgaria-1300 Satellite. *32 IAF Congress*, 1981, Roma, Paper IAF-81-218.
7. Gogoshev, M., S. Sargoichev, B. Komitov, I. Mendev, B. Taneva, V. Balebanov, L. Smirnova, V. Kurt, T. PerevodchIkova. Bulgaria-1300 UV Day Glow Spectra, Related to the Ozone Problem. *Adv. Space Res.*, 1983, 2, 6, 97-104.
8. Stanev, G., M. Petrunova, D. Teodosiev, I. Kutiev, S. Serafimov, S. Chapkanov, V. Chmurev, N. Isaev, P. Puschaev, I. Pimenov, S. Bilichenko. An Instrument for DC Electric and AC Electric and Magnetic Measurements aboard "Intercosmos-Bulgaria-1300" Satellite. *Adv. Space Res.*, 1983, 2, 7, 43-47.
9. Kutiev, I., A. Bochev, M. Gogoshev, M. Gerdgikova, Yu. Matviichuk, L. Bankov, N. Bankov. Energy Deposition in the Polar Ionosphere as Determined by Measurements aboard "Intercosmos-Bulgaria-1300" Satellite. Adv. Space Res., 1983, 2, 10, 97-100.
10. Gogoshev, M., N. Petkov, A. Kuzmin, Ts. Gogosheva, St. Spassov, I. Kostadinov. Airglow Atmospheric Imager on board the "Intercosmos-Bulgaria-1300" Satellite. *Adv. Space Res.*, 1983, 2, 7, 115-120.
11. Искуственный спутник земли „МЕТЕОР-ПРИРОДА" с научной аппаратурой по программе „Болгария-1300", ГНИЦ ИОС ПР СССР, Москва, 1981, 12.
12. Serafimov, K., S. Chapkanov, M. Gogoshev, I. Kutiev, M. Gousheva, T. Ivanova et al. First Results of the Bulgaria - 1300 Satellite Experiment. *Acta Astronautica*, 1983, 10, 5-6, 263-268.
13. Bankov, L.G., G.A. Stanev, A.K. Vassileva, V.A. Kirova, D.L. Danov, W.B. Hanson, R.A. Heelis, P.C. Anderson. A Case Study of Subauroral Ion Drift Velocity Jets by Means of Dynamics Explorer-2 and Intercosmos-Bulgaria-1300 Satellites Data. *Adv. Space Res.*, 1996, 17, 10, 193-200.

**Session 1**

# *Space Physics*

Chairmen: Corr. Member Peter Velinov, DSc,
Prof. Tsvetan Dachev
Secretary: Chief Assistant Maria Dimitrova

# СТРУКТУРА ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ ПРИ СЕРФОТРОННОМ УСКОРЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ ПАКЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

**Николай Ерохин[1], Людмила Михайловская[1], Надежда Зольникова[1], Румен Шкевов[2]**

*[1] Институт космических исследований – Российская академия наук*
*[2] Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Ключевые слова:*** *Космическая плазма, электромагнитные волны, серфотронное ускорение, фазовая плоскость, нелинейное уравнение, захват частиц, волновой пакет, релятивистский импульс*

***Абстракт:*** *На основе численного анализа исследована структура фазовой плоскости при серфотронном ускорении слаборелятивистских электронов пространственно локализованным пакетом электромагнитных волн с лоренцовской огибающей амплитуды в космической плазме. Исследован захват частиц волновым пакетом в режим ультрарелятивистского серфотронного ускорения с увеличением энергии зарядов на три порядка величины и более используя нелинейное уравнение для фазы пакета на несущей частоте в месте нахождения ускоряемой частицы. Для слаборелятивистских зарядов захват частиц в режим серфинга возможен и при невыполнении условия черенковского резонанса на начальном этапе их взаимодействия с пакетом. Изучена временная динамика процессов захвата и последующего ультрарелятивистского ускорения частиц с учетом их циклотронного вращения, рассмотрена структура фазовой плоскости исследуемого нелинейного уравнения. Показано, что для захваченной частицы фазовая плоскость имеет особую точку типа устойчивый фокус. При сильном ускорении наблюдается существенная локализация траекторий на фазовой плоскости в окрестности фокуса (конденсация ускоряемых зарядов на дно эффективной потенциальной ямы). Изучена временная, динамика компонент импульса захваченных электронов. Формулируются оптимальные условия для реализации максимального ультрарелятивистского серфотронного ускорения частиц пространственно локализованным волновым пакетом в космической плазме.*

# ON THE PHASE PLANE STRUCTURE FOR SURFATRON ACCELERATION OF ELECTRONS BY THE WAVE PACKET IN SPACE PLASMAS

**Nikolay Erokhin[1], Ludmila Mikhailovskaya[1], Nadezhda Zolnikova[1], Rumen Skevov[2]**

*[1]Space Research Institute – Russian Academy of Sciences*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Key words***: *Space plasma, electromagnetic waves, surfatron acceleration of electrons, phase plane, nonlinear equation, trapping of particles, relativistic impulse*

***Abstract***: *By numerical analysis it is investigated the phase plane structure for surfatron acceleration of weakly relativistic electrons in space plasmas by the electromagnetic waves packet having the Lorentz envelope of its amplitude. It is studied the particles capture by wave packet to the highly relativistic acceleration regime with their energy growth by thousand times and more on the usage of nonlinear equation for the wave packet phase at its central frequency on charge trajectory. In the case of weakly relativistic particles their trapping by wave packet is occurred even in situation when initially the condition of Cherenkov resonance isn't fulfilled. The temporal dynamics both of particles capture by wave packet and their following highly relativistic acceleration is studied taking into account the charge cyclotron rotation at initial times. The structure of phase plane for nonlinear equation considered is investigated. It has been shown that for trapped particles the phase plane has a special point like the stable focus. For the strong charges acceleration it is observed the significant localization of trajectories on phase plane near this point (the particles condensation to the bottom of effective potential). The temporal dynamics of trapped electrons impulse components has been studied. The optimal conditions to realize the maximum of electrons surfatron acceleration by the spatially localized wave packet in space plasmas are formulated.*

**Введение**

Исследование механизмов формирования потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме входит в число актуальных задач астрофизики и, в частности, оно представляет интерес для проблемы генерации космических лучей. При этом одним из главных механизмов формирования потоков ультрарелятивистских частиц является серфинг зарядов на электромагнитных волнах ( см., например, работы [1-16]). Соответственно для оценок возможного количества ускоренных частиц, их максимальной энергии, энергетических спектров необходим детальный анализ оптимальных условий для захвата заряженных частиц волновым пакетом в эффективную потенциальную яму с последующим ультрарелятивистским ускорением, а также эффективности ускорения в зависимости от исходных параметров задачи.

В настоящем докладе изложены результаты численных расчетов захвата слаборелятивистских зарядов и их последующего сильного серфотронного ускорения в магнитоактивной космической плазме при черенковском резонансе с пространственно локализованным пакетом электромагнитных волн, имеющим достаточно плавную лоренцовскую огибающую амплитуды. С учетом интегралов движения релятивистских уравнений для заряженных частиц задача сведена к исследованию нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для фазы пакета (на несущей частоте) на траектории частицы. Полагается что волновой пакет распространяется поперек достаточно слабого внешнего магнитного поля с максимальной амплитудой электрического поля выше некоторого порогового значения, что обеспечивает реализацию серфотронного механизма ускорения частиц. Отметим, что данный механизм работает и при наклонном (к внешнему магнитному полю) распространении волнового пакета.

Проведенные ранее численные расчеты показали, что имеется достаточно широкий диапазон благоприятных для реализации серфинга начальных фаз волнового пакета на несущей частоте, в котором при возникновении черенковского резонанса волна-частица имеют место захват и последующее ультрарелятивистское ускорение зарядов. При этом набор энергии захваченной частицей возрастает с увеличением характерной толщины области волнового пакета, в которой электрическое поле пакета волн выше порогового значения. Соответственно этому для ультрарелятивистского ускорения электронов, начальная кинетическая энергия которых была порядка $m_e c^2$, в расчетах полагается выполненным условие достаточно плавного изменения амплитуды волнового пакета в пространстве т.е. введенный ниже безразмерный параметр характерной толщины волнового пакета $\rho$ считается достаточно большим $\rho > 10^4$ , что вполне реалистично, например, для солнечной гелиосферы.

Для захваченных волновым пакетом частиц исследуется структура фазовой плоскости для нелинейного уравнения, в частности, при ультрарелятивистском ускорении возникновение на ней особой точки типа устойчивого фокуса. Численные расчеты показывают, что при достаточно сильном ускорении зарядов на фазовой плоскости траектория изображающей точки по спирали приближается к устойчивому фокусу. Физически это соответствует конденсации сгустка ускоряемых частиц на дно эффективной потенциальной ямы. После пересечения волнового пакета эти траектории раскручиваются удаляясь от фокуса. После вылета из эффективной потенциальной ямы амплитуда электрического поля волнового пакета становится ниже порогового для серфинга значения и наблюдается циклотронное вращение частиц во внешнем магнитном поле.

Кроме того численно исследована динамика компонент импульса и скорости ускоряемых заряженных частиц, их траектории с учетом гировращения во внешнем магнитном поле до захвата зарядов волной и после вылета из эффективной потенциальной ямы, а также зависимость эффективности ускорения от исходных параметров задачи, в частности, от фазовой скорости волны. Здесь следует отметить, что для начальной кинетической энергии электронов порядка $m_e c^2$ период их циклотронного вращения мал по сравнению с характерным временем ускорения. Поэтому разброс по энергии ускоренных частиц для разных начальных данных, но при неизменных параметрах волнового пакета оказывается сравнительно невелик.

Поскольку при обработке данных наблюдений потоков ультрарелятивистских зарядов в космическом пространстве был выявлен зависящий от космической погоды избыток числа частиц в некотором диапазоне их энергий (в солнечной гелиосфере это энергии порядка десятков-сотен Гэв) обсуждается вопрос о возможных причинах отклонения наблюдаемого спектра космических лучей от стандартного степенного закона. Из результатов выполненных численных расчетов также следует, что оптимальным условием существенного повышения максимальной энергии при серфотронном ускорении заряженных частиц является близость фазовой и групповой скоростей на несущей частоте пакета, а также согласование знаков поперечных к внешнему магнитному полю компонент импульса частиц. В противном случае

частица оставаясь захваченной передает энергию волне и меняет соотношение знаков поперечных компонент импульса.

Проведенный анализ серфотронного механизма ускорения представляет интерес для интерпретации экспериментальных данных по регистрации потоков релятивистских частиц в космических условиях включая гелиосферу, а также важен для обьяснения наблюдаемых в эксперименте особенностей в спектрах космических лучей.

**Основные уравнения и результаты численных расчетов**

Рассмотрим ускорение слаборелятивистских электронов электромагнитной волной p-поляризации с плавной лоренцовской огибающей ее амплитуды, распространяющейся вдоль оси x в магнитоактивной плазме поперек внешнего магнитного поля $\mathbf{H_O}$ , которое параллельно оси z. Частота волны соответствует верхнему гибридному резонансу. Соответственно полагаем, что фазовая скорость $\omega$ / $ck_x$ меньше скорости света в вакууме и возможен черенковский резонанс волны с ускоряемыми частицами, что необходимо для реализации серфотронного ускорения. Согласно проведенным ранее расчетам для используемых в численном моделировании значений параметров задачи электрическое поле волны можно считать электростатическим т.е. $E_x(x,t) = A \cos \Psi$, где $\Psi = \omega_0 t - k_0 x$, $\omega_0$ несущая частота пакета, $k_0 = k(\omega_0)$, а функция A(x,t) определяет плавную лоренцовскую огибающую амплитуды. Введем безразмерные переменные и параметры: $\boldsymbol{\beta} = \mathbf{v} / c$ - скорость электрона, $\sigma = e E_O / m c \omega_0$ – безразмерная амплитуда волнового пакета, $\tau = \omega_0 t$, $\xi = k_0 x$ , $\gamma = 1 /( 1 - \beta^2 )^{1/2}$ - релятивистский фактор частицы, $u = \omega_{He} / \omega_0$ , $\omega_{He} = e H_o / mc$ нерелятивистская циклотронная частота электронов, $E_O$ - амплитуда электрического поля в центре волнового пакета, $\mu = e A / m c \omega$. Заметим, что $\beta_x = \beta_p [1 - ( d\Psi/d\tau )]$, $\beta_p = \omega_0 / ck_0$ , а импульс электрона равен $\mathbf{p} = m c \gamma \boldsymbol{\beta}$.

С точки зрения пренебрежения нелинейными эффектами для ускоряющих волн будем полагать, что их амплитуды существенно ниже характерного поля релятивистской нелинейности т.е. выполнено условие $\sigma = e E_0 / m c \omega_0 << 1$. Захват частиц в режим серфотронного ускорения происходит в случае $\sigma > \sigma_c = u \gamma_p = u / ( 1 - \beta_p^2 )^{1/2}$ т.е. при амплитудах волны выше порогового для серфинга значения. Имеем связь $d \Psi / d \tau = 1 - ( \beta_x / \beta_p )$, $N = c k / \omega$ показатель преломления плазмы и соответственно $\beta_p = 1 / N$.

Запишем релятивистские уравнения движения для импульса ускоряемого электрона

$$d ( \gamma \beta_x ) / d\tau = - \Lambda \cos \Psi - u \beta_y$$

(1) $$\gamma \beta_z = \text{const} \equiv h$$

$$d ( \gamma \beta_y ) / d\tau = u \beta_x$$

$$d \gamma / d\tau = - \Lambda \beta_x \cos \Psi$$

где $\Lambda = \sigma / [ 1 + \{ ( \tau - \Psi ) / \rho \}^2 ]$ лоренцовская огибающая амплитуды волнового пакета, параметр $\rho$ в данной задаче считается достаточно большим для реализации ультрарелятивистского ускорения захваченных частиц $\rho = \omega_0 L / c \sim ( 10^4 \div 10^6 )$, здесь 2L характерная толщина волнового пакета. Используя (1) находим интеграл движения для ускоряемого электрона $J = \gamma \beta_y + u \beta_p ( \Psi - \tau ) = \text{const}$. С учетом выражения для интеграла J получаем формулы для релятивистского фактора $\gamma$ и компоненты скорости заряда (2) вдоль волнового фронта $\beta_y$ :

(2) $$\gamma = \{ 1 + h^2 + [ J + u \beta_p ( \tau - \Psi ) ]^2 \}^{1/2} / ( 1 - \beta_x^2 )^{1/2} , \beta_y = [ J + u \beta_p ( \tau - \Psi ) ] / \gamma.$$

Анализ ускорения зарядов с учетом лоренцовской огибающей амплитуды проводится на основе вытекающего из (1) нелинейного нестационарного уравнения для фазы волны $\Psi$ на траектории электрона

(3) $$d^2 \Psi / d\tau^2 - [ \Lambda ( 1 - \beta_x^2 ) / \gamma \beta_p ] \cos \Psi - (u \beta_y / \gamma \beta_p ) = 0.$$

Начальные данные для решения уравнения (3) берем в следующем виде $\Psi (0) = \Psi_0$ , $\Psi_\tau(0) = a$, причем $1 - N < a < 1 + N$. Соответственно имеем $\beta_x(0) = \beta_p ( 1 - a )$. Введем компоненты безразмерного импульса частицы $g_x = \gamma \beta_x$ , $g_y = \gamma \beta_y$ . Отметим, что условие $\sigma = \sigma_c$

определяет область, в которой происходит захват заряженной частицы в режим серфотронного ускорения.

Нелинейное уравнение (3) решалось численно с указанными выше начальными данными. Для достаточно больших времен ускорения, когда энергия частиц возрастает на порядки величин, численное решение должно выходить на следующие асимптотики для компонент скорости и релятивистского фактора заряда $\gamma(\tau) \approx u\, \beta_p\, \gamma_p\, \tau$ , $\beta_x(\tau) \approx \beta_p$ , $\beta_y \approx - 1 / \gamma_p$ , $\beta_z \rightarrow 0$. Заметим, что для электронов в асимптотике знаки поперечных компонент скорости различные $\beta_x\, \beta_y < 0$. Однако для позитронов они будут одного знака $\beta_x\, \beta_y > 0$.

Для нахождения диапазонов начальных фаз $\Psi(0)$, при которых происходит захват заряда в режим серфотронного ускорения волной, фиксировалась фазовая скорость волны $\beta_p$ из интервала (0, 1). Амплитуда волны σ выбиралась несколько выше порогового значения $\sigma_c$ , а именно $\sigma = 1.51\, \sigma_c$. Затем численными расчетами на относительно малых временах $\tau \sim 20000$ определялся диапазон начальных фаз, в котором имел место захват заряда в режим серфотронного ускорения волновым пакетом. При выборе параметра $\rho = 5 \cdot 10^4$ интервал счета брался равным $(0, 9 \cdot 10^4)$ поскольку вылет захваченной частицы из области, где поле волны было выше порогового для серфинга значения, происходил на временах $\tau$ порядка $8 \cdot 10^4$.

Рассмотрим результаты расчетов для следующего варианта выбора параметров задачи $h = 0.37$, $g_y(0) = 0.93$, $\beta_p = 0.71$, $u = 0.21$, $\sigma = 1.51\, \sigma_c$ , $\rho = 5 \cdot 10^4$ , $a = 0.1$ соответствующего слабо-релятивистским начальным энергиям заряженной частицы $\gamma(0) = 2.009$. В таблице 1 представлен ряд значений начальных фаз $\delta\Psi(0)$ и соответствующих им значений времени $\tau_c$, при которых происходит захват частицы пакетом в режим серфотронного ускорения. Начальное положение частицы соответствовало левой границе области, в которой поле волны выше порогового значения. Заметим, что в начальный момент времени имеется малая отстройка частицы от черенковского резонанса. После захвата частица с фазовой скоростью $\beta_p$ пересекает волновой пакет, движущийся с весьма малой групповой скоростью. Левая граница области захвата $\Psi_L$ оценивается по формуле $\Psi_L = \{ [ (\sigma / \sigma_c ) - 1 ] / \rho \}^{1/2}$. С учетом значений исходных параметров полагалось $\Psi(0) = \phi + \delta\Psi(0)$, $|\delta\Psi(0)| < 2 \cdot \pi$, где полагалось $\phi = 2\pi \cdot 5400$. С учетом значений исходных параметров полагалось $\Psi(0) = \phi + \delta\Psi(0)$, $|\delta\Psi(0)| < 2 \cdot \pi$, $\tau_0 = 90000$, $\phi = 2\pi \cdot 5400$.

Таблица 1.

| $\delta\Psi_0$ | -4.467 | - 4.1 | - 4.0 | - 3.5 | - 3.0 | - 2.5 | - 2.0 | - 1.5 | - 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\tau_c$ | 0 | 0 | 0 | 0 | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ |

Таблица 1а.

| $\delta\Psi_0$ | - 0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 3.5 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\tau_c$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | $> \tau_0$ | 623.75 | 0 | $> \tau_0$ | 13124 | $> \tau_0$ |

Как видно из таблиц 1 и 1а, зоны значений $\delta\Psi(0)$, соответствующих захваченным и пролетным частицам чередуются, что свидетельствует о сложной структуре нестационарного эффективного потенциала для нелинейного осциллятора $\Psi(\tau)$. При отсутствии захвата частицы волновым пакетом $\Psi(\tau)$ имея малые вариации в среднем возрастает пропорционально времени, а частица испытывает циклотронное вращение в левой части пакета. Рассмотрим подробнее расчеты для варианта выбора фазы $\delta\Psi(0) = 3.5$. При это захват заряда имеет место на временах $\tau_c = 13214$, а вылет после пересечения пакета при $\tau_d = 84335$. После захвата частицы пакетом наблюдаются вариации фазы в окрестности дна эффективной потенциальной ямы. Частица колеблется в области ускоряющих значений электрического поля волны. Причем среднее значение фазы по мере смещения заряда вдоль волнового пакета меняется в соответствии с амплитудой огибающей так, что средний темп ускорения частицы сохраняется. Начальное положение заряда соответствовало $\xi(0) = - 2.409 \cdot 10^4$ .

До захвата частицы пакетом заряд совершал циклотронное вращение как это видно из графиков на рис. 2 и рис. 3, здесь $\eta(\tau)$ смещение частицы вдоль волнового фронта (ось y).

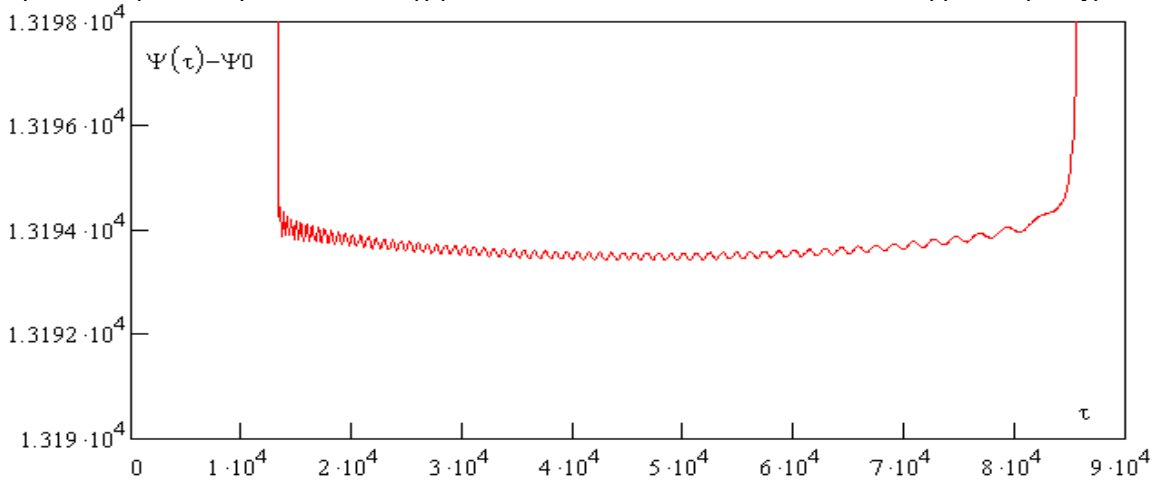



Рис. 1. Динамика фазы волнового пакета на траектории частицы.

Заметим, что согласно рис. 2 и рис. 3 для незахваченной частицы траектория на плоскости ($\xi$, $\eta$), перпендикулярной внешнему магнитному полю, существенно отличается от окружности. Видны значительные изменения амплитуды колебаний $\xi$, $\eta$.

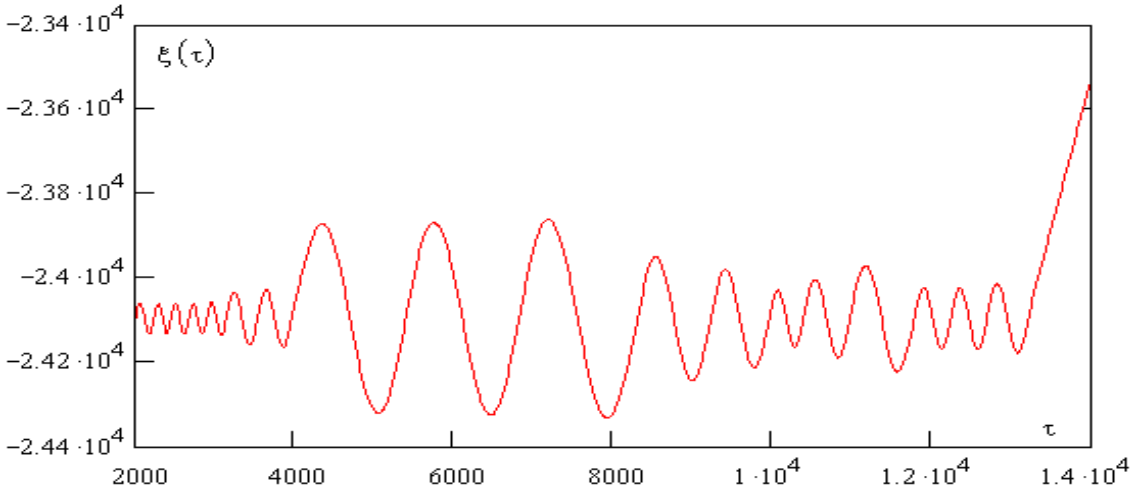



Рис. 2. Свободный заряд до захвата совершает циклотронное вращение.

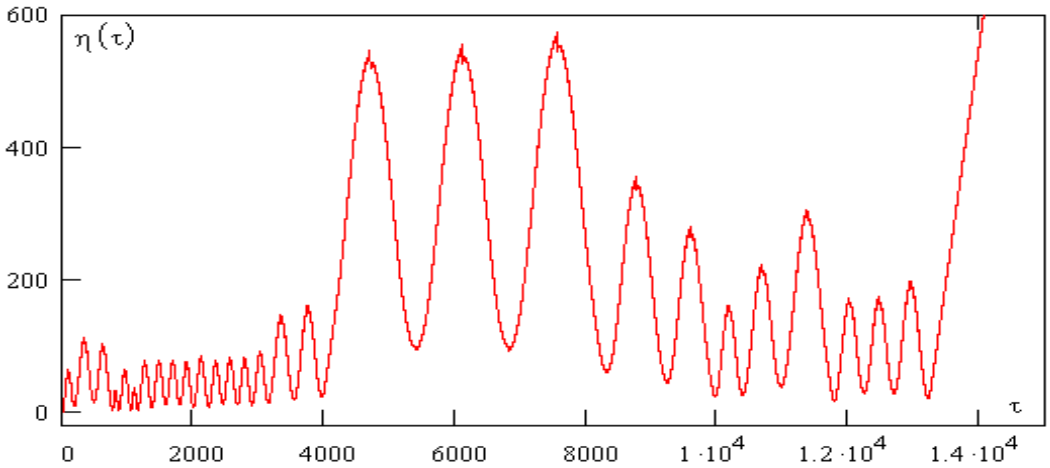



Рис. 3. Смещение частицы вдоль волнового фронта по оси y.

Это означает, что имеются существенные локальные изменения энергии незахваченной

частицы, представленные на рис. 4 графиком релятивистского фактора $\gamma(\tau)$ для интервала времени $\tau < 3000$.

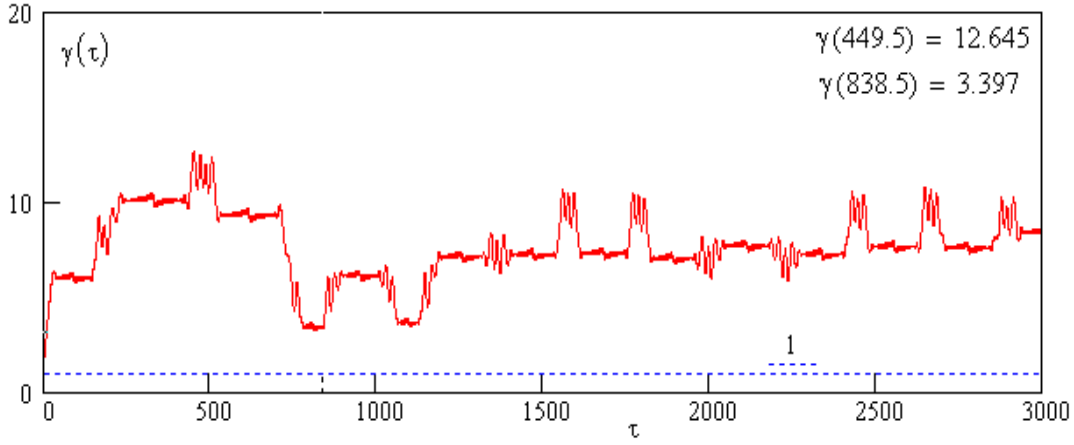



Рис. 4. Локальные изменения энергии незахваченной частицы.

Приведем график релятивистского фактора частицы для интервала времени $\tau$ до 90000. На рис. 5 показан график $\gamma(\tau)$ и его аналитической аппроксимации $M(\tau)$. Рис. 5 свидетельствует о том, что рост энергии частицы соответствует постоянному темпу ускорения пакетом.

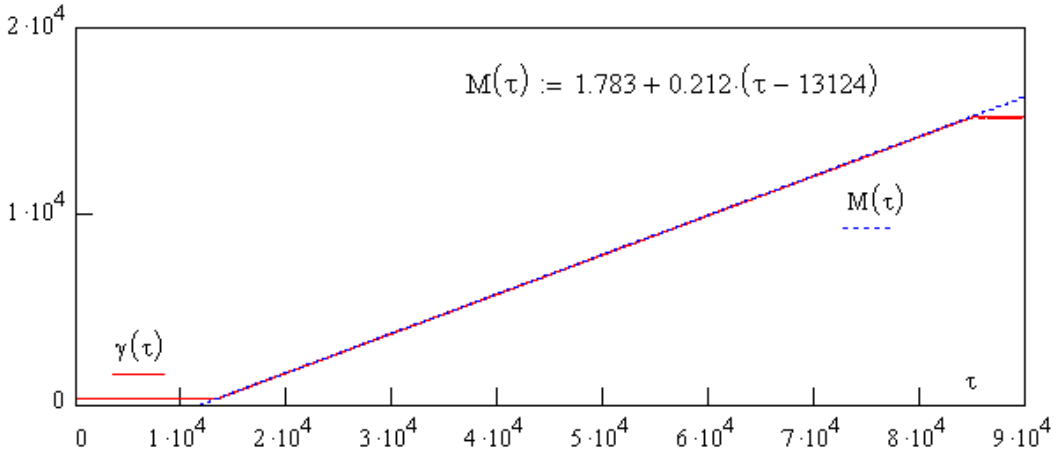



Рис. 5. График $\gamma(\tau)$ и его аналитической аппроксимации $M(\tau)$.

Временная динамика ускорения заряда определяется функцией cos $\Psi(\tau)$. Согласно расчетам захваченная частица находится в области ускоряющих полей, причем в центре волнового пакета, где амплитуда поля максимальна значение функции cos $\Psi(\tau)$ меньше.

Структура фазовой плоскости нелинейного осциллятора $\Psi(\tau)$ дана на рис. 6 для интервала времени $2{\cdot}10^4 < \tau < 6.9{\cdot}10^4$. Изображающая точка вращаясь по часовой стрелке движется справа налево к особой точке типа устойчивый фокус. В частности, для интервала $3{\cdot}10^4 < \tau < 7.02{\cdot}10^4$ структура фазовой плоскости такова. По мере приближения к моменту вылета частицы из эффективной потенциальной ямы траектория изображающей точки смещается направо, наблюдаются весьма малые значения производной фазы, что обусловлено большим ростом массы частицы при ультрарелятивистском ускорении ее волновым пакетом.

Отметим динамику поперечных компонент импульса частицы при серфотронном ускорении для интервала времени, когда частица еще не была захвачена пакетом. Они соответствуют циклотронному Динамика продольной (к внешнему магнитному полю) компоненты скорости заряда такова : по мере ускорения частицы продольная компонента значительно уменьшается в виду сохранения продольного импульса, однако наблюдаются и значительные вариации $\beta_z$ . Наконец отметим, что структура траектории заряда на поперечной плоскости существенно отличается от ларморовской окружности.вращению с заметными вариациями энергии заряда.

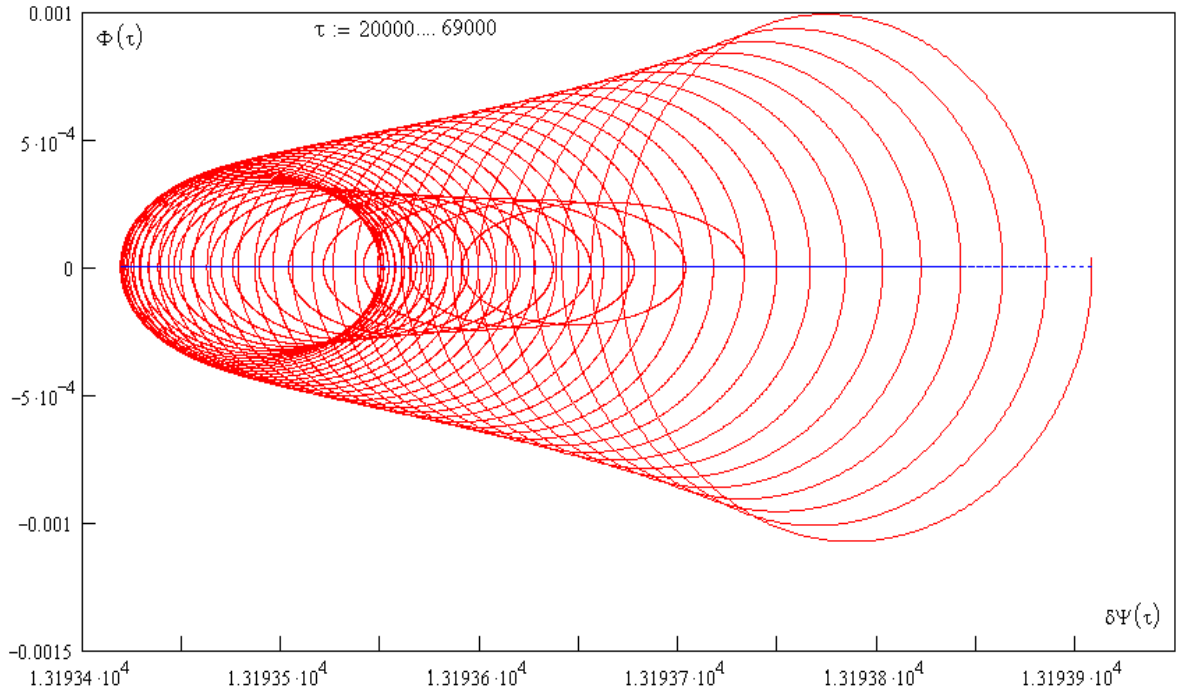



Рис. 6. Фазовая плоскость нелинейного осциллятора Ψ(τ).

**Заключение**

В работе изложены результаты численных расчетов динамики захвата и последующего ультрарелятивистского серфотронного ускорения электронов в магнитоактивной плазме при их взаимодействии с пространственно локализованным волновым пакетом, имеющим лоренцовскую огибающую амплитуды электрического поля. Полагая число ускоренных электронов малым и пренебрегая затуханием электромагнитных волн задача сведена к анализу нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для фазы пакета на несущей частоте в месте нахождения частицы. Волновой пакет распространяется поперек внешнего магнитного поля.

Изучена временная динамика характеристик ускоряемых частиц включая их захват и последующее длительное удержание в области ускоряющих напряженностей электрического поля волнового пакета. Показано, что при неблагоприятных условиях, соответствующих отстройке частицы от черенковского резонанса с волной, неблагоприятной начальной фазе пакета на несущей частоте для слаборелятивистских частиц их захват в режим серфинга на интервале времени численных расчетов может быть широкого диапазона начальных условий по прошествии некоторого времени. Поскольку начальный циклотронный период частицы во внешнем магнитном поле относительно мал заряд совершив ряд гирооборотов попадает в благоприятную для захвата волной фазу при одновременном выполнении черпенковского резонанса. После захвата происходит ультрарелятивистское ускорение частиц с ростом их энергии на 3÷4 порядка величины и более, если время захвата не слишком велико. Следовательно, число ускоренных волновым пакетом частиц может быть достаточно большим вследствие увеличения в пространстве начальных импульсов области, из которой заряды попадают в режим эффективного серфотронного ускорения. Показано, что во время сильного ускорения компоненты импульса и релятивистский фактор захваченной частицы возрастают практически с постоянным темпом. При отсутствии захвата происходит циклотронное вращение частиц и тем не менее в этом процессе возможно доускорение частиц с увеличение их энергии, например, на порядок.

Рассмотрена структура фазовой плоскости для нелинейного уравнения, описывающего сервотронное ускорение зарядов. Показано, что на фазовой плоскости изображающая точка движется по сжимающейся траектории вокруг особой точки типа устойчивого фокуса. При этом период колебаний частицы в эффективной потенциальной яме возрастает, амплитуда осцилляций снижается.

Согласно проведенным расчетам для реализации оптимального серфинга зарядов с ультрарелятивистским ускорением необходимо выполнить следующие условия : а) для захвата частицы волной ее амплитуда должна быть выше порогового значения; б) должен реализоваться черенковский резонанс волна-частица; в) фаза волны на траектории заряда

должна быть благоприятной для захвата частиц; г) знаки поперечных к внешнему магнитному полю компонент импульса заряда должны быть согласованы.

Зависимость эффективности ускорения частиц от величины фазовой скорости волны такова. При выборе релятивистских значений фазовой скорости волны наибольшее ускорение идет по направлению распространения волны, темп ускорения частиц наибольший, а при заданной толщине пакета энергия ускоренных электронов максимальна. В обратном случае – низких значений фазовой скорости основное ускорение происходит вдоль волнового фронта, а темп ускорения значительно снижается, например, на порядок. При заданной полуширине волнового пакета это означает существенное уменьшение максимальной энергии ускоренных электронов.

Проведенный численный анализ серфинга релятивистских зарядов на электромагнитных волнах представляет интерес для физики космической плазмы (см., например, [10-15]), в частности, для интерпретации экспериментальных данных по регистрации потоков релятивистских частиц в космических условиях включая околоземное пространство. Кроме того, как уже указывалось ранее одним из возможных механизмов генерации космических лучей является серфинг заряженных частиц на электромагнитных волнах.

Необходимо отметить, что генерация потоков ультрарелятивистских заряженных частиц в космической плазме характеризуется большой (в масштабе периода волны) длительностью взаимодействия и соответственно получаются весьма высокие энергии ускоренных частиц. В частности, в солнечной гелиосфере характерные энергии при серфотронном ускорении зарядов могут достигать десятков-сотен ГэВ [11]. Благодаря серфингу зарядов на электромагнитных волнах в относительно спокойных условиях в космической плазме возможна генерация потоков ультрарелятивистских заряженных частиц в окрестности сравнительно спокойных звезд и возникновение особенностей в их энергетических спектрах, связанных с существенным отклонением от стандартных степенных зависимостей [11].

**Литература:**


1. Katsouleas, N., Dawson J.M. Physical Review Letters, 1983, v.51, ¹ 5, p.392.
2. Joshi, C. Radiation in plasmas, 1984, v.1, No 4, pp.514.
3. Грибов, Б.Э., Р.З.Сагдеев, В.Д.Шапиро, В.И.Шевченко. Письма в ЖЭТФ, 1985, т.42, вып.2, с.54.
4. Буланов, С.В., А.С.Сахаров. Письма в ЖЭТФ, 1986, т.44, вып.9, с.421.
5. Ситнов, М.И. Письма в ЖТФ, 1988, т.14, вып.1, с.89.
6. Ерохин, Н.С., А.А.Лазарев, С.С.Моисеев, Р.З.Сагдеев. ДАН СССР, 1987, т.295, № 4, с.849.
7. Ерохин, Н.С., С.С. Моисеев, Р.З. Сагдеев. Письма в Астрономический журнал, 1989, т.15, № 1,с.3.
8. Ерохин, Н.С., Н.Н.Зольникова, А.Г.Хачатрян. Физика плазмы, 1990, т.16, вып.8, с.945.
9. Кичигин, Г.Н. ЖЭТФ, 1995, т.108, вып.10, с.1342.
10. Кичигин, Г.Н. ЖЭТФ, 2001, т.119, вып.6, с.1038.
11. Лозников, В.М., Н.С.Ерохин. Вопросы атомной науки и техники, сер.Плазменная электроника, 2010, № 4 (68), с.121.
12. Ерохин, Н.С., Н.Н.Зольникова, Е.Кузнецов, Л.А. Михайловская. Вопросы атомной науки и техники, сер.Плазменная электроника, 2010, № 4 (68), с.116.
13. Dieckmann, M.E., P.K.Shukl. Plasma Physics and Controlled Fusion, 2006, v.48, Issue 10, p.1515.
14. Wang De-Yu., Lu Quan-Ming. Advances in Space Research, 2007, v.39, Issue 9, p.1471.
15. Нейштадт, А.И., А.В.Артемьев, Л.М.Зеленый, Д.Л.Вайнштейн. Письма в ЖЭТФ, 2009, т.89, вып.9, с.528.
16. Kichigin, G.N., N.A. Strokin. Geomagnetism and Aeronomy, 2007, v.47, No.6, p.704.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И СКОРОСТИ ВЕТРА

**Николай Ерохин[1], Надежда Зольникова[1], Людмила Михайловская[1], Румен Шкевов[2]**

*[1]Институт космических исследований – Российская академия наук*
*[2]Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Ключевые слова:*** *нелинейная малопараметрическая модель, региональный циклогенез, тропические ураганы, температура поверхности океана, активный сезон.*

***Абстракт:*** *В рамках системы нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона (ТЦ), описывающих временную динамику мощного атмосферного вихря, продолжен численный анализ самосогласованной малопараметрической модели (МПМ) регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), позволяющей исследовать различные сценарии временной динамики РКЦ. Численными расчетами показано, что выбором исходных параметров МПМ возможно получить сезонный ход РКЦ с формированием в активном сезоне заданного числа ураганов. Модель описывает также вариации скорости ветра в ТЦ. Таким образом в рамках нелинейной малопараметрической модели можно изучать особенности временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, исследовать зависимость их характеристик от различных внешних факторов, в частности, космической погоды.*

# NONLINEAR DYNAMICS OF REGIONAL CYCLOGENESIS TAKING INTO ACCOUNT OCEAN SURFACE TEMPERATURE AND WIND VELOCITY VARIATIONS

**Nikolay Erokhin[1], Ludmila Mikhailovskaya[1], Nadezhda Zolnikova[1], Rumen Skevov[2]**

*[1]Space Research Institute – Russian Academy of Sciences*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Keywords:*** *nonlinear equations, small-parametric model, regional cyclogenesis, typhoon, wind velocity, ocean surface temperature, active season.*

***Abstract:*** *A variant of small parametric model (SPM) of regional large scale cyclogenesis (RLSC) is considered. Numerical analysis of self-consistent small parametric model SPM of regional large scale cyclogenesis RLSC was done within system of connected nonlinear equations for average wind velocity and ocean surface temperature in the tropical cyclone (TC) area, allowing different scenarios of RLSC and temporal dynamics of the powerful atmospheric whirlwind analysis based on SPM to be studied. Our calculations show that a suitable choice of the initial parameters of the SMP allows receiving the seasonal behavior of RLSC with hurricane cyclogenesis number in active season. This model also describes wind velocity variations in TC. Thereby, within the framework of nonlinear small parametric model, it becomes possible to study the temporal dynamics particularities of regional large-scale cyclogenesis in the active season, to investigate the dependency of their features from different external factors, for example, the space weather influence.*

## Введение

Одной из важных задач в современных исследованиях кризисных явлений в атмосфере является вопрос о прогнозе пространственно-временной динамики мощных крупномасштабных вихрей типа тропических ураганов, тайфунов и внетропических циклонов с учетом влияния солнечной радиации, солнечно-земных связей и других факторов [1-6]. Для описания

временной динамики тропического циклона ранее была предложена малопараметрическая нелинейная модель (МПМ) вихря в виде системы уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне тайфуна, которая достаточно реалистично описывает формирование крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии (ТД), его интенсификацию до уровня тайфуна и квазистационарную фазу [5,6]. Позднее было предложены обобщения МПМ, позволяющие изучать полный жизненный цикл тропических циклонов (ТЦ) включая стадию затухания вихря при его выходе на сушу либо вследствие смещения в область более холодной воды [2], а также исследовать возможность одновременного существования в заданном регионе двух ТЦ и их конкуренции [6]

Дальнейшее развитие малопараметрической модели [1] было связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, например, температуры поверхности океана, возможности многократной генерации ТЦ в заданном регионе, а также введением в задачу эффективных источников атмосферных возмущений, в частности, обусловленных солнечно-земными связями, вариациями потока солнечной радиации и др. В этой модели после генерации крупномасштабного мощного вихря (вследствие развития неустойчивости атмосферы) и последующего затухания ТЦ (по истечении некоторого времени) возможна подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации тропических циклонов по достижении ее параметрами пороговых для запуска неустойчивости значений.

Обобщенная нелинейная модель содержит свободные параметры и выбором их величин можно в определенной степени управлять временной динамикой регионального циклогенеза, например, можно менять количество образующихся в заданном регионе тайфунов в период активного сезона, их характеристики включая максимальную скорость ветра, продолжительность жизненного цикла каждого ТЦ, длительности интенсификации вихрей до уровня тайфуна и последующего их затухания.Таким образом вполне очевидно, что развиваемый на основе МПМ подход с учетом данных наблюдений по параметрам крупномасштабных возмущений типа ТЦ позволяет получить достаточно простую модель описания сезонного хода РКЦ в каждом регионе, что представляет большой научный и практический интерес, например, для разработки современных методик прогноза кризисных атмосферных явлений, их длительности и интенсивности. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы и пр.

В настоящей работе на основе обобщенных уравнений малопараметрической нелинейной модели описаны результаты проведенных численных расчетов сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра в ТЦ. Для этого в уравнения МПМ введен малый параметр, определяющий амплитуду вариаций скорости ветра. При этом можно также менять начало и конец активного сезона, число возникающих тайфунов и штормов в этот период, их характеристики. Интересно и то, что проведенный численный анализ решений МПМ выявил заметную чувствительность сценария динамики регионального циклогенеза к изменению величин исходных параметров. Следовательно, развиваемый подход к исследованию крупномасштабного регионального циклогенеза позволяет оптимизировать выбор параметров модели для заданного годового интервала, чтобы описать число образовавшихся ТЦ, времена их существования, максимальные скорости ветров и пр., которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данным наблюдений [4].

**Основные уравнения нелинейной малопараметрической модели и численный анализ их решений**

Для описания сезонного хода РКЦ с учетом нестационарности фоновой обстановки и внешних воздействий, как эффективных источников возмущений, можно использовать следующие уравнения МПМ [1-3]:

$$
\begin{aligned}
& dV/dt = \gamma\cdot( T - T_c )\cdot V - \mu\cdot V^2 + y(t), \\
(1)\quad & dT/dt = - b\cdot(T - T_1)\cdot V^2 + (T_f - T) / \tau, \\
& dT_f /dt = f(t) - \nu\cdot( T_f - T_O).
\end{aligned}
$$

В формулах (1) скорость V(t) измеряется в м/сек, температура T(t) в $^0$C, время t в сутках. Напомним, что интенсификация слабых синоптических возмущений начинается при температурах поверхности океана T(t) выше некоторого порогового значения $T_c$. В соответствие с рекомендациями работы [5] ниже будем полагать $T_c$ = 26.5 $^0$C, а для температуры холодной

воды, поднимающейся к поверхности океана, берем значение $T_1$ = 23 $^0$C. Необходимо отметить, что значение $T_c$ вообще говоря зависит от региона (Шарков, Покровская, 2009).

В уравнениях (1) источник f(t) описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция y(t) возникновение слабого ветра (при отсутствии тайфуна) малым внешним возмущением. В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, характеризуемые, например, числами Вольфа, явление Эль-Ниньо и др.

Чтобы учесть изменение фоновых условий в (1) для переменной температуры $T_f$ при расчетах динамики ТС использовалась следующая функция $T_f(t) = T_0 + \delta T_f(t)$, где

(2) $\delta T_f(t) = \delta T_1 [ 1 + th\ s_1(t) ] - \delta T_2 [ 1 + th\ s_2(t) ]$.

Здесь введены обозначения $s_1(t) = ( t - t_1 ) / \tau_1$ , $s_2(t) = ( t - t_2 ) / \tau_2$ , а $\tau_1$ , $\tau_2$ характерные времена изменения температуры $\delta T_f(t)$, причем полагается $t_1 < t_2$ . Отметим, что в зоне зарождения тайфуна температура $T_f(t)$ вначале возрастает на величину $2\cdot\delta T_1$ и при превышении порогового значения начинается крупномасштабная неустойчивость с генерацией ТС. В конце жизненного цикла ТС она уменьшается на $2\cdot\delta T_2$ (смещение тайфуна в область более холодной воды), что ведет к затуханию ТЦ. В случае описания временной динамики нескольких тайфунов формула для функции $\delta T_f(t)$ должна содержать несколько слагаемых типа указанных в выражении (2) с параметрами $\delta T_{n1}$ , $\delta T_{n2}$ , $\tau_{n1}$ , $\tau_{n2}$ , $t_{n1}$ , $t_{n2}$ для n-го тайфуна. Здесь следует указать, что представление (2) для функции $\delta T_f(t)$ является не единственным. В частности, согласно выполненным расчетам вполне подходит замена использованных в (2) функций размытого перехода $[1 + th\ s_n(t) ]$ на следующее выражение $\{ 1 + ( t - t_n ) / [\tau_n^2 + ( t - t_n )^2 ]^{1/2} \}$ с теми же параметрами $t_n$ , $\tau_n$ . Рассмотрим подробнее процесс генерации в активном сезоне регионального циклогенеза 6 < t < 103 четырех ТЦ в случае y(t) = 0, f(t) = 0, $\nu$ = 0. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление

(3) $\delta T_f(t) = G(t)\cdot\Sigma_n \{ \delta T_{1n}\cdot [ 1 + th\ s_{1n}(t) ] - \delta T_{2n}\cdot [ 1 + th\ s_{2n}(t) ] \}$,

$G(t) = 1 + \sigma\cdot\sin ( 2\cdot\pi\cdot t / 6.1 )$.

Ниже будут приведены графики скорости ветра и температуры поверхности океана для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1): $\gamma = 1$, $\mu = 3\cdot10^{-3}$, $b = 9\cdot10^{-4}$ , $\tau = 0.25$, $T_c = 26.5$ , $T_1 = 23$, $V(0) = 0.3$, $T(0) = 26$, $\delta T_{11} = 1$, $\delta T_{21} = 1.4$, $\delta T_{12} = 1.8$, $\delta T_{22} = 1.8$, $\delta T_{13} = 2$, $\delta T_{23} = 1.4$, $\delta T_{14} = 2.6$, $\delta T_{24} = 2.6$, $\tau_{1n} = \tau_{2n} = 1$, $t_{11} = 4$, $t_{21} = 20$, $t_{12} = 27$, $t_{22} = 47$, $t_{13} = 53$, $t_{23} = 65$, $t_{14} = 73$, $t_{24} = 96$.

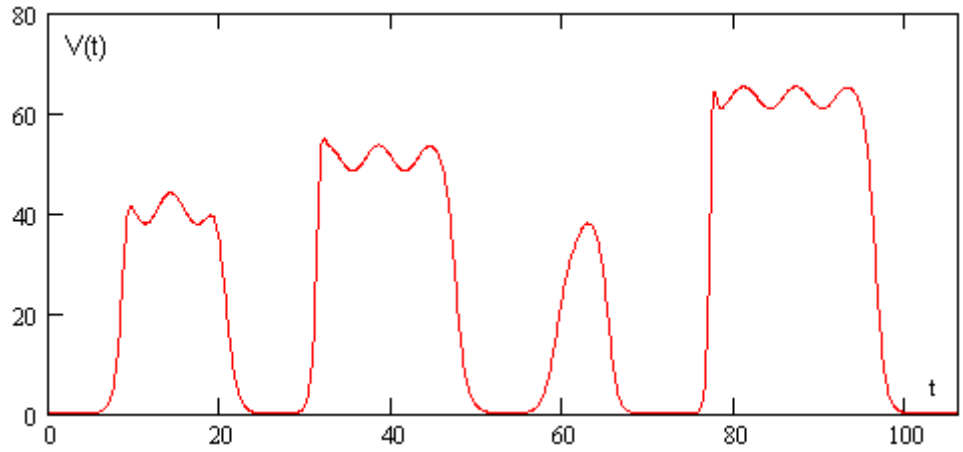



Рис.1. Скорость ветра в тайфунах V(t).

Для параметра $\sigma$, определяющего амплитуду вариаций скорости ветра в ТЦ, примем значение $\sigma$ = 0.008. На рис.1 дан график скорости ветра в тайфунах V(t).

Согласно рис.1 для выбранного значения параметра $\sigma$ вариации величины скорости ветра наблюдаются на квазистационарной стадии тайфунов и порядка 2.9 м / с. Длительность жизненного цикла третьего ТЦ невелика и такие вариации V(t) на графике не проявляются.

Отметим, что в среднем для первого ТЦ скорость ветра была близка к 41.7 м / с, а для четвертого она близка к величине 63.4 м / с.

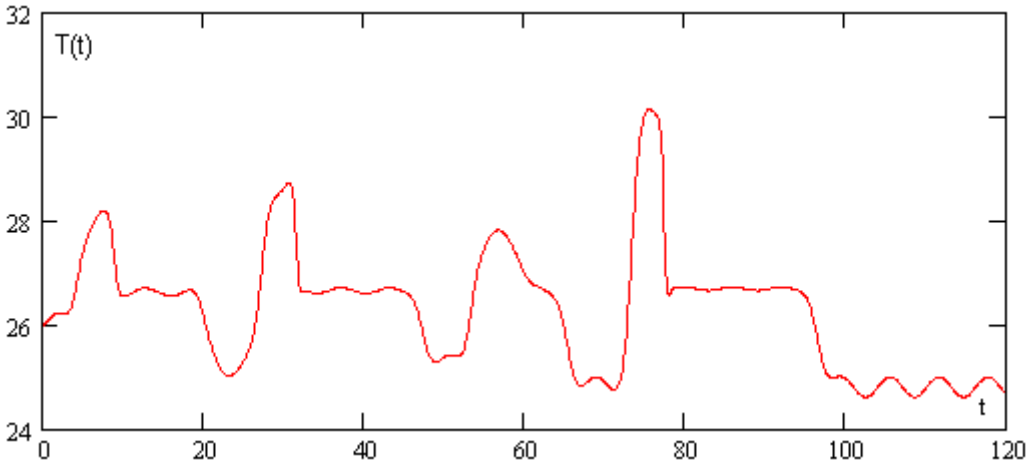



Рис. 2. Динамика температуры поверхности океана в зоне циклона.

Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ показана на рис. 2. Видно, что на квазистационарной стадии ТЦ вариации T весьма малы, порядка 0.1° C. Графики фоновой температуры $\delta T_f(t)$ при $\sigma$ = 0.008 (кривая 1) и для $\sigma$ = 0 (кривая 2) представлены на рис. 3. Амплитуда быстрых вариаций $\delta T_f(t)$ при $\sigma$ = 0.008 порядка 0.2° C.

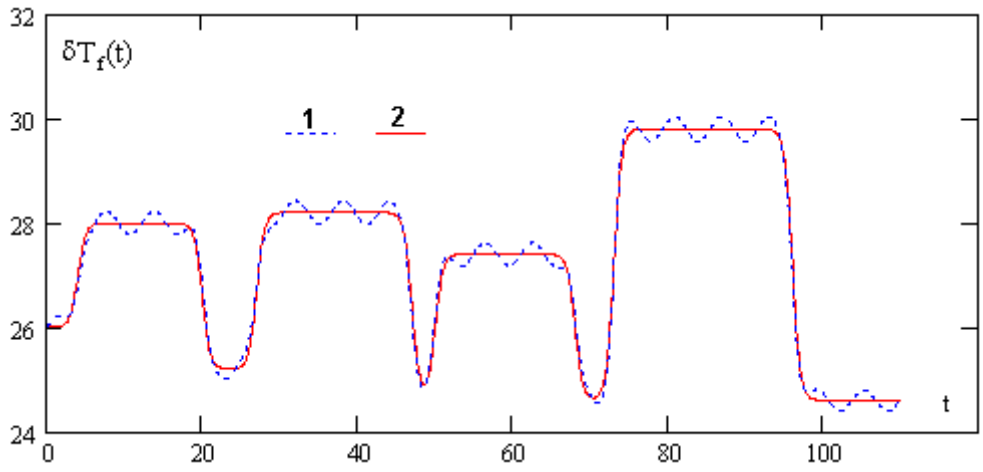



Рис. 3. Фоновая температура $\delta T_f(t)$ при разных значений вариации величины скорости ветра.

Для сравнения рассмотрим результаты расчетов для случая $\sigma$ = 0.015 при неизменных прочих параметрах задачи. График скорости V(t) показан на рис. 4. Согласно рис. 4 в данном варианте амплитуда вариаций скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ существенно больше – порядка 5.5 м / с. Для амплитуды вариаций температуры поверхности океана в зоне тайфунов на квазистационарной стадии ТЦ получаем 0.19° C, что в 2 раза меньше амплитуды быстрых вариаций $\delta T_f(t)$.

Таким образом выполненный в настоящей работе численный анализ динамики сезонного хода крупномасштабного регионального тропического циклогенеза (РКЦ) подтвердил, что в рамках малопараметрической, нелинейной модели путем подбора исходных параметров задачи, учета нестационарности фоновой обстановки, можно получать различные сценарии генерации тропических циклонов и полярных ураганов в активном сезоне с существенными вариациями скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ и отсутствие кризисных событий в остальное время года. Вполне очевидно, что при соответствующем подборе параметров модели расчетные характеристики ТЦ будут соответствовать данным наблюдений крупномасштабного циклогенеза в исследуемом регионе.

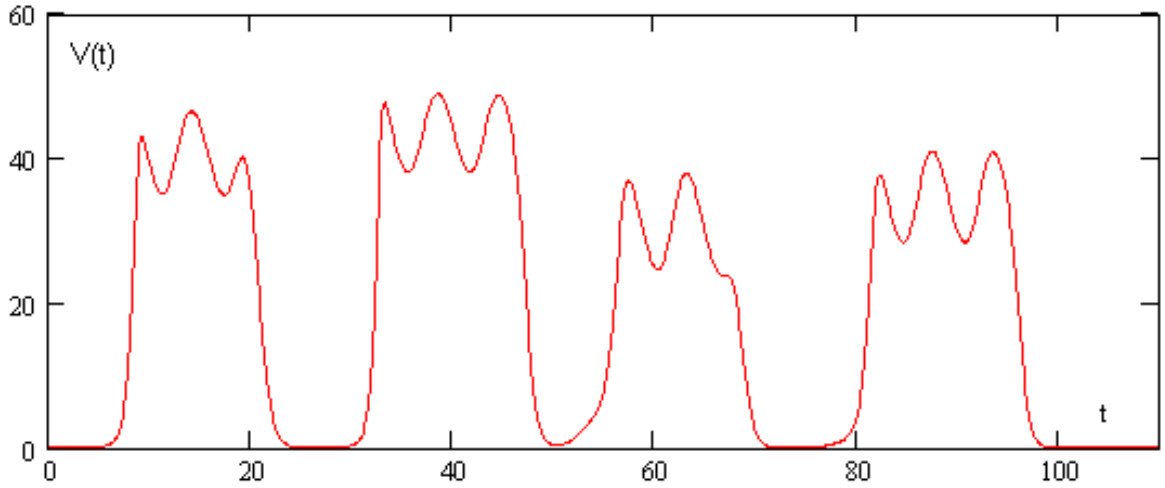



Рис. 4. График скорости ветра в тропическом циклоне.

Данные наблюдений РКЦ, в частности, спутниковой аппаратурой необходимы для обоснованного выбора исходных параметров в нелинейной малопараметрической модели, решения которой будут соответствовать характеристикам сформировавшихся в конкретном регионе ТЦ, а также для правильного описания влияния внешних источников на крупномасштабный тропический циклогенез с помощью эффективных схем параметризации в численном исследовании пространственно-временной динамики ТЦ. Представляет интерес учет в последующих исследованиях крупномасштабного циклогенеза существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

**Заключение**

Результаты проведенного исследования можно сформулировать следующим образом. Проведено дальнейшее обобщение МПМ для описания возможности вариаций скорости ветра в тафуннах на квазистационарной стадии их жизненного цикла. Показано, что на основе обобщенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций космической погоды и др., которые ранее рассматривались на основе метода корреляционного анализа. Предлагаемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов позволяет получить аналитическую модель сезонного хода интенсивности циклогенеза в конкретном регионе, что представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений и моделирования их связей с другими процессами.

Можно полагать, что в данном подходе удастся получить обьяснение наблюдаемых трендов интенсивности крупномасштабного циклогенеза на временных интервалах порядка 11-летних циклов солнечной активности. Как известно, корреляционные связи между солнечной активностью и кризисными процессами в нижней атмосфере была замечены сравнительно давно. Однако позднее, более детальные исследования на временных интервалах большей длительности выявили их изменчивость. В частности, выяснилось, что эти связи могут ослабевать, исчезать или даже менять знак. Например, ослабив в исходных данных наблюдений влияние явления Эль-Ниньо на тропический циклогенез удалось выявить 11-летнюю цикличность в тропическом циклогенезе для северо–западной части Тихого океана и показать, что она находится в противофазе с солнечной активностью. Исследование данного вопроса на основе малопараметрической модели циклогенеза планируется выполнить в последующих работах.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-00060) и программы ОФН-11 РАН.

**Литература:**


1. Ерохин, Н. С., Н. Н. Зольникова, Л. А. Михайловская. Малопараметри-ческая модель сезонного хода регионального циклогенеза. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып.5. Т.1. С.546-549.
2. Ерохин, Н. С., Л. А. Михайловская, Н. Н. Ерохин. Нелинейная модель описания временной динамики полного жизненного цикла тропического урагана. // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник трудов. Изд-во МИФИ, Москва. 2007. Т.5. С.72-73.
3. Михайловская, Л. А., Н. С. Ерохин, Н. Н. Зольникова, Р. Шкевов. Аналитическая модель регионального крупномасштабного циклогенеза с переменным числом кризисных событий. // Международная конференция МСС-09 ″Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность″. Сборник трудов. Изд-во ″URSS″, Москва. 2009. С.329-334.
4. Покровская, И. В., Е. А. Шарков. Тропические циклоны тропические возму-щения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 ( 1983-2000). // М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
5. Ярошевич, М. И., Л. Х. Ингель. // Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера. ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397-400.
6. Ярошевич, М. И., Л. Х. Ингель. Опыт ″синергетического″ подхода к исследованию взаимодействия тропических циклонов. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т.42. № 6. С.1-5.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# PROFILE OF THE SPACE RADIATION BETWEEN EARTH SURFACE AND MOON ORBIT

**Tsvetan Dachev**

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

***Keywords:*** *Space radiation, Space weather, Dosimetry, Spectrometry*

***Abstract:*** *Since 2000 scientists from Space and Solar-Terrestrial Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences contributed with Bulgarian build instruments in number of experiments for measurements of the incoming space radiation fluxes and dose rates from Earth Surface to the Moon Orbit. This paper summarizes the results obtained by different instruments on the ground and in aircraft, balloon, rocket, and on Earth, and Moon spacecraft. Data from these experiments are analyzed, compared and plotted to reveal harmonized picture how the different ionizing radiation sources contribute and build the space radiation altitudinal profile from the earth surface to the moon orbit.*

# ПРОФИЛ НА КОСМИЧЕСКАТА РАДИАЦИЯ МЕЖДУ ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ И ОКОЛОЛУННА ОРБИТА

**Цветан Дачев**

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

***Ключови думи:*** *Космическа радиация, Космическо време, Дозиметрия, Спектрометрия*

***Абстракт:*** *Учените от Института за космически и слънчево-земни изследвания на Българската академия на науките след 2000 г. участваха с български прибори в серия от експерименти за измерване на дозата и потока космическа радиация от повърхността на Земята до окололунна орбита. Тази статия сумира резултатите получени с различни прибори, както на земната повърхност и в атмосферата със самолети, балони и на спътници на Земята и Луната. Получените от тези експерименти данни са анализирани, сравнени и представени като единен, синтезиран, високочинен профил на разпределението на дозата и потока космическа радиация от земната повърхност до окололунна орбита.*

## 1. Introduction

The radiation field around the ISS is complex, composed by galactic cosmic rays (GCR), trapped radiation of the Earth radiation belts, solar energetic particles, albedo particles from Earth's atmosphere and secondary radiation produced in the shielding materials of the spacecraft and in biological objects.

### 1.1. Galactic cosmic rays

The dominant radiation component in near Earth and Moon space environment are the galactic cosmic rays (GCR) modulated by the solar activity. The GCR are charged particles that originate from sources beyond our solar system. They are thought be accelerated at the highly energetic sources like neutron star, black holes and supernovae within our Galaxy. GCR are the most penetrating of the major types of ionizing radiation. The distribution of GCR is believed to be isotropic throughout interstellar space. The energies of GCR particles range from several tens up to $10^{12}$ MeV nucleon$^{-1}$. The GCR spectrum consists of 98% protons and heavier ions (baryon component) and 2% electrons and positrons (lepton component). The baryon component is composed of 87% protons, 12% helium ions (alpha particles) and 1% heavy ions (Simpson, 1983). Highly energetic particles in

the heavy ion component, typically referred to as high Z and energy (HZE) particles, play a particularly important role in space dosimetry (Benton and Benton, 2001). HZE particles, especially iron, possess high-LET and are highly penetrating, giving them a large potential for radiobiological damage (Kim et al., 2010). Up to 1 GeV, the flux and spectra of GCR particles are strongly influenced by the solar activity and hence shows modulation which is anti-correlated with solar activity.

### 1.2. Trapped radiation belts

Radiation belts are the regions of high concentration of the energetic electrons and protons trapped within the Earth's magnetosphere. There are two distinct belts of toroidal shape surrounding Earth where the high energy charged particles get trapped in the Earth's magnetic field. Energetic ions and electrons within the Earth's radiation belts pose a hazard to both astronauts and spacecraft. The inner radiation belt, located between about 0.1 to 2 Earth radii, consists of both electrons with energies up to 10 MeV and protons with energies up to ~ 100 MeV. The outer radiation belt (ORB) starts from about 4 Earth radii and extends to about 9-10 Earth radii in the anti-sun direction. The outer belt mostly consists of electrons whose energy is not larger than 10 MeV. The electron flux may cause problems for components located outside a spacecraft (e.g. solar cell degradation). They do not have enough energy to penetrate a heavily shielded spacecraft such as the ISS wall, but may deliver large additional doses to astronauts during extra vehicular activity (Dachev et al., 2009). The main absorbed dose inside the ISS is contributed by the protons of the inner radiation belt. The South-Atlantic Anomaly (SAA) is an area where the radiation belt comes closer to the Earth surface owing to a displacement of the magnetic dipole axes from the Earth's center. The daily average SAA doses reported by Reitz et al.(2005) inside of the ISS vary in the range 74-215 $\mu$Gy $d^{-1}$ for the absorbed dose rates and in the range 130-258 $\mu$Sv $d^{-1}$ for the averaged equivalent daily dose rates.

### 1.3. Solar Energetic Particles (SEP)

The SEP are mainly produced by solar flares, sudden sporadic eruptions of the chromosphere of the Sun. High fluxes of charged particles (mostly protons, some electrons and helium and heavier ions) with energies up to several GeV are emitted by processes of acceleration outside the Sun. The time profile of a typical SEP starts off with a rapid exponential increase in flux, reaching a peak in minutes to hours. The energy emitted lies between 15 and 500 MeV $nucleon^{-1}$ and the intensity can reach 104 $cm^{-2}$ $s^{-1}$ $sr^{-1}$. Electrons with energies of ~0.5 to 1 MeV arrive at Moon, usually traveling along interplanetary field lines, within tens of minutes to tens of hours. Protons with energies of 20 to 80 MeV arrive within a few to ~10 hours, although some high energy protons can arrive in as little as 20 minutes. SEP are relatively rare and occur most often during the solar maximum phase of the 11-year solar cycle. In the years of maximum solar activity up to 10 flares can occur, during the years of minimum solar activity only one event can be observed on average (Lantos, 1993).

### 1.4. Lunar albedo radiation

The lunar albedo radiation (principally neutrons) (De Angelis et al., 2005) is produced by the interactions of GCRs and SEPs in the surface. The neutron albedo can contribute as much as ~20% to the effective dose when the radiation environment is dominated by GCRs, whereas when SEPs dominate, the neutrons contribute ~2% to the effective dose (Kim et al., 2010).

## 2. Instruments description

The main purpose of Liulin type Deposited Energy Spectrometer (DES) is to measure the spectrum (in 256 channels) of the deposited energy in the silicon detector from primary and secondary particles at the aircraft altitudes, at Low Earth Orbits (LEO), outside of the Earth magnetosphere on the route and on the surface of the planets of Solar system. The DES is a Liulin type (Dachev et al. 2002) miniature spectrometer-dosimeter containing: one semiconductor detector, one charge-sensitive preamplifier, 2 or more microcontrollers and a flash memory. Pulse analysis technique is used for the obtaining of the deposited energy spectrum, which further is used for the calculation of the absorbed dose and flux in the silicon detector. The unit is managed by the microcontrollers through specially developed firmware. Plug-in links provide the transmission of the stored on the flash memory data toward the standard Personal Computer (PC) or toward the telemetry system of the carrier. DES sensitivity was proved against neutrons and gamma radiation (Spurny and Dachev, 2002, 2009), which allows monitoring of the natural background radiation also.

For the analysis of altitudinal profile of the space radiation since 2000 following Liulin type spectrometers were used in near Earth and Moon radiation environment on different carriers:

- Liulin-MDU1 launched on 14$^{th}$ of June 2000 at ESA balloon flight up to 29 km over the Gap town, France;

- Mobile Dosimetry Unit MDU#1 of Liulin-4U instrunent was used on the Deep Space Test Bed (DSTB) during the 8 June 2005 certification flight from Ft. Sumner, New Mexico up to 37.3 km altitude (Benton, 2005). It was a part of the NASA Space Radiation Shielding Program, Marshall Space Flight Center;
- Mobile Dosimetry Unit MDU-5 was used between 5$^{th}$ of June and 29$^{th}$ of July 2005 on aircraft of Czech Airlines (CSA) at different routes. The experiments and data analysis were managed by Prof. F. Spurny (Spurny and Dachev, 2009);
- Radiation Risks Radiometer-Dosimeter (R3D) for Biopan (R3D-B) with 256 channels ionizing radiation monitoring spectrometer and 4 channels UV spectrometer known as R3D-B2 was successfully flown 31 May – 16 June 2005 inside of the ESA Biopan 5 facilities on Foton M2 satellite. The operation time of the instrument was about 20 days for fulfilling of the total 1.0 MB flash memory with 60 sec resolution (Häder et al., 2009);
- RADOM instrument was launched successfully on Indian Chandrayaan-1 satellite on 22nd of October 2008. It starts working 2 hours after the launch with 10 seconds resolution behind about 0.45 g.cm$^{-2}$ shielding. The instrument sends data for number of crossings of the Earth radiation belts and continues to work on 100 and 200 km circular lunar orbit measuring mainly the GCR environment (Dachev et al., 2009, 2011).

## 3. Scientific results

### 3.1. Example for the space radiation distribution from Earth to orbit of Foton M2 satellite

The doses of ionizing radiation were measured continuously from 24 May to 12 June 2005 on Foton M2 satellite with the R3D-B2 instrument (Häder et al., 2009). Figure 1 shows three important periods recorded at 1-min resolution in the time interval 25 May-3 June 2005. Moving averages curves over 30 points for dose rate (heavy dashed line) and dose to flux ratio were plotted on the figure. The lowest doses in the left part of the figure were obtained after 16:00 UT on 24 of May 2005 when the mounting of R3D-B2 into the Biopan 5 facility occurred. These few different values obtained in Nederland, Russia and Kazakhstan of about 0.08 μGy h$^{-1}$ are comparable with the natural background radiation with a world mean value about 0.0585 μGy h$^{-1}$ (Ghiassi-nejad, 2002). Two maxima occur during the two aircraft flights from Amsterdam to Samara, Russia and from Samara to Baikonur. The highest dose rate values obtained during the flights were about 3.2 μGy h$^{-1}$ for the first flight and 2.3 μGy h$^{-1}$ for the second flight. The difference is produced most probably by different altitudes of the flights.

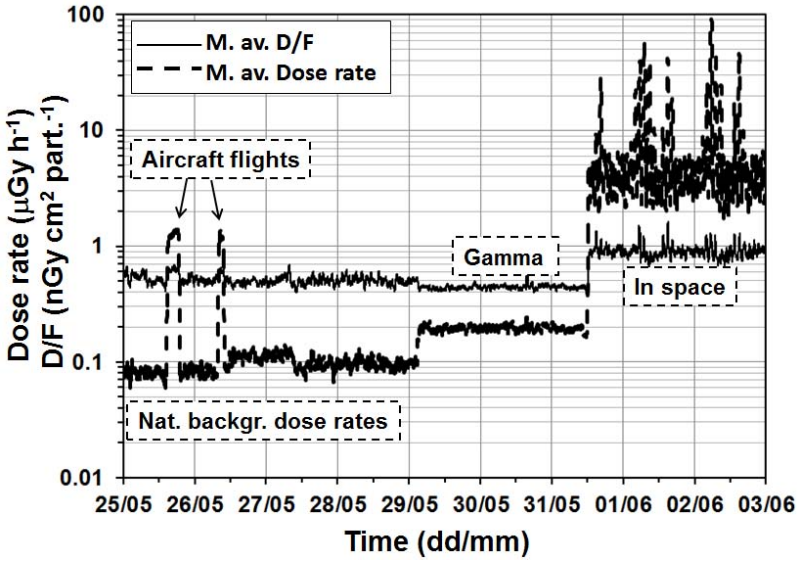



*Fig. 1. Variations of the average deposited dose rate for transatlantic flights at altitude 10.6 km.*

The doses in the central part of the figure are obtained after the integration of the Biopan 5 facility on the Foton M2 satellite. The increase of the doses up to 0.196 μGy h$^{-1}$ in this part of the recording is the result of additional radiation produced by a gamma ray source on the Foton M2 capsule used for the determination of automatic rocket fire before the touchdown of the capsule. Right side data are from the flight of the satellite in orbit.

The recorded maxima in the right side part of Figure 1 are obtained in space during the crossing of the South-Atlantics magnetic anomaly (SAA) region where the inner radiation belt populated with high-energy protons is encountered and from the outer radiation belt populated by relativistic electrons (Dachev et al., 2009).

The values of the dose rate to flux curve (D/F) gives some information of the type of predominant radiation sources measured by the instrument This methodology is based on the experimental formulas published by Heffner (Heffner, 1971) and recently described for the Liulin type dosimeters (Dachev, 2009). The experimental formulas (Heffner, 1971) shows that protons in the range 10-300 MeV as in the inner radiation belt can delivery specific doses per particle always above

1 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$, while the specific doses by electrons in the range 1-10 MeV are less than 1 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$. Same is truth for muons and all kind of electromagnetic radiation as roentgen and gamma. It is seen that the D/F value in left part of the figure is stable with values around 0.5 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$. These low values are indicator of small energy depositing events in the instrument which are generated mainly by muons and gamma rays. The D/F values fall down to about 0.42 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$ when the doses start to be built by gamma radiation source on the board of the capsule.

After the launch on 31$^{st}$ of May about noon the D/F mean values increase and stay at about 0.9 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$ in most of the time in orbit. These values are interpreted as caused by the GCR particles (Dachev, 2009). Crossings of the regions of SAA increase these values above 1 nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$, where protons are predominating and decrease below it during the crossings of the other radiation belt regions populated mainly by relativistic electrons. This behavior is repeatedly seen on 2$^{nd}$ and 3$^{rd}$ of June when before and after noon SAA crossings occur and inner belt crossings are about 10-11 hour in the morning.

The conclusion from this section of the paper is that in the simplest case with same instrument in all around Earth radiation sources.

### 3.2 Altitudinal profile of the space radiation between earth surface and moon orbit

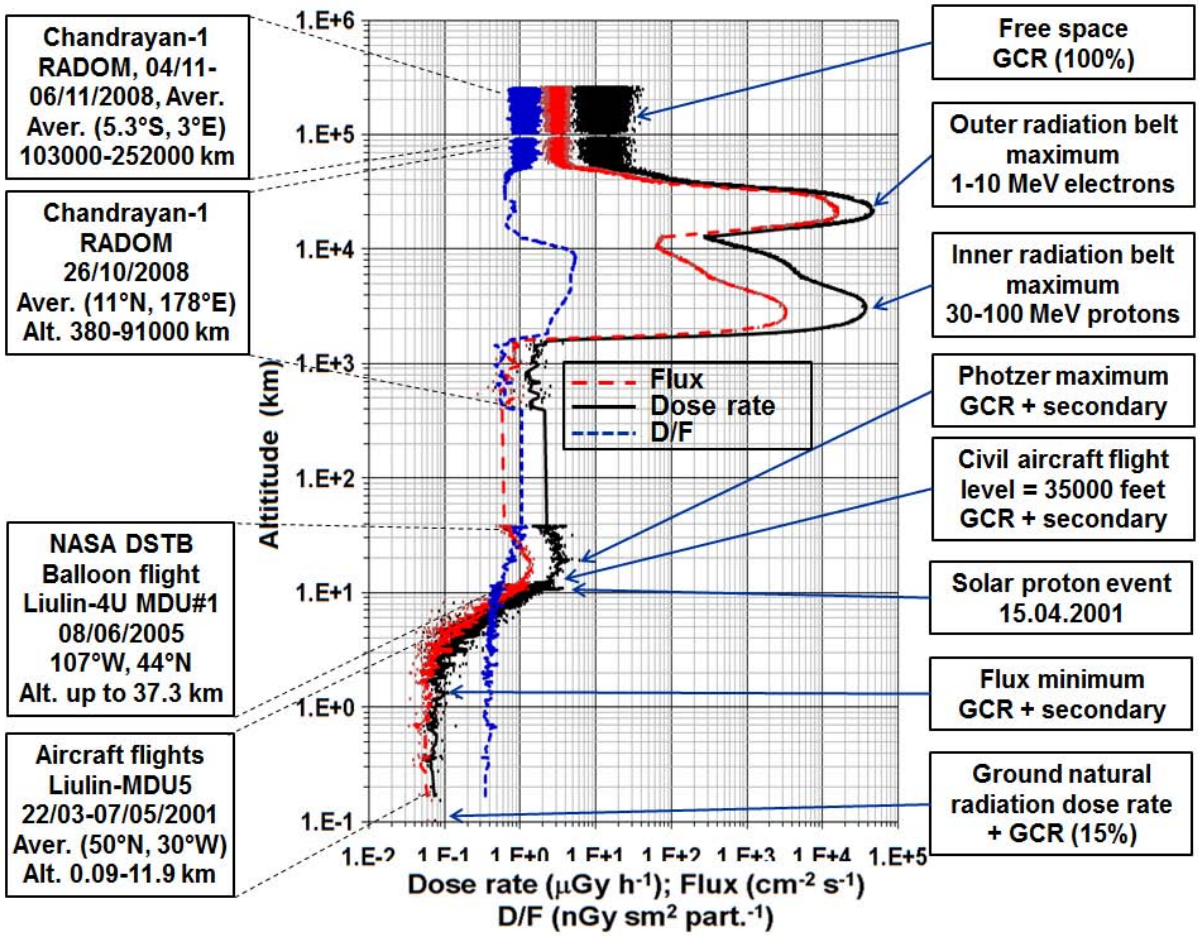



*Fig. 2. Variations of the absorbed dose rate flux and dose to flux for synthetic altitudinal profile from 0.1 to more than 250000 km.*

Figure 2 presents the synthesized altitudinal profiles of the moving averages (over 4 points) of 3 parameters: absorbed dose rate in μGy h$^{-1}$ (heavy line), flux in cm$^{-2}$ s$^{-1}$ (long dashed line) and dose rate to flux ratio in nGy cm$^{-2}$ particle$^{-1}$ (short dashed line). In the left side of the figure are listed the carriers, instruments, time, averaged geographic coordinates of the measured values and their altitudinal range in km. On the right side are listed the conditions and predominant radiation sources for the places pointed with the strikes.

#### *3.2.1. Ground natural radiation dose rate*

The lowest point in Figure 2 represents the values of the mentioned above 3 parameters obtained by averaging of 2431 points with 10 minutes resolution obtained during the measurements in the airports at altitude above the see level (a.s.l.) between zero and 500 meters, which we accept as

average value of 100 m a.s.l. The exact average value is 0.073 μGy $h^{-1}$. Other parameters values and their ranges are given in Table 1. Different airports shows different dose rate mean values being maximal in Prague airport - D=0.075 μGy $h^{-1}$ and minimal in the Dubai airport D=0.058 μGy $h^{-1}$. These values are in good agreement with the world average natural background radiation dose rate, which is 0.0585 μGy $h^{-1}$ (Ghiassi-nejad et al., 2002) with minimum dose rate of 0.018 and maximum of 0.095 μGy $h^{-1}$.

*Table 1. Averaged data concerning points of interest on Fig. 2.*

| **Point description, number of the measurements used, time [dd/mm/yyyy]** | **Averaged altitude, range [km]** | **Averaged geographic coordinates [long, lat]** | **Averaged dose rate and range [μGy $h^{-1}$]** | **Averaged flux and range [$cm^{-2}$ $s^{-1}$]** | **Averaged D/F and range [nGy $cm^{-2}$ $particle^{-1}$]** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ground, 2431, 22/03-07/05/2001** | 0.1 | 2°W, 48°N | 0.073<br>0.026-0.212 | 0.059<br>0.0028-0.111 | 0.346<br>0.213-1.15 |
| **Flux minimum, 10, 22/03-04/05/2001** | 1.6<br>1.56-1.7 | 51°W, 45°N | 0.073<br>0.049-0.114 | 0.052<br>0.04-0.072 | 0.386<br>0.325-0645 |
| **Civil aircraft flight level between 34000 and 36000 feet (10.668 km), 559 points, 22/03/2001-05/05/2001** | 10.5457<br>10.3632-10.668 | 31°W, 52°N | 1.62<br>0.85-2.33 | 0.921<br>0.534-1.068 | 0.4881<br>0.4032-0.6365 |
| **Photzer maximum GCR + secondary, 2, 08/06/2005** | 19 (dose)<br>16.4-29.1<br>15 (flux)<br>12-21 | 107°W, 44°N | 3.2 | <br><br>1.54 | 0.6<br><br>0.56 |
| **Inner radiation belt maximum 30-100 MeV protons, 2 26/10/2008 01:58:15** | 3007<br>2984-3031 | 165°E,15.3°S | 37280 | 3127 | 3.31 |
| **Outer radiation belt maximum 1-10 MeV electrons, 6 26/10/2008 03:03:04** | 21386 | 149°W,15.8°S | 46335 | 14473 | 0.89 |
| **Free space GCR (100%), 8314** | 229000<br>200000-251000 | | 12.77 | 3.16 | 1.13 |

### *3.2.2. Flux minimum at 1.6 km altitude*

Next interesting point on Figure 1 was the flux minimum observed at altitudes around 1.6 km. This is the point where the terrestrial component of the background radiation can be neglected but the cosmic radiation component is still at very low levels. The observed by us averaged value of the altitude of 1.6 km which was equal to the calculated value by the GEANT-4 model (Bazilevskaya et al., 2009). Our flux value was 0.052 $cm^{-2}$ $s^{-1}$, while the predicted by the GEANT-4 model is 0.025 $cm^{-2}$ $s^{-1}$. From other hand the measured average value for 1976 by (Bazilevskaya et al., 2009) is 0.052 $cm^{-2}$ $s^{-1}$. The dose rate at these altitudes observed by us also shows some time well seen minimum as published on figure 10 of (Dachev et al., 2002) but in the case of Figure 1 it is not well formed. Exact values for this point and their ranges are seen at Table 1.

### *3.2.3. Civil aircraft flight level at 35000 feet*

At altitudes above the point of minimal flux the dose rate and flux start to increase rapidly because of the domination of the cosmic radiation component. We obtain polynomial fitting approximations by factor of 2 of the dose rate and flux in dependence of altitude:

(1) Flux[$cm^{-2}$ $s^{-1}$]Dose rate[μGy $h^{-1}$]=0.0111*$alt^2$[km]-0.0369*alt[km]+0.0774

(2) Dose rate[μGy $h^{-1}$]= 0.0221*$alt^2$[km]-0.00951*alt[km]+0.01579

where “alt” is the altitude in km.

As seen in Figure 2 the plotting of the dose rate and flux in the altitudinal range 0.1-12 km gives strong variations of the measured values. The R-squared value for the flux is $R^2$=0.9115, while for the dose rate the obtained during process of polynomial approximation is $R^2$=0.8301, which is relatively low value. The average values of dose rate and flux at flight levels between 34000 and 36000 feet) (10.668 km) is obtained to be Dose=1.62 μGy $h^{-1}$ and Flux=0.921 $cm^{-2}$ $s^{-1}$ by averaging of 559 measurements in the time interval 22/03/2001-05/05/2001. The ranges for the values of the dose rate is as seen from Table 1 between 0.85 and 2.33 μGy $h^{-1}$. The reason is that large amount of data are obtained at standard nominal altitudes, measured in thousands of feet at different latitudes and longitudes.

### *3.2.4. Geographic map of dose rate at flight level at 35000 feet*

Figure 3 aims to answer the question how the large ranges in the values of dose rate are distributed in latitudes and longitudes for a period between 6th of May and 28th of June 2002. Data obtained mainly during flights from Prague to New York and Montreal and back are used. Some amount of data covers the east low latitudes by flights from Prague to Dubai and back. The Prague airport is on the following coordinates: Latitude=50.15°N,Longitude=14.37° E, Altitude=1123 m above the sea level. The dose rate data obtained at standard nominal altitude of 35000 feet (10.67 km) are plotted in the figure in dependence of the geographic latitude and longitude.

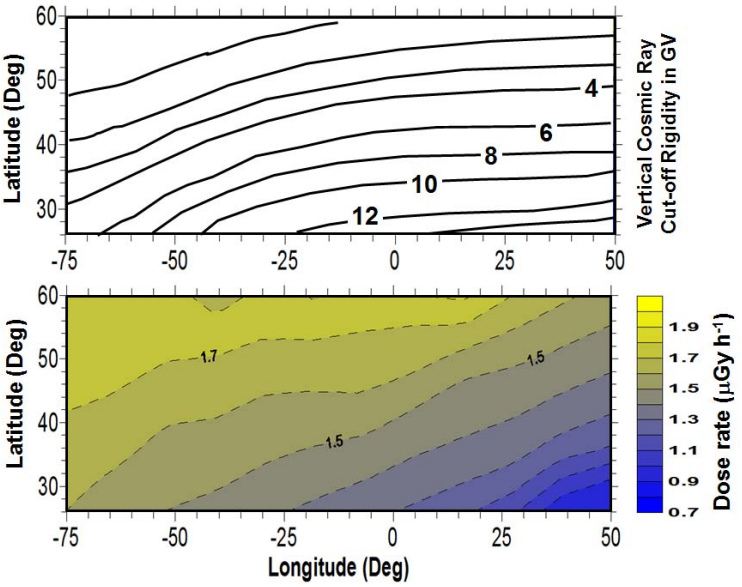



*Fig. 3. 2D variations of the absorbed dose rate for region in Northern hemisphere between 75°W and 50°E longitude at altitude around 35000 feet (10.67 km).*

The grid was obtained from 1043 measurements by the method of minimum curvature, which was with 5° and 10° spacing in latitude and longitude respectively. The linear gray level scale in the left side of the figure is with minimal and maximal values of 0.7 and 2.1 μGy $h^{-1}$. It is well seen that the minimum dose rate values are obtained at low latitudes in the longitudinal range 25°-50° East longitude. The maximum dose rates are in the high latitudes in the longitudinal range 25°W-75°W. The reason for this distribution is seen in the upper panel of Figure 2 where the vertical cosmic ray cut-off rigidity at 20 km altitude for the geomagnetic conditions in 1990 in GV is plotted (Shea and Smart, 2001). As expected following the shape of geomagnetic field lines the cut-off rigidity has its maximal values where the dose rates has minimums and in reverse at the places with minimal rigidity the maximal dose rates are observed. The higher cut-off rigidity means that the particles from the GCR and their secondary have to have higher energy to penetrate to the atmosphere. That is why at the areas with low cut-off rigidity larger flux and respectively larger dose rate is observed.

### *3.2.5. Photzer maximum*

The interaction of the primary cosmic radiation with the atoms and molecules of the atmosphere produces a broad spectrum of different secondary particles with varying energy and linear energy transfer (LET): protons, neutrons, electrons, muons, pions, gamma-quanta and bremsstrahlung. With increasing depth in the atmosphere, the primary cosmic radiation component decreases, whereas the secondary radiation component increases. This complex situation results in a maximum of the dose rate at an altitude of 18 to 25 km where the zone of the so called Pfotzer maximum exists.

On Figure 3 it is seen that at the altitudes around 19 km the dose rate reach local maximums. These data were obtained with a Liulin battery operated MDU during the 8 June 2005 certification flight of the NASA Deep Space Test Bed (DSTB) balloon at Ft. Sumner (34.47°N 104.24°W), New Mexico, USA (Benton, 2007; Adams et al., 2007). Because the relatively lower latitude (34.47°N) the observed fluxes in the Pfotzer maximum is about 1.5-1.6 $cm^{-2}$ $s^{-1}$, which value is smaller the presented by (Stozhkov et al., 2011).

### *3.2.6. Inner radiation belt maximum*

As seen in Figure 2 upper than Photzer maximum the dose rates and fluxes decreased and stay at almost fixed levels up to the bottom side of the inner radiation belt (IRB) maximum at about 1700 km altitude. This behavior was adequate for the RADOM instrument measurements at the Indian Chandrayaan-1 satellite in October 2008 at low latitudes (Dachev et al., 2011). Measurements on the HotPay2 rocket from Andoya Rocket Range (69.29°N, 16.03°E), Norway in January 2008 (Tomov et al., 2008) shows much higher dose rates and fluxes even at 300 km altitude because larger Earth magnetic field latitude and respectively lower geomagnetic cutoff rigidity (Shea and Smart, 2001), which allowed larger GCR fluxes.

Starting from about 1700 km altitude the dose rates and fluxes increased sharply by more than 4 orders on magnitude and reached the maximums at the position of the IRB maximum at about 3000 km altitude. The major radiation source in the lower part of the IRB was high energy protons (Dachev et al., 2011). At altitudes above the IRB maximum the dose rates and fluxes decrease and reach

minimum values at about 11000 km altitude in the slot region. The D/F values raised inside of the IRB and reached values of about 5 nGy $cm^{-2}$ $particle^{-1}$ at 9000 km altitude which correspond to energies of about 25 MeV (Heffner, 1971, Dachev, 2009).

#### *3.2.7. Outer radiation belt maximum*

Up than the slot region at 11000 km altitude the dose rates and fluxes raised again to reach new maximum in the region of outer radiation belt (ORB) maximum. Figure 2 shows that the ORB starts from ~14000 km and extends up to ~54000 km. Maximum particle flux in the outer belt were observed at ~22500 km. This maximum was populated mainly by 1-10 MeV electrons and it was confirmed by the values of the D/F ratio, which was below 5 nGy $cm^{-2}$ $particle^{-1}$ inside of the ORB. The comparison of our RADOM ORB flux data with the predicted by the models AE-8MIN and CRESS/ELE/PRO (SPENVIS (http://www.spenvis.oma.be/) shows relatively large discrepancies. The differences between the observed data and the models data can be explained by the fact that the RADOM observations are made in relatively very low solar activity and quiet geomagnetic conditions, which was never observed before (Dachev et al., 2011).

#### *3.2.8. Free space*

The average dose rate from 8314 measurements in the altitudinal range between 200000 and 251000 km from the Earth was ~12.77 μGy $h^{-1}$. The range of the real measured dose rates is between 3.34 and 41.34 μGy $h^{-1}$ with a standard deviation of 4.25 μGy $h^{-1}$. The average flux is 3.16 particles cm-2 $cm^{-2}$ $s^{-1}$, while the real flux range is between 1.71 and 4.82 particles $cm^{-2}$ $s^{-1}$ with a standard deviation of 0.41 $cm^{-2}$ $s^{-1}$. These values of the dose rate and flux may be used as referee values for the “free space” radiation conditions at this very low level of solar activity.

## 3. Summary

The paper analyzed the obtained results in the different radiation environments of Galactic Cosmic Rays at aircraft and balloon altitudes, inner radiation belt trapped protons, outer radiation belt relativistic electrons and in free space during different missions performed with Bulgarian build instruments. *Data from these experiments are compared and plotted to reveal harmonized picture how the different ionizing radiation sources contribute and build the space radiation altitudinal profile from the earth surface to the free space close to moon orbit.*

## 4. Acknowledgements

The author would like to thank to: B. Tomov, P. Dimitrov and Y. Matviichuk from Space Research & Technology Institute at the Bulgarian Academy of Sciences for the cooperation in the development of the Liulin type spectrometers and for the assistance with data analysis; F. Spurny, and O. Ploc from Nuclear Physics Institute, Czech Republic for the aircraft data and work on the interpretation procedure; ISRO staff and more specially to: Mr. M. Annadurai, Project Director and J. N. Goswami, Project scientist of Chandrayaan-1 satellite, P. Sreekumar and V. Sharan, Space Astronomy & Instrument Div., and Dr. J D Rao, ISTRAC/ISRO Bangalore for the RADOM instrument support. This work is partially supported by the Bulgarian Academy of Sciences and contract DID 02/8 with Bulgarian Science Fund.

## References:

1. Adams, J.H., L. Adcock, J. Apple, M. Christl, W. Cleveand, M. Cox, K. Dietz, C. Ferguson, W. Fountain, B. Ghita, E. Kuznetsov, M. Milton, J. Myers, S. O’Brien, J. Seaquist, E. A. Smith, G. Smith, L. Warden and J. Watts, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 579, Issue 1, 21, 522-525, August 2007.
2. Bazilevskaya, G.A., V.S. Makhmutov, Y.I. Stozhkov, A.K. Svirzhevskaya, N.S. Svirzhevsky, I.G. Usoskin, G.A. Kovaltsov and T. Sloan, Dynamics of the ionizing particle fluxes in the Earth’s atmosphere, Proceedings of the 31st ICRC, Lodz, 2009. http://icrc2009.uni.lodz.pl/proc/pdf/icrc0228.pdf
3. Benton, E.R., Benton E.V., Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond. *Nucl Instrum Methods Phys Res B*., 184(1-2), 255-294, 2001.
4. Benton, E., Deep Space ICCHIBAN: An International Comparison of Space Radiation Dosimeters aboard the NASA Deep Space Test Bed, 10th Workshop for Radiation Monitoring on ISS, Chiba, Japan, 7-9 September 2005. http://www.oma.be/WRMISS/workshops/tenth/pdf/08_benton.pdf
5. Dachev, Ts., Tomov, B., Matviichuk, Yu., Dimitrov Pl., Lemaire, J., Gregoire, Gh., Cyamukungu, M., Schmitz, H., Fujitaka, K., Uchihori, Y., Kitamura, H., Reitz,

G., Beaujean, R., Petrov, V., Shurshakov V., Benghin, V., Spurny, F. Calibration results obtained with Liulin-4 type dosimeters, Adv. Space Res. 30, 917-925, 2002. doi:10.1016/S0273-1177(02)00411-8
6. Dachev, Ts.P., B.T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, P.G. Dimitrov, N.G. Bankov, Relativistic Electrons High Doses at International Space Station and Foton M2/M3 Satellites, Adv. Space Res., 1433-1440, 2009. doi:10.1016/j.asr.2009.09.023
7. Dachev, Ts. P., B. T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, Pl .G. Dimitrov, F. Spurny, Monitoring Lunar radiation environment: RADOM instrument on Chandrayaan-1, Current Science, 96, 4, 544-546, 2009. ISSN: 0011-3891, 2009.
8. Dachev, Ts.P., Characterization of near Earth radiation environment by Liulin type instruments, Adv. Space Res., 1441-1449, 2009. doi:10.1016/j.asr.2009.08.007
9. Dachev, Ts. P., B. T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, Pl .G. Dimitrov, Vadawale, S. V., J. N. Goswami, V. Girish, G. de Angelis, An overview of RADOM results for Earth and Moon Radiation Environment on Chandrayyan-1 Satellite, Adv. Space Res., 48, 5, 779-791, 2011. doi: 10.1016/j.asr.2011.05.009
10. De Angelis, G., F.F. Badavi, J.M. Clem, S.R. Blattnig, M.S. Clowdsley, J.E. Nealy, R.K. Tripathi, J.W. Wilson, A Time Dependent Model for the Lunar Radiation Environment, Paper SAE2005-01-2831, pp. 1-11, Society of Automotive Engineering (SAE), Inc., 2005.
11. Häder, D.P., P. Richter, M. Schuster, Ts. Dachev, B. Tomov, Pl. Georgiev, Yu. Matviichuk, R3D-B2 - Measurement of ionizing and solar radiation in open space in the BIOPAN 5 facility outside the FOTON M2 satellite, Adv. Space Res. Volume 43, Issue 8, Pages 1200-1211, 2009. doi:10.1016/j.asr.2009.01.021
12. Heffner, J., Nuclear radiation and safety in space, M, Atomizdat, pp 115, 1971. (in Russian).
13. Friedberg, W., K. Copeland, Ionizing Radiation in Earth's Atmosphere and in Space Near Earth, Technical Report No. DOT/FAA/AM-11/9, FAA Civil Aerospace Medical Institute P.O. Box 25082, Oklahoma City, OK 73125, May 2011. *http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA546541*
14. Ghiassi-nejad, M., S. M. J. Mortazavi, J. R. Cameron, A. Niroomand-rad,_ and P. A. Karam, Very High Background Radiation Areas of Ramsar, Iran: Preliminary Biological Studies, Health Physics, V 82, 1, 87-93, 2002. http://www.probeinternational.org/Ramsar.pdf
15. Kim, M.-H.Y., G. De Angelis, F.A. Cucinotta, Probabilistic assessment of radiation risk for astronauts in space missions, Acta Astronautica, Volume 68, Issues 7-8, April-May 2011, Pages 747-759, 2010.
16. Lantos, P., The Sun and its effects on the terrestrial environment. Radiat Prod Dosim. 48(1), 27-32, 1993.
17. Regener, E. & G. Pfotzer, Vertical Intensity of Cosmic Rays by Threefold Coincidences in the Stratospher, Nature 136, 718-719, 1935. doi:10.1038/136718a0
18. Reitz, G., R. Beaujean, E. Benton, S. Burmeister, T. Dachev, S. Deme, M. Luszik-Bhadra, P. Olko, Space radiation measurements on-board ISS-The DOSMAP experiment, Radiat. Prot. Dosim. 116 (1-4), 374-379, 2005.
19. Shea, M.A., Smart D.F, *Vertical Cutoff Rigidities for Cosmic Ray Stations Since 1955*, 27th International Cosmic Ray Conference, Contributed Papers, 10, 4063-4066, 2001.
20. Simpson, J.A., in: Shapiro M.M. (Ed.), Composition and origin of cosmic rays, *NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences.* Vol. 107, Reidel, Dordrecht, 1983.
21. Spurny, F., Ts. Dachev, B. Tomov, Yu. Matviichuk, Pl. Dimitrov, K. Fujitaka, Y. Uchihori, H. Kitamura, Dosimetry Measurements During a Balloon and Aircraft Flights, Proceedings of 7th STIL-BAS conference, 169, Sofia, November, 2000.
22. Spurny, F., Ts. Dachev, B. Tomov, Yu. Matviichuk, Pl. Dimitrov, K. Fujitaka, Y. Uchihori, H. Kitamura, Dosimetry Measurements During a Balloon and Aircraft Flights, Proceedings of 7th STIL-BAS conference, 169-172, Sofia, November, 2000. http://www.stil.bas.bg/a_online/balloon.htm
23. Spurny, F., T. Dachev, On Board Aircrew Dosimetry with a Semiconductor Spectrometer, Radiat. Prot. Dosim. 100, pp 525-528, 2002.
24. Spurny, F., and T.P. Dachev, New results on radiation effects on human health, Acta geophysica, vol. 57, no. 1, pp. 125-140, 2009. DOI: 10.2478/s11600-008-0070-6
25. Stozhkov, Y. I., N. S. Svirzhevsky, G. A. Bazilevskaya, M. B. Krainev, A. K. Svirzhevskaya, V. S. Makhmutov, V. I. Logachev, and E. V. Vashenyuk, Cosmic rays in the stratosphere in 2008–2010, Astrophys. Space Sci. Trans., 7, 379–382, 2011. www.astrophys-space-sci-trans.net/7/379/2011/doi:10.5194/astra-7-379-2011
26. Tomov, B., Dimitrov Pl., Matviichuk Yu., Dachev Ts., Galactic and Solar Cosmic Rays Study by Ground and Rocketborne Space Radiation Spectrometers-Dosimeters-Liulin-6R and Liulin-R, Proceedings of Fundamental Space Research Conference, 252-257, ISSBN 978-954-322-316-9, 2008. http://www.stil.bas.bg/FSR/PDF/TOP5Tomov_Borislav2242058.pdf

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# INVESTIGATION OF RELATIVISTIC ELECTRON FLUXES ON INTERNATIONAL SPACE STATION BY R3DR INSTRUMENT

**Tsvetan Dachev[1], Borislav Tomov[1], Yury Matviichuk[1], Plamen Dimitrov[1], Nikolai Bankov[1], Guenther Reitz[2], Gerda Horneck[2], Donat-Peter Häder[3], Michael Lebert[4], Martin Schuster[4]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]DLR, Institute of Aerospace Medicine, Köln, Germany*
*[3]Neue Str. 9, 91096 Möhrendorf, Germany*
*[4]Department für Biology der Friedrich-Alexander-Universität, Ökophysiologie der Pflanzen Erlangen, Germany*
*e-mail: tdachev@bas.bg; Guenther.Reitz@dlr.de; gerda.horneck@dlr.de; donat@dphaeder.de; mlebert@biologie.uni-erlangen.de; mschuste@biologie.uni-erlangen.de*

***Keywords:*** *Space radiation, Space weather, Dosimetry, Spectrometry*

***Abstract:*** *The paper presents observations of relativistic electron precipitations (REP) on the International Space Station (ISS) obtained by Bulgarian build R3DR instrument in the period March 2009-August 2010. R3DR is a Liulin type spectrometer-dosimeter with a single Si PIN detector 2 $cm^2$ of area and 0.3 mm thick. The total external and internal shielding before the detector of R3DR device is 0.41 g $cm^{-2}$. The calculated stopping energy of normally incident particles to the detector is 0.78 MeV for electrons and 15.8 MeV for protons. Electrons with energy higher than 0.78 MeV play important role for the formation of the space radiation doses of the astronauts during Extra Vehicular Activity (EVA). The global distribution of the REP generated fluxes and absorbed doses at the orbit of ISS are analyzed. The REP in April 2010 being the second largest in GOES history >2 MeV electron fluence event is specially studied and compared with models and data from other satellites.*

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОТОЦИТЕ ОТ РЕЛАТИВИСТИЧНИ ЕЛЕКТРОНИ НА МЕЖДУНАРОДНАТА КОСМИЧЕСКА СТАНЦИЯ С ПРИБОРА R3DR

**Цветан Дачев[1], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук[1], Пламен Димитров[1], Николай Банков, Гюнтер Райтц[2], Герда Хорнек[2], Донат-Петер Хедър[3], Михаел Леберт[4], Мартин Шустер[4]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]DLR, Institute of Aerospace Medicine, Köln, Germany*
*[3]Neue Str. 9, 91096 Möhrendorf, Germany*
*[4]Department für Biology der Friedrich-Alexander-Universität, Ökophysiologie der Pflanzen Erlangen, Germany*
*e-mail: tdachev@bas.bg; Guenther.Reitz@dlr.de; gerda.horneck@dlr.de; donat@dphaeder.de mlebert@biologie.uni-erlangen.de; mschuste@biologie.uni-erlangen.de*

***Ключови думи:*** *Космическа радиация, Космическо време, Дозиметрия, Спектрометрия*

***Абстракт:*** *Представени са резултатите от наблюденията на изсипвания на релативистични електрони (ИРЕ) на Международната космическа станция (МКС), получени със създадения в България прибор R3DR в периода март 2009-август 2010 г. R3DR е спектрометър-дозиметър от типа „Люлин“ с единичен силициев Si PIN детектор с площ от 2 $cm^2$ и дебелина от 0.3 mm. Тоталната вътрешна и външна защита на детектора е 0.41 g $cm^{-2}$. Изчислената енергия на спиране на електроните е 0.78 MeV, а на протоните е 15.8 MeV. Електроните с енергия по-голяма от 0.75 MeV играят важна роля за формирането на дозата от космическа радиация на космонавтите по време на дейност извън космическия кораб. Анализирано е глобалното разпределение на генерираните по време на ИРЕ потоци и абсорбирани дози на МКС. Експерименталните ИРЕ данни за м. април 2010 г., които са вторите по големина на флюенса от електрони с енергия повече от 2 MeV в историята на наблюденията на спътниците от серията GOES, са изследвани подробно и са сравнени с данни от теоретични модели и други спътници.*

## 1. Introduction

Relativistic electron precipitations (REP) have been observed for many years. First reports are by (Brown and Stone, 1986) and (Imhof et al. 1986, 1991). The most comprehensive study of long-term observations of REP was made by Zheng et al. 2006), using the 2–6 MeV electron data from the SAMPEX satellite during 1992–2004.

Relativistic electrons enhancements in the outer radiation belt are one of the major manifestations of space weather (Zheng et al., 2006; Wrenn, 2009) near the Earth's orbit. Their understanding is of significant importance from both a practical and space radiation physics point of view. Electrons with energies of a few MeV can penetrate the spacecraft shielding and can deposit significant charge in the dielectric materials, which after electrostatic breakdown can damage sensitive electronic preamplifiers and whole systems of the spacecraft. A similar event happened with the Galaxy 15 spacecraft (Green et al., 2010), which stopped responding to ground commands at the beginning of the period studied by us on 5$^{th}$ of April at 09:48 UTC.

Relativistic electrons were observed by us outside the Foton M2/M3 spacecraft in the periods 31 May–16 June 2005 and 14–29 September 2007 and outside the European Columbus module of the ISS in 2008 (Dachev et al., 2009). The relativistic electrons observed on ISS in 2008 were connected with the geomagnetic field disturbances in the period 27/02/2008-07/05/2008.

Now we present the full range of data obtained by R3DR instrument in the period between January and August 2010. The main idea of the analysis of more than 150 daily fluences is to underline that the REP events are common on ISS. Never the less that the obtained doses do not pose extreme risks for the astronauts being on EVA they have to be considered as permanently observed source, which require additional comprehensive investigations.

## 2. Instrument description

The R3DR instrument is a successor of the Liulin-E094 instrument, which was part of the experiment Dosimetric Mapping-E094 headed by Dr. G. Reitz that was placed in the US Laboratory Module of the ISS as a part of Human Research Facility of Expedition Two Mission 5A.1 in May-August, 2001 (Reitz et al., 2005, Dachev et al., 2006, Wilson et al., 2007, Nealy et al., 2007, Slaba et al., 2011).

The experiments with the R3DR spectrometer were performed after successful participations in ESA Announcements of Opportunities, led by German colleagues Dr. Gerda Horneck and Prof. Donat-P. Häder (Horneck et al., 1998). The spectrometers were mutually developed with the colleagues from the University of Erlangen, Germany (Streb et al., 2002, Häder et al., 2009).

The R3DR spectrometer was launched inside the EXPOSE-R facility (Please see Figure 1) at the outside platform of Russian Zvezda module at the ISS in December 2008. The first data were received on March 11, 2009. Till 27$^{th}$ of January 2011 the instrument was working almost permanently with 10 seconds resolution in a very similar way as the R3DE instrument on the Columbus module (Dachev, 2009). R3DR instrument is a low mass, small-dimensioned automatic device that measures solar radiation in 4 channels and ionizing radiation in 256 channels. It is Liulin type energy deposition spectrometer. The size of the aluminum box of the R3DR instrument is 76 x 76 x 34 mm.

The ionizing radiation is monitored using a semiconductor PIN diode detector (2 cm$^2$ in area, 0.3 mm thick). Its signal is digitized by a 12 bit fast A/D converter after passing a charge-sensitive preamplifier. The deposited energies (doses) are determined by a pulse height analysis technique and then passed to a discriminator. The amplitudes of the pulses $A[V]$ are transformed into digital signals, which are sorted into 256 channels by a multi-channel analyzer. At every exposition time interval one energy deposition spectrum is collected. The energy channel number 256 accumulates all pulses with amplitudes higher than the maximal level of the spectrometer of 20.83 MeV. The methods for characterization of the type of incoming space radiation are described by (Dachev, 2009).

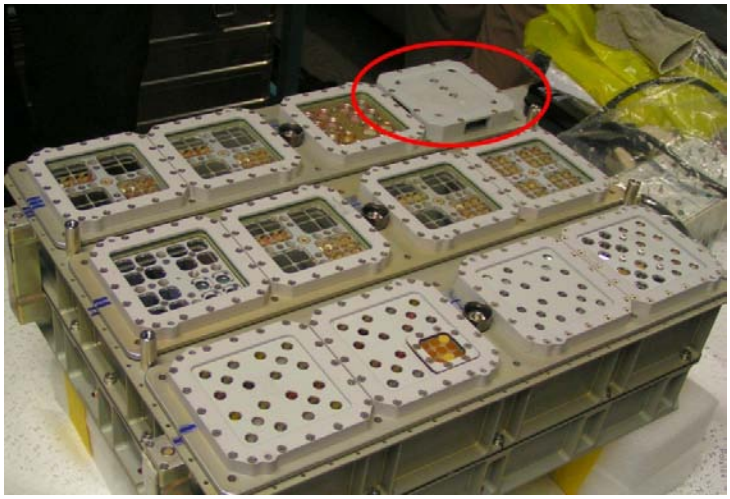


*Figure 1. External view of the EXPOSE-R facility. The R3DR instrument is situated inside the red oval.*

System international (SI) determination of the dose is used, in order to calculate the detector doses absorbed in the silicon. SI determines that the dose is the energy in Joules deposited in one kilogram. The following equation is used:

$$D[Gy] = K\sum_{i=1}^{256}(EL_i i)[J]/MD[kg] \quad (1)$$

where $K$ is a coefficient, $MD$ - the mass of the solid state detector in [kg] and $EL_i$ is the energy loss in Joules in channel $i$. The energy in MeV is proportional to the amplitude $A$ of the pulse $EL_i[MeV] = A[V]/0.24[V/MeV]$. $0.24[V/MeV]$ is a coefficient depending on the used preamplifier and sensitivity of it used.

The construction of the R3DR box consists of 1.0 mm thick aluminum shielding before the detector. The total shielding of the detector is formed by additional internal constructive shielding of 0.1 mm copper and 0.2 mm plastic material. The total external and internal shielding before the detector of R3DR device is 0.41 g cm$^{-2}$, respectively. The calculated stopping energy of normally incident particles to the detector is 0.78 MeV for electrons and 15.8 MeV for protons (Berger et al., 2010). This means that only protons and electrons with energies higher than the above mentioned could reach the detector.

### 3. R3DR data analysis

The available R3DR data covered 2 main periods: March-June 2009 and December 2009-August 2010. Except the large data gap between July and January 2009 there are two smaller periods in January-February 2010 and in the middle of March 2010.

The selection procedure, which allows us to distinguish between 3 different radiation sources (GCR, SAA and ORB) seen by the R3DE instrument, is based on the analysis of the dose to fluxes values (Dachev, 2009) and on the methodology described in Bankov et al. (2010).

Figure 3 accumulates in the bottom panel all available R3DR relativistic electrons daily fluences (ISS Flu) and daily absorbed dose rates (ISS AD) data. These measurements were compared with the GOES-11 daily fluence data for energies above 2 MeV and the daily global Ap index (upper panel). All curves represent the moving average over 2 points of the raw data.

The most interesting period in Figure 4 began on 1st of April 2010 and covered all data till 20th of August. The R3DR and GOES-11 daily relativistic electron fluences almost explosively increased on 6th and 7th of April as seen on Figs. 4 and 5. The consequences of the space weather processes, which provoked this increase can be described as follows (Space Weather Highlights, 05-11 April 2010, SWO PRF 1806, 13 April 2010, (http://www.swpc.noaa.gov/): 1) Solar activity was at very low levels with isolated low-level B-class flares; 2) a halo coronal mass ejection (CME) is observed on 03/0954 UTC; 3) About 2 days later a shock was observed at ACE at 05/0756 UTC, which led to a sudden impulse on Earth at 05/0826 UTC (38 nT was observed at the Boulder magnetometer); 4) the ACE satellite observed wind speeds between 720-800 km s$^{-1}$ behind the shock, with Bz reaching values around -15 nT; 5) the activity continued on 06 April with predominantly active to minor storm levels, as well as an interval of minor to major storm levels

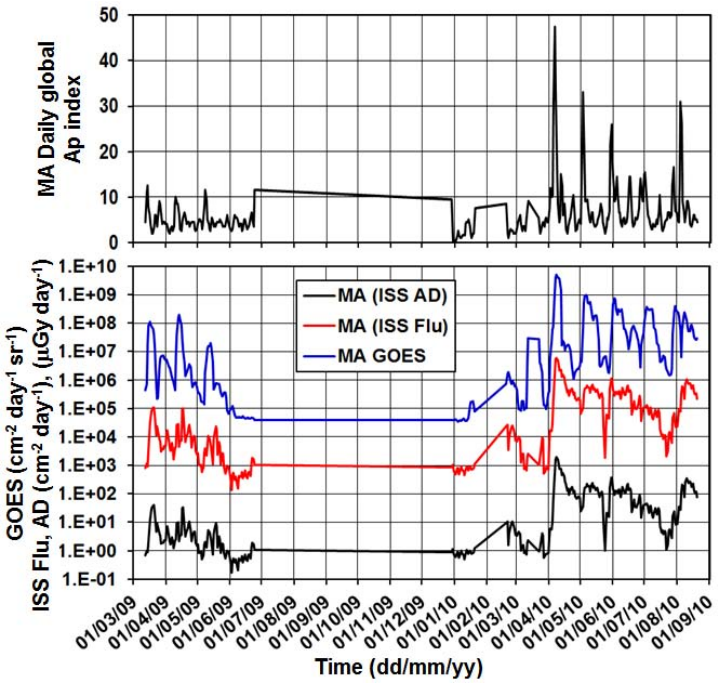



*Fig. 2. Results for the daily >0.78 MeV fluence measured with the R3DE instrument on ISS (ISS flu???) and the dose rate (ISS AD) deposited by it for the whole operational time between February 2008 and September 2009. These data are compared with the dayly GOES-11 satellite >2 MeV (GOES) fluence and the daily global Ap index.*

observed between 06/0000-0600 UTC; 6) Wind speeds at ACE decreased to about 550 km/s at 06/2100 UTC.

Nevertheless that the created magnetic storm on 6th of April was moderate (daily Ap=49, minimal Dst=-72 nT at about noon), the second largest in history of GOES fluences of electrons with energies >2 MeV were measured. The increase in the GOES-11 fluence of electrons with energies more than 2 MeV was by 4.5 orders of magnitude, while the R3DR > 0.78 MeV fluences increased less than 4 orders of magnitude. Till the end of measurements with the R3DR instrument at 20th of August 2010, a few smaller Ap maxima were observed and they were followed by very similar responses on the GOES satellite, while the ISS data correlation was much smaller.

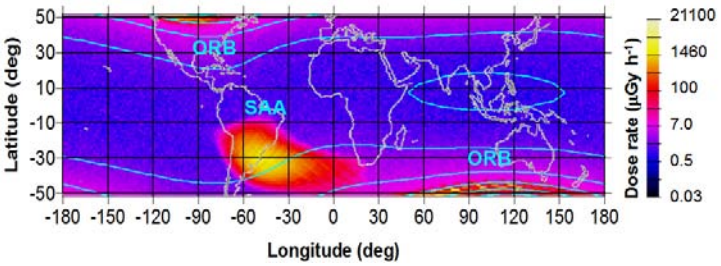



*Figure 3. 3D geographic distribution of the dose rate data. The white (white blue) curves represent equal L-parameter values. South and north ORB regions are situated at 4.5<L<3.5.*

Fig. 3 aims to present the geographic distribution of the data for the period 1st of April-7th of May 2010. Geographic longitude and latitude are on the X and Y axes, respectively. The white (white blue) curves represent equal McIlwain's – L-parameter values (McIlwain, 1961; Heynderickx et al., 1996) at the altitude of the station. The closed line in the eastern Hemisphere represents L=1. Other open lines rise with values 1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 from the equator toward the poles. The dose rate is in the 3rd dimension and the values are colour coded by the logarithmic scale bar shown at the right side of the graphic. The dose rate values presented are obtained by averaging of the rough data in longitude/latitude squares with 1° size. The regions ORB and SAA regions are labelled.

The SAA region is well seen in Fig. 3. The coordinates of its central location are remarkable, which are at -50° west longitude and -32° south latitude for the dose rate. The flux maximum location is at the same longitude but at -30° south latitude. These values are in comparison with AP-8 MIN model (SPENVIS (http://www.spenvis.oma.be/); (Vette, 1991) epoch 1970 moved with -12° to the west and the flux maximum with 2° moved to the north (Wilson et al. 2007). The calculated rate of the flux maximum movement is 0.3° $yr^{-1}$ to the west and 0.05° $yr^{-1}$ to the north. These drift rate values are in good agreement with (Badhwar et al., 1994) and with (Fürst et al., 2009), but slightly disagree with our previous findings (Wilson et al. 2007) of 0.19° $yr^{-1}$ westward drift.

The Relativistic electron precipitations (REP) regions are parts of the outer radiation belts (ORB) and are seen in both Hemispheres as bands of high dose rate values in the range 3.5<L<4.5. The Northern Hemisphere REP dose rate values have a single area situated between 50°W and 130°W with a maximum at 90°W. In the Southern Hemisphere the REP is a wide area between 20°E and 170°W. A well-defined maximum is formed at about 70°E. Further high values dose rates are randomly distributed in the whole area up to 180°E. The Northern Hemisphere REP maximum lies above 45°N rising toward the maximum inclination of ISS at 51.8°. In the Southern Hemisphere the maximum is wider, starting from 42°S. There is a well seen maximum at about 48°S. The presentation of REP data in the L value coordinates shows a maximum at about L=3.9 in both Hemispheres. Due to the Earth magnetic field asymmetries the maximal L value in Northern Hemisphere is L=4.64, while for the Southern Hemisphere the maximal value is L=6.14. This asymmetry is probably the reason for the maximal dose rate values in the Northern Hemisphere to be about 6000 μGy $h^{-1}$, while the Southern Hemisphere maximal dose rate values are more than 3 times larger and reach 22,000 μGy $h^{-1}$.

The GCR dose rate values are also well seen in Figure 4 as enhanced bands with values between 0.5 and 10 μGy $h^{-1}$ equatorwards from the REP bands.

The averaged L value distributions of the dose rates of the three major radiation sources look as follows: (1) GCR minimal average dose rate value is about 1 μGy $h^{-1}$ at L=1. It rises up to 10-11 μGy $h^{-1}$ at L=4 and stays further at this value up to L=6.14; (2) IRB (SAA) dose rates are about 22 μGy $h^{-1}$ at L=1.1. They rise sharply to a value of 600 μGy $h^{-1}$ at L=1.4 and then slowly decrease to a value of 20 μGy $h^{-1}$ at L=2.8; (3) ORB dose rates are at a value of 18 μGy $h^{-1}$ at L=3.15, rise up to a value of 500 μGy $h^{-1}$ at L=4 and then decrease down to a value of 80 μGy $h^{-1}$ at L=6.14.

## 4. Comparison of R3DR data with model and other data

*4.1. Comparison with Earth radiation models*

In order to answer the question about the R3DR flux data representativeness, we prepared Fig. 4, which compares the fluxes measured by the R3DR instrument with those predicted by SPENVIS models: AE-8 MIN model ((http://www.spenvis.oma.be/); Vette, 1991), CRRES/ELE model ((http://www.spenvis.oma.be/); Meffert and Gussenhoven, 1994; Brautigam and Bell, 1995) and ESA-SEE1 model ((http://www.spenvis.oma.be/); Vampola, 1996). The model conditions are as follows: Alt.=359 km; Lat.=48°S; UT=00:00; 0<Long.<180°; Step=2°; Low solar activity; Ap<15; Internal magnetic field model: (Jensen & Cain 1962) updated to 1996.8.

Figure 4 presents the flux longitudinal profile in the range 0°-180° as predicted by the models and measured by R3DR in the Southern Hemisphere at the conditions mentioned above. The Y axis presents the integral flux data in 5 orders of magnitude. All models and R3DR data have the same ($cm^{-2}$ $s^{-1}$) dimension. The R3DR flux data (black points) are selected using the following criteria: 47°S<Lat.<49°S and dose rate higher than 100 μGy $h^{-1}$. Analyzing flux and dose rate data in these latitudes we found that the area of extreme flux values is shifted by 10° to the east. The moving average line (dashed line) was found with a period of 100 points. It is seen that the R3DR data are at very low levels up to 55°E. We explain the subsequent maxima formed in the range 70°E-160°E with a concentration of descending orbits paths of the station. The R3DR data distribution is almost random in the whole range of longitudes 50°E-170°E with some tendency of maximum at 70°E-80°E. The shape of the R3DR data is closer to the CRESS model, which has a maximum in 110°E-120°E and this maximum coincides with L value maximum for this profile.

The other 2 models AE-8 MIN and ESA-SEE1, (ESA-SEE1 is an update of the AE-8 MIN model, Vampola, 1996) show a very similar longitudinal distribution with a maximum at 60°E-70°E. The common feature of the 3 models is that the predicted fluxes are orders of magnitudes higher than the experimental data. This large difference can be explained in two possible ways. The first one is the uncertainties of the models, which is manifested by the different shapes and place of extreme values calculated by the three models. The second one is connected with the loss of counts in the R3DR spectrometer.

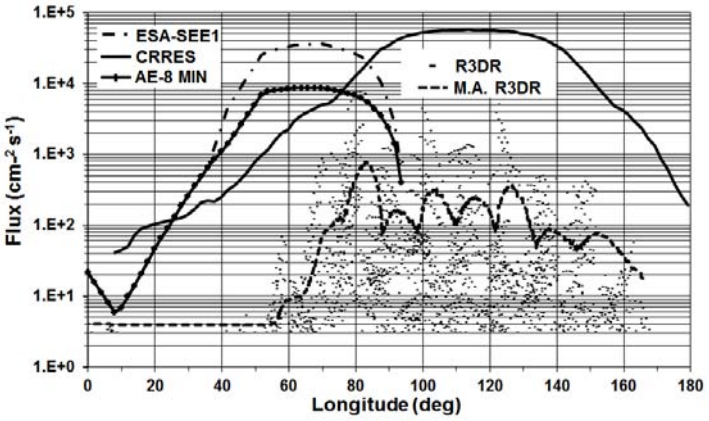



*Fig. 4. Comparison of the R3DR data with the AE-8 MIN, ESA-SEE1 and CRRES/ELE models on the longitudinal profile at 48°S latitude.*

For the 10 s time resolution spectra of R3DR we never observed overflow of the counts in one channel above the maximum allowed count limit of 65,536 counts per channel; that is why we consider that the dead time of the spectrometer can be the main reason for count losses. By analyzing RADOM instrument flux data inside the maximum of outer radiation belt we found that Liulin type instruments do have a real upper limit of flux values of 20,000 $cm^{-2}$ $s^{-1}$ (Dachev et al., 2011). In fact in the R3DR data, the flux values are less than 10,000 $cm^{-2}$ $s^{-1}$, which means that most of the differences between R3DR flux data and models are because of the uncertainties of the models.

*4.2. Comparison with other measurements*

Figure 5 presents the results of the comparison between R3DR data and the Japanize GOSAT data for the differential flux of electrons with energies between 0.91 and 1.06 MeV. Both data sets are ordered in the same way in two panels where the bottom panel is for the R3DR data, while the top is for the GOSAT data. GOSAT data are obtained graphically from the presentation “Space Environment Measurements by JAXA Satellites and ISS” of T. Obara at 7th European Space Weather Week, 15-19 November, 2010 - Brugge, Belgium, 2010 (Obara, 2010). On the X axis the UT is plotted for the period 01/04/-07/05/2011. On the Y axis the L value of the R3DR data in the range 2.5-6.5 is plotted. The GOSAT data are distributed up to L=9 but here only part of these data are presented.

The 3rd dimension of both panels is as follows: Figure 5a contains the GOSAT differential electron flux data with energies logarithmically coded between 0.91 and 1.06 MeV. Data are with dimension $cm^{-2}$ $s^{-1}$ $sr^{-1}$ $MeV^{-1}$; in Figure 10b the R3DR dose rate data are plotted. At first glance both dimensions are not comparable but looking again at Figure 5 we see that there is a linear dependence between the dose rate and flux for the relativistic electrons finger. From this data equation we obtain: (Dose rate)=2.34*Flux+15, which means that the R3DR flux data are by a factor of 2.34 less than the dose rate values shown. The main conclusion for the absolute values is that the GOSAT fluxes are on the order of hundreds of thousands of particles per square cm per s, while the R3DR data show about 2 orders of magnitudes less. This is understandable because the GOSAT orbit is 300 km higher than the ISS orbit.

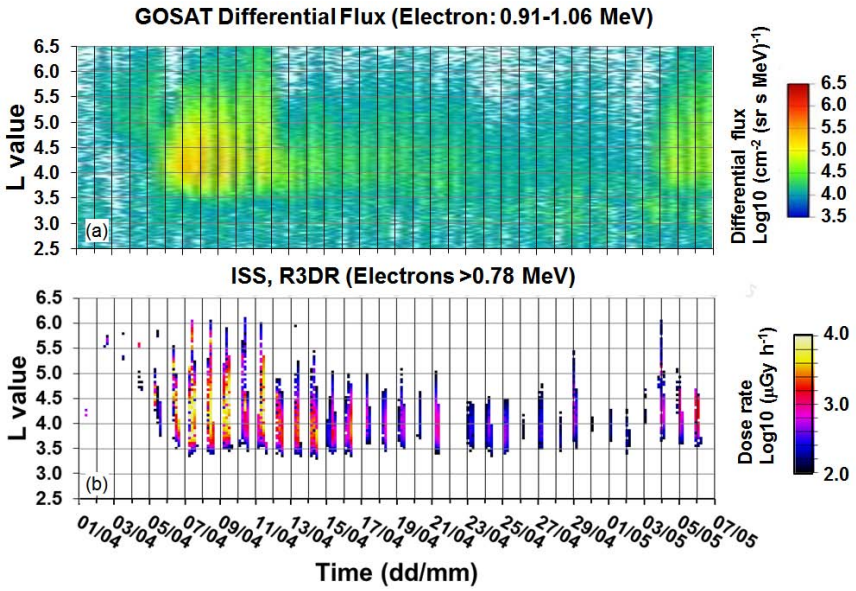



*Fig. 5. Comparison of the R3DR dose rate data with the GOSAT 0.91-1.06 MeV relativistic electrons data for the period 01/04/-07/05/2010.*

On the other hand, the purpose of Fig. 5 is mainly to compare the boundaries of the REP in L-value and the time and place of the extreme values obtained for both satellites. By analysing these parameters, we may conclude the following: (1) both data sets show similar lowering of the equatorward L value boundary of the precipitation from about L=5 on 1st of April down to L=3.5 on 6th of April. Later on this boundary stays stable around the value of 3.5 during the whole period; (2) the poleward boundaries of the precipitations also coincide quite well for the beginning of the period, reaching L=6.5 in the period 7-11 April and falling down later. The poleward boundaries of R3DR data on 5th and 6th of May are lower than the boundaries; (3) the temporal poleward movement of the precipitation boundary on 13th of April is well seen in both data, but later, on 21st and on 29th of April the GOSAT movement of the precipitation boundary is missing; (4) Both data show the absolute maximum of the precipitation of relativistic electrons on 7th of April.

Using the opportunity provided by (Zapp, 2011) and by 'Coordinated Data Analysis Web' at Goddard Space Flight Center (http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/), we compare ISS TEPC data on 7th of April 2010 with the R3DR data and find that even inside ISS the TEPC record some additional relativistic electrons dose rate in the Southern Hemisphere crossings of the high latitude region. The highest caused by relativistic electrons and bremsstrahlung TEPC absorbed dose rate occur exactly when the R3DE reached it absolute maximum at almost 19000 μGy $h^{-1}$ at about 13:20 UT on 7th of April. The TEPC dose rate rises only from the GCR level of about 16 up to 40 μGy $h^{-1}$.

Also using information from (Obara, 2010) we looked at the global maps obtained by the Japanize instrument SDOM at ISS http://seesproxy.tksc.jaxa.jp/fw_e/dfw/SEES/pub/SEDA-AP/GRAPH and found that the ISS 0.93-1.85 MeV electron flux is enhanced in both Hemispheres equatorward from the magnetic poles in the period 7-9 April 2010. This is in accordance with the R3DR observations shown on the global distribution in Fig. 3.

## Conclusions

Measurements of relativistic electrons were performed with 10 s resolution with the R3DR instrument outside the Russian Zvezda module of the ISS for the period March 2009-August 2010. The calculated stopping energy of normally incident particles to the detector is 0.78 MeV for electrons and 15.8 MeV for protons. The observations were correlated with the GOES-11 more than 2 MeV daily fluences and with daily Ap indexes. The selection of the data was done using the existing Liulin type instruments dose to flux relations, which define that when the dose to flux ratio in one exposition cycle is less than 1 nGy $cm^{-2}$ $part^{-1}$ the predominant amount of particles are electrons and vice versa, when this ratio is larger than 1, the predominant particles are protons. REP is seen in both Hemispheres above 45°N and 42°S geographic latitudes. The Northern Hemisphere REP dose rate values are

situated in a single area between 50°W and 130°W with a maximum at 90°W. In the Southern Hemisphere the REP is a wide area between 20°E and 170°W. A well-defined maximum is formed at about 70-80°E. The REP regions are seen in both Hemispheres as bands of high dose rate values in the range 3.5<L<4.5. Maximal dose rate from the precipitating high energy electrons was found on 6$^{th}$ of April with highest dose rates of almost 22,000 μGy h$^{-1}$. The highest daily dose rate was reached on 7$^{th}$ of April with 2323 μGy day$^{-1}$. The comparison of the R3DR longitudinal flux profile along 48°S latitude with the AE-8 MIN, ESA-SEE1 and CRRES/ELE models shows that the three models predicted fluxes, which are orders of magnitudes higher than the experimental data. We attribute these large differences to the models uncertainties because we never observe overflow of the counts limits in one channel and because the flux is less than the real upper limit of Liulin instruments flux value of 20,000 cm$^{-2}$ s$^{-1}$. The comparison between R3DR data and Japanize GOSAT data shows good agreements for the places and dynamics of the REP boundaries obtained at both spacecraft.

**Acknowledgements**

This work was supported by the Bulgarian Academy of Sciences and partially by grant DID 02/08 of the Bulgarian Science Fund.

**References:**

1. Badhwar, G.D., Konradi, A., Braby, L.A., Atwell, W., Cucinotta, F.A., Measurements of trapped protons and cosmic rays from recent shuttle flights, Adv. Space Res., 14, 67–72, 1994.
2. Brautigam, D.H. and Bell, J.T. CRRESELE documentation, PL-TR-95-2128. Environmental Research Papers, 1178, Phillips Laboratory, 1995.
3. Brown, J.C., and Stone, E.C. High-energy electron spikes at high latitudes. J. Geophys Res. 77, 3384-3391, 1972.
4. Dachev, T., Atwell, W., Semones, E.; Tomov, B., Reddell, B. ISS Observations of SAA radiation distribution by Liulin-E094 instrument. Adv. Space Res. 37, 1672-1677, 2006.
5. Dachev, Ts. P., B. T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, Pl .G. Dimitrov, Vadawale, S. V., J. N. Goswami, V. Girish, G. de Angelis, An overview of RADOM results for Earth and Moon Radiation Environment on Chandrayyan-1 Satellite, Adv. Space Res., 48, 5, 779-791, 2011. doi: 10.1016/j.asr.2011.05.009
6. Dachev, Ts.P., B.T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, P.G. Dimitrov, N.G. Bankov, Relativistic Electrons High Doses at International Space Station and Foton M2/M3 Satellites, Adv. Space Res., 1433-1440, 2009. doi:10.1016/j.asr.2009.09.023
7. Dachev, Ts.P., Characterization of near Earth radiation environment by Liulin type instruments, Adv. Space Res., 1441-1449, 2009. doi:10.1016/j.asr.2009.08.007
8. Fürst, F., J. Wilms, R.E. Rothschild, K. Pottschmidt, D.M. Smith, R. Lingenfelter, Temporal variations of strength and location of the South Atlantic Anomaly as measured by RXTE, Earth and Planetary Science Letters, 281, 125–133, 2009.
9. Green, J.C, W.F. Denig, J.V. Rodriguez, H.J. Singer, T.M. Lotoaniu and D. Biesecker, D.C. Wilkinson, Space Weather Conditions at the Time of the Galaxy 15 Spacecraft Anomaly, 7th European Space Weather Week, 15-19 November, 2010 - Brugge, Belgium, 2010. http://www.sidc.be/esww7/presentations/2.8.ppt
10. Heynderickx, D., J. Lemaire, and E. J. Daly, Historical Review of the Different Procedures Used to Compute the L-Parameter, Radiat. Meas., 26, 325-331, 1996.
11. Horneck, G., D.D. Win-Williams, R.L. Mancinelli, J. Cadet, N. Munakata, G. Ronto, H.G.M. Edwards, B. Hock, H. Waenke, G. Reitz, T. Dachev, D.P. Haeder, and C. Briollet, Biological experiments on the EXPOSE facility of the International Space Station, Proceedings of the 2$^{nd}$ European Symposium - Utilisation of the International Space Station, ESTEC, Noordwijk, 16-18 November 1998, SP-433, pp. 459-468, 1998.
12. Imhof, W. L., H. D. Voss, D. W. Datlowe, E. E. Gaines, J. Mobilia, and D. S. Evans, Relativistic electron and energetic ion precipitation spikes near the plasmapause, J, Geophys. Res., 91, 3077-3088, 1986.
13. Imhof, W. L., H. D. Voss, J. Mobilia, D. W. Datlowe, and E. E. Gaines, The precipitation of relativistic electrons near the trapping boundary. J. Geophys Res., 96, 5619-5629, 1991.
14. Jensen, D. C., and J. C. Cain, An Interim Geomagnetic Field, *J. Geophys. Res., 67*, 3568, 1962.
15. McIlwain, C. E., Coordinates for Mapping the Distribution of Magnetically Trapped Particles, J. Geophys. Res., 66, pp. 3681-3691, 1961.
16. Meffert, J.D., and M.S. Gussenhoven, CRRESPRO Documentation, PL-TR-94-2218, Environmental Research Papers, 1158, Phillips Laboratory, 1994.

17. Nealy, J. E., F. A. Cucinotta, J. W. Wilson, F. F. Badavi, N. Zapp, T. Dachev, B.T. Tomov, E. Semones, S. A. Walker, G. de Angelis, S. R. Blattnig, W. Atwell, Pre-engineering spaceflight validation of environmental models and the 2005 HZETRN simulation code, Adv. Space Res., 40, 11, 1593-1610, 2007. doi:10.1016/j.asr.2006.12.030
18. Obara, T., Space Environment Measurements by JAXA Satellites and ISS, 7th European Space Weather Week, 15-19 November, 2010 - Brugge, Belgium, 2010. http://www.sidc.be/esww7/presentations/2.5.ppt
19. Reitz, G., R. Beaujean, E. Benton, S. Burmeister, T. Dachev, S. Deme, M. Luszik-Bhadra, P. Olko, Space radiation measurements on-board ISS-The DOSMAP experiment, Radiat. Prot. Dosim. 116 (1-4), 374-379, 2005.
20. Slaba, T.C., S.R. Blattnig, F.F. Badavi, N.N. Stoffle, R.D. Rutledge, K.T. Lee, E.N. Zappe, T.P. Dachev and B.T. Tomov, Statistical Validation of HZETRN as a Function of Vertical Cutoff Rigidity using ISS Measurements, Adv. Space Res., 47, 600-610, 2011. doi:10.1016/j.asr.2010.10.021
21. Vampola, A. L., Outer Zone Energetic Electron Environment Update, Final Report of ESA/ESTEC, 1996.
22. Vette, J.I., The NASA/National Space Science Data Center Trapped Radiation Environment Model Program (1964-1991), NSSDC/WDC-A-R&S 91-29, 1991.
23. Wilson, J.W., Nealy, J.E., Dachev, T.P., Tomov, B.T., Cucinotta, F. A., Badavi, F. F., DeAngelis, G., Leutke, N., Atwell, W. Time serial analysis of the induced LEO environment within the ISS 6A, Adv. Space Res., 40, 1562-1570, 2007. . doi:10.1016/j.asr.2006.12.030
24. Wrenn G.L., Chronology of 'killer' electrons: Solarcycles 22 and 23, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 71, 1210–1218, 2009.
25. Zapp, N., NASA GSFC, by 'Coordinated Data Analysis Web' at Goddard Space Flight Center, http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/tmp/, May, 2011.
26. Zheng, Y., Lui, A.T.Y., Li, X. and Fok, M.-C., Characteristics of 2–6 MeV electrons in the slot region and inner radiation belt, J. Geophys. Res., 111, A10204, 2006. doi:10.1029/2006JA011748

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ELECTRIC RESPONSE OF HIGH LATITUDINAL MIDDLE ATMOSPHERE TO SOLAR WIND CHARACTERISTICS STUDIED BY MODEL SIMULATIONS

**Peter Tonev**

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

***Keywords:*** *ionospheric potential, DC global atmospheric electrical circuit, ionospheric conductivity, atmospheric conductivity, field-aligned currents, Weimer model, ionosphere-ground current, continuity equation*

***Abstract:*** *The role of the non-uniform distribution of the ionospheric potential $V_I$ in each hemisphere at polar latitudes (characterized by trans-polar potential difference $V_{IP}$ of 30-140 kV) is studied in the global atmospheric electrical circuit (AEC) below 100 km. The potential difference $V_{IP}$ is controlled by the solar wind (SW) parameters, hence, our goal is to estimate the AEC response to solar wind and solar activity. A numerical model is developed which serves to determine the electric currents and fields thus superimposed to basic 'fair-weather' AEC characteristics. This model is based on the continuity equation for the electric current density. Computations are made in the domain of altitudes 50-160 km at geomagnetic latitudes higher than 45° of a hemisphere. Sources for the superimposed electric currents and fields are the trans-polar potential difference $V_{IP}$ and the field-aligned currents at altitude 160 km. This upper boundary of the model domain is above the dynamo-region in which an effective closure of field-aligned currents is realized. We compare the superimposed currents and fields to AEC characteristics in lower ionosphere and mesosphere and show that these first are dominating in these regions. The influence of the IMF and SW variations on the dominating superposed electric currents and fields is studied. Their possible effects on the atmospheric parameters and processes are considered.*

# ЕЛЕКТРИЧЕСКА РЕАКЦИЯ НА ВИСОКОШИРОТНАТА СРЕДНА АТМОСФЕРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СЛЪНЧЕВИЯ ВЯТЪР, ПОЛУЧЕНА ЧРЕЗ СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ

**Петър Тонев**

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

***Ключови думи:*** *йоносферен потенциал, DC глобална атмосферна електрическа верига, йоносферна проводимост, атмосферна проводимост, надлъжни токове, модел на Weimer, ток йоносфера-земя, уравнение на непрекъснатостта*

***Резюме:*** *Изследва се ролята на неоднородното разпределение на йоносферния потенциал $V_I$ на високи ширини (той се характеризира с транс-поряна потенциална разлика $V_{IP}$ = 30-140 kV) в глобалната атмосферна електрическа верига (АЕВ) под 100 км. Транс-полярната потенциална разлика $V_{IP}$ се управлява от параметрите на слънчевия вятър, следователно, целта ни е да се направи оценка на реакцията на АЕВ на слънчевия вятър и слънчевата активност. Развит е числен модел, чрез който да се определят електрическите токове и полета добавени към основните величини 'при ясно време' в АЕВ. Този модел е базиран върху уравнението за непрекъснатост на плътността на електрическия ток. Направените изчисления са за височинната област 50-160 км на геомагнитни ширини над 45° в дадена полусфера. Като източници на въпросните добавени електрически токове и полета се приемат потенциалната разлика на транс-полярния потенциал $V_{IP}$ и надлъжните токове на височина 160 km. Тази горна граница на моделната област е над динамо-областта, в която се осъществява ефективно затваряне на надлъжните токове. Направено е сравнение на добавените електрически токове и полета със съответните базови в АЕВ и е показано, че първите доминират в тези области. Изследвано е влиянието на вариациите на междупланетното магнитно поле и на слънчевия вятър върху тези доминиращи електрически токове и полета. Разгледани са възможните им ефекти върху атмосферните параметри и процеси.*

## Introduction

According to the classical view, the DC global atmospheric electric circuit (AEC) [1,2] is determined by the electric currents generated by distributed over the globe lightning-producing thunderstorms (TS), and electrified shower clouds (ESC) producing currents only by dissipation of their electric charges [2,3]. According to recent observations [1-3], the global rate of the lightning discharges is about 50 $s^{-1}$.

The upward currents from TSs and ESCs charge the ionosphere to a positive potential $V_I$ of 250-300 kV with respect to ground; their closure is by the fair-weather downward current of density 1-6 $pA.m^{-2}$ [1-3] flowing from the ionosphere to the surface. An additional source takes place at high latitudes [4], and its contribution to AEC is estimated here: it is related to interaction of solar wind (SW) with magnetosphere and ionosphere, and is realized by the system of field-aligned currents (FAC) and the formation of trans-polar potential difference $V_{IP}$ of 30-140 kV in each hemisphere superimposed to the uniformly distributed ionospheric potential $V_I$. The influence of the potential difference $V_{IP}$ on AEC is examined here; this needs consideration of both sources.

At any moment in AEC operate about 1000 thunderstorms, most of them located at equatorial and low latitudes [3]: they produce cloud-ground lightning discharges realizing a temporal shortcut in the cloud-ground link in AEC [5] (unlike intracloud discharges). This link forms a bottleneck in AEC because of its large resistance [5, 6] in respect to the other AEC links; hence the contribution in AEC of lightning may be significant (its contribution is estimated between 2% [6] and 40% or more [5]). The ESCs contribute to the ionosphere by currents from dissipating cloud charges.

The electric currents in AEC exist due to ionization of the atmosphere (although weak), which provides conductivity. Different sources of ionization play a role in atmospheric regions. Between 3 km and 70-80 km galactic cosmic rays (GCR) contribute for ionization [7-9], so that up to 35 km GCR are the only ionization source [10-12]. Below 3 km the radioactive gases (radon, etc.) of terrestrial origin [13] are the only ionization source (photo-ionization plays a role above 35 km). In the high latitudinal ionosphere there are different additional ionization sources, e.g. precipitation particles, intense electric currents in auroral regions, GCR [8, 9], solar cosmic rays [14], anomalous cosmic rays [15], etc. These factors play an important role in formation of the ionospheric conductivity at high latitudes which has a key role in formation and distributions of the electric currents and fields in AEC originating from the potential difference $V_{TP}$ and superimposed to those originating by TSs and ESCs. The ionospheric electron density can also be influenced by electric fields generated above powerful thunderstorms [16].

Our goal is to evaluate by means of modeling the superimposed electric currents and fields at high latitudes generated by the SW-magnetosphere-ionosphere interactions considered above, and their relative role in AEC [17]. If such superimposed electric currents exist, they can form a very small 'residual' part of FAC due to their incomplete closure in the dynamo region. The closure of these 'residual' currents occurs mainly in the lower ionosphere, below 100 km, so that they will diminish quickly with lowering of the altitude. That is why we estimate the superimposed electric currents and related fields first in the lower ionosphere and mesosphere. For this goal, a 3D numerical model is developed, based on the continuity equation for the electric current density. Computations are made in the domain of altitudes 50-160 km at geomagnetic latitudes higher than 45° of one (north or south) of the hemispheres. The sources of the currents and fields studied (the trans-polar potential difference $V_{IP}$ and FAC at altitude 160 km) are taken in account as model boundary conditions.

Several facts support the idea that significant electric currents and fields can penetrate from the ionosphere dynamo-region to downward: *i*) The horizontal scale of the region of FAC and trans-polar potential is ~3000 km (or more during disturbed geomagnetic conditions) – tens of times larger than the vertical dimension of the region of interest [4]; *ii*) The magnitude of the potential difference $V_{TP}$ is comparable to the undisturbed ionospheric potential $V_I$. Different experimental and theoretical investigations support the possibility of penetration of 'residual' currents down to the Earth's surface. Experimental measurements [4,18] of the potential gradient and of air-earth current in Antarctica demonstrate that they correlate with the geomagnetic activity, actually due to the penetration of SW-controlled superimposed currents down to the ground. There are a series of theoretical investigations [19,20], which show a presence of significant superimposed electric fields in the high-latitudinal middle and lower atmosphere, and that these fields are re-oriented from horizontal in the middle atmosphere to vertical ones at the Earth's surface.

The estimations of the electric currents and fields superimposed to AEC, thus discussed, are useful in considerations of AEC as a possible link for the transmission of the solar influences to climate [21], and in revealing complex and incompletely understood system of links between: (a) AEC, conductivity and aerosols, the cloud microphysics which govern TS and ESC characteristics, global temperature, water content, climate, minor constituents [22,10] on one hand; (b) solar activity, galactic, solar and anomalous cosmic rays and high energy particles, on the other hand [9,11,12,15].

**Simulation Model**

A physically based numerical 3D steady-state model is proposed to determine the distributions of the electric current **j** and related field **E** in the region 0-100 km created by the electric potential $V_P$ at altitude $Z_B$=160 km at polar geomagnetic (gm) latitudes, and superimposed to the respective characteristics of AEC. This altitude is above the dynamo-region in which an effective closure of FAC is realized. The continuity equation for **j** is solved:

(1) $\nabla \cdot \mathbf{j} = 0$, where $\mathbf{j} = [\sigma]\mathbf{E}$, $\mathbf{E} = -\nabla\Phi$

In Eq.(1) $\Phi$ is the potential of **E**, $\Phi(z=160 \text{ km}) = V_{TP}$, $[\sigma]$ represents the conductivity. Eq.(1) is solved in spherical coordinates in a domain bounded by altitudes 0-160 km and gm co-latitudes $\theta \leq 45^0$. The distributions of FAC and $V_{TP}$ at altitude 160 km are determined for the specified SW parameters from the model of Weimer [23], and $V_P$ is used as a boundary condition to Eq.(1). Eq.(1) is solved numerically in succeeding steps for separate thin (≤ 0.5 km) height layers at 3D grid consisted of 3D rectangular elements. A modification of finite volume method [24] is used by parameters controlled by the ratio between the field-aligned and vertical $j_z$, and the transverse and horizontal $j_{PH}$ components of the superimposed current **j**.

The modifications of the electric characteristics of AEC are evaluated as function of the SW parameters. First, the distribution of the vertical superimposed electric current $j_z$ at altitudes below 100 km is studied by a representative set of variations of SW parameters and conditions of conductivity formation, and is compared (in different atmospheric regions, and at the surface) to the fair-weather current $j_{FW}$ provided by tropospheric electrical sources. The sensitivity of $j_z$ to variations of the key parameters for the geomagnetic activity (IMF components $B_z$, $B_y$, and of the solar wind velocity $V_{SW}$) are estimated. Computational results for the electric current $j_z$ and field $E_z$ are obtained in the mesosphere and lower ionosphere with respect of the specific conductivity status.

**Input Data**

Two types of input data are used in the model: *D1*) Data representing the response of the ionosphere to the SW-magnetosphere-ionosphere interaction close above the dynamo-region (related to FAC and superimposed electric potential at altitude of 160 km); *D2*) Conductivity in the model domain 0 - 160 km at latitudes > 45°. The model of Weimer [23] is used to obtain the input data of type *D1* for specified steady-state parameters of the IMF and SW: $B_y$, $B_z$ IMF components, the density *N* and velocity $V_x$ of the SW plasma, the tilt of the Earth' axis related to SW plasma flow. Input data *D1* are presented by the 2D distributions of FAC and of the electric potential $V_{TP}$ obtained from the Weimer model. Physically adequate data can also be obtained with the use of the SuperDARN radar network [25].

Input data of type *D2* are the spatial distributions of ionospheric conductivity (in region 80-160 km), and of atmospheric conductivity (between 0 and 80 km) in the model domain. The ionospheric conductivity is anisotropic and described by a tensor $[\sigma]$ characterized by three components: the field-aligned $\sigma_0$, Pedersen $\sigma_P$, and Hall $\sigma_H$. conductivities. It also depends on the inclination angle of the geomagnetic field lines. Here it is determined from equation $r/\sin^2\theta = const$ where *r* is the distance from the Earth's center, and $\theta$ is the geomagnetic (gm) co-latitude. The interactive Ionospheric Conductivity Model IRI2007 (http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/ionocond/sigcal/index.html) is used to represent 3D distributions of $\sigma_0$, $\sigma_P$, and $\sigma_H$ for a specified date, with account of space weather conditions. For polar latitudes data *D2* require to take into account different factors with a significant impact on conductivity [11] which add their contribution to formation of conductivity. In the atmospheric region 0-70 km we use a fixed 3D conductivity distribution of the scalar conductivity for moderate solar activity and undisturbed conditions obtained according to recent knowledge [3,13], and by the use of models [8,26-28]. The representation used takes into account dependency of the conductivity profile by diurnal distributions and latitude. Variations of this fixed conductivity distribution can take place due to solar activity change (in stratosphere, by modulated GCR [8]), due to volcano eruptions (leading to dramatic reduction of stratospheric conductivity in polar region [3,13]), and to pollution which takes place close to surface [13].

**Results and conclusions**

Seven sample cases related to sets of different SW parameters are shown in Table 1. The maximum (positive and negative) values of the electric potential $V_{TP}$ and FAC density are demonstrated for each case. These values are obtained from the Weimer model [23]. Table 1 illustrates parameters characterizing the input data to our model in each case.

Computations of the superimposed electric current and field in the lower ionosphere 60 - 100

Table 1. Maximum & minimum values at boundary $z$ =160 km of the electric potential $\Phi$ and respective field-aligned currents $j$ in sample cases, obtained from Weimer model [23]

| Case $N$ | $B_y$, nT | $B_z$ nT | $V_x$, km.s$^{-1}$ | $\Phi_{max}$, kV | $\Phi_{min}$ kV | $\Delta\Phi$ kV | $j$ ($\Phi_{max}$) μA/m$^2$ | $j$ ($\Phi_{min}$), μA/m$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 8 | 400 | 11.3 | -10.5 | 21.8 | 0.29 | -0.31 |
| 2 | 2 | 4 | 400 | 14.9 | -14.5 | 29.4 | 0.42 | -0.27 |
| 3 | 0 | -0.5 | 300 | 17.8 | -20.6 | 38.4 | 0.60 | -0.30 |
| 4 | 2 | -2 | 400 | 31.4 | -37.6 | 69.0 | 0.63 | -0.57 |
| 5 | -5 | -5 | 400 | 50.0 | -58.0 | 108.0 | 0.78 | -0.82 |
| 6 | -7 | -10 | 500 | 65.8 | -73.9 | 139.7 | 0.90 | -0.86 |
| 7 | -8 | -14 | 600 | 88.6 | -97.0 | 185.6 | 0.94 | -1.10 |

km are made by data for the ionospheric conductivity obtained from IRI2007 for 21 March 2005. Figs. 2 and 3 illustrate results, for the distributions of the field-aligned electric current and field, respectively (below 70 km their vertical components are considered, instead) which are realized by solar wind parameters $B_y$= –4 nT, $B_z$= –7 nT, $V_x$ = 400 km/s, $N$ = 8 cm$^{-3}$ and by tilt angle of the Earth axis = 0°, in the region of interest 60-100 km at four locations corresponding to different magnetic local time: 00:00, 06:00, 12:00, and 18:00. Fig.2 shows that the 'residual' current from FAC in this region decrease exponentially with altitude, but slower at lower heights (their scale-height becomes larger by small altitude $z$) because of the decrease of the effectiveness of their closure. At the region considered these currents are significantly larger than those generated in GEC by tropospheric sources.

Fig.3 shows the related field-aligned (vertical below 70 km) electric fields. These electric fields increase at lower altitudes; they can reach tens of mV/m at the lower ionosphere boundary (65-70 km). This increase is a result of the fact that below a definite altitude the closure by transverse currents becomes ineffective since the transverse resistance is larger than the resistance down to the surface.

Fig.4 demonstrates the sensitivity of the vertical electric field $E_z$ studied by us to each of the considered parameters $B_y$ (dashed curves 1), $B_z$ (solid curves 2) and $V_x$ (solid curves 3) at two altitudes (80 km and 70 km). The largest relative variations of this electric current are produced by component $B_z$ when $B_z$< 0.

The DC aspects of AEC are considered here, and the relative role in it of the FAC and trans-polar potential is estimated. The obtained results show that the SW-magnetosphere-ionosphere interactions considered lead to generation of non-neglecting electric fields in the lower ionosphere at high gm latitudes. These fields are controlled by the SW parameters and space weather, and possibly can contribute to processes like electron heating in the mesosphere. The question arises whether in some cases and under specific conditions the electric field superimposed in the mesosphere can be large enough to explain strong V/m electric fields which have being systematically observed at high latitudes [29] and which show correlation with the geomagnetic activity.

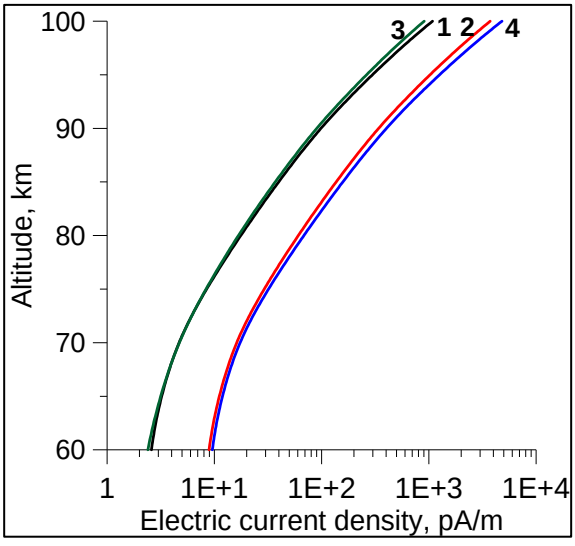



Fig. 1. Vertical superimposed electric current $j_z$ as function of the altitude 60-100 km by gm longitudes at MLT = 00:00, 06:00, 12:00 and 18:00 (curves 1-4, respectively). The IMF - SW components: $B_y$ = 4 nT, $B_z$ = 7 nT, the tilt angle of the Earth is 0$^0$, the plasma density is $N$ = 8 cm$^{-3}$, $V_x$=400 km/s.

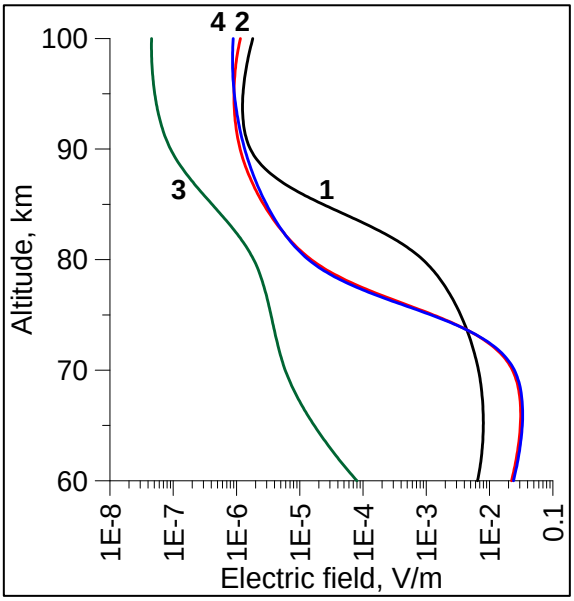



Fig. 2. Same as Fig.1, but for the vertical electric field $E_z$.

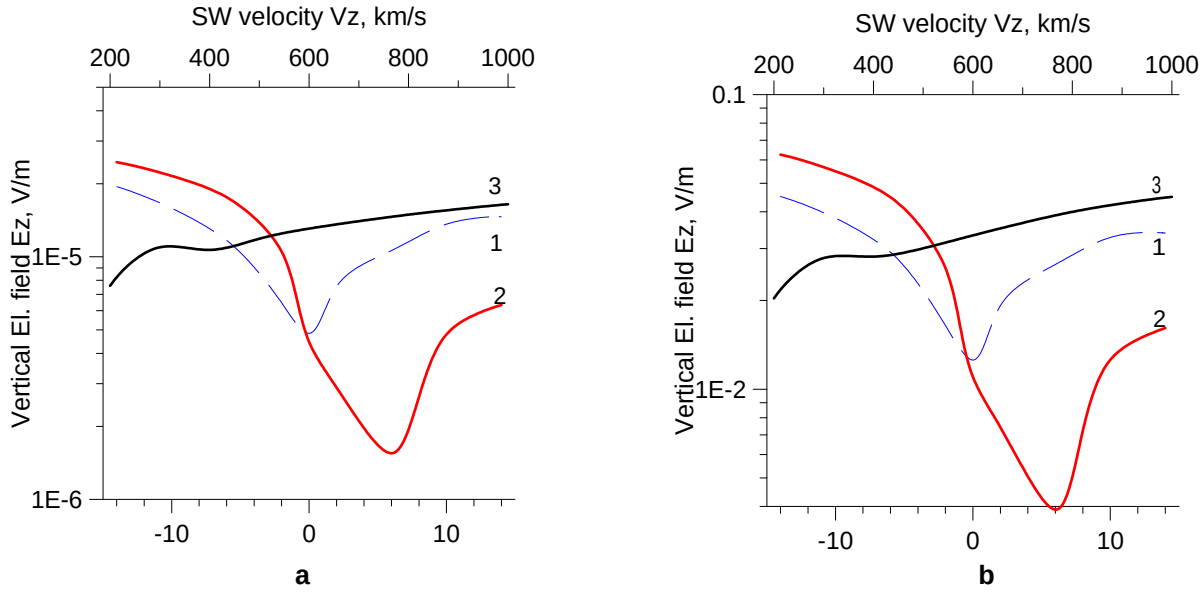



Fig. 4a, b. Maximum vertical superposed electric field Ez at altitudes 80 km (**a**) and 70 km (**b**) as function of the IMF components $B_y$ (curve 1), $B_z$ (2), and SW velocity $V_z$ (3). $B_y$ varies by fixed other parameters: $B_z$=0, tilt angle of the Earth $0^0$, plasma density $N$ = 8 $cm^{-3}$. $V_z$= 600 km/s. $B_z$ varies by $B_y$=0 and the same fixed parameters. Variations of the SW velocity $V_z$ are by $V_z$= 500 km/s, $B_y$ = 0, $B_z$ = 3, $N$ = 8 $cm^{-3}$.

**References:**


1. Bering, III, E.A., A.A.Few, J.R.Benbrook. The global electric circuit, Physics Today, 51 (10), 1998, 24-30.
2. Rycroft, M. J., S. Israelsson, C. Price. The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change, J. Atmos. Sol-Terr. Phys., 62, (17-18), 2000, 1563-1576.
3. Rycroft, M.J., R.G. Harrison, et al. An overview of Earth's global electric circuit and atmospheric conductivity, Space Sci Rev, 137, 2008, 83-105, doi 10.1007/s11214-008-9368-6.
4. Tinsley, B.A. Influence of Solar Wind on the Global Electric Circuit and Inferred effects on Cloud Microphysics, Temperature and Dynamics in the Troposphere, Space Sci. Rev. 94 (1-2), 2000, 231-258.
5. Stozhkov, Y.I. The role of cosmic rays in the atmospheric processes, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 29, 2003, 913-918.
6. Rycroft, M.J., A. Odzimek, et al., New model simulations of the global atmospheric electric circuit driven by thunderstorms and electrified shower clouds: The roles of lightning and sprites, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 69, 2007, 2485-2509.
7. Usoskin, I., L. Desorgher, et al. Solar and Galactic Cosmic Rays in the Earth's Atmosphere. Acta Geophysica, 57, 2009, 1, 88-101.
8. Velinov, P.I.Y., L. Mateev. 1990, Effects of Galactic Cosmic Rays and High Energy Particles on the Parameters of the Global Atmospheric Electrical Circuit. Geomagnetism and Aeronomy, 30, 4, 554 - 557.
9. Velinov, P.I.Y., A. Mishev. 2007, Cosmic Ray Induced Ionization in the Atmosphere Estimated with CORSIKA Code Simulations. C.R. Acad. bulg. Sci., 60, 5, 495-502.
10. Velinov, P.I.Y., 1968, On Enhanced Ionization in Lower Ionosphere of Polar Cap Due to Solar Corpuscular Fluxes. Izvestia AN SSSR, phys., 32, 11, 1906-1909.
11. Velinov, P.I.Y., et al. 2001, Determination of Electron Production Rates Caused by Cosmic Ray Particles in Ionospheres of Terrestrial Planets. J. Adv. Space Res., 27, 11, 1901-1908.
12. Velinov, P.I.Y., H. Ruder, et al. 2004, Method for Calculation of Ionization Profiles Caused by Cosmic Rays in Giant Planet Ionospheres from Jovian Group, J. Adv. Space Res., **33**, 2, 232-239.
13. Tinsley, B.A., L.Zhou. Initial results of a global circuit model with variable stratospheric and tropospheric aerosols, J.Geoph.Res., 111, 2006, D16205.
14. Velinov, P.I.Y., 1970, Solar Cosmic Ray Ionization in the Low Ionosphere. J. Atmos.Terr.Phys.,32,139-147.
15. Velinov, P.I.Y., 1991, Effect of the Anomalous Cosmic Ray (ACR) Component on the High-Latitude Ionosphere. Compt.rend. Acad. bulg. Sci., 44, 2, 33-36.
16. Velinov, P.I.Y., Chr. Spassov, S. Kolev. 1992, Ionospheric Effects of Lightning during the Increasing Part of Solar Cycle 22. J. Atmosph. Terr. Phys., 54, 10, 1347-1353.
17. Tonev, P.T., Estimation of currents in global atmospheric electric circuit with account of transpolar ionospheric potential, Compt.rend. Acad. bulg. Sci., 65, 5, 2012 (in press).
18. Corney, R.C., G.B. Burns, et al. The influence of polar-cap convection on the geoelectric field at Vostok, Antarctica, J.Atmos. Solar-Terr. Phys, 65, 2003, 345-354.
19. Park, C.G. Downward mapping of high-latitude ionospheric electric fields to the ground, J. Geophys. Res., 81(1), 1976, 168-174.
20. Ptitsyna, N., T. J. Tuomi, et al. Magnetospheric-ionospheric effect on the ground-level atmospheric electric field at Helsinki, J. Atmos. Sol-Ter. Phys., 59 (1), 1997, 99-105.
21. Harrison, R.G., The global atmospheric electrical circuit and climate Surveys in Geophysics 25, (5-6), 2004, 441-484, doi: 10.1007/s10712-004-5439-8.
22. Velinov, P.I.Y., N.A. Smirnova, V.A. Vlascov. Hybrid Quadri - Ionic Model of the Low Ionosphere. J. Adv. Space Res., 4 (1), 123- 130, 1984.
23. Weimer, D.R. Models of high-latitude electric potentials derived with a least error fit of spherical harmonic coefficients, J.Geoph.Res., 100, 1995, 19595-19608.
24. Eymard, R. Gallouet, T. R., Herbin, R. The finite volume method. Handbook of Numerical Analysis, Vol. VII, 2000, p. 713-1020. Editors: P.G. Ciarlet and J.L. Lions.
25. Baker, J.B.H., J M. Ruohoniemi, K.A. Sterne. SuperDARN ionospheric space weather, IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag. 26 (1), 2011, 30-34.
26. Velinov, P.I.Y., L. Mateev. Response of the Middle Atmosphere on Galactic Cosmic Ray Influence. Geomagnetism and Aeronomy, 30, 4, 1990, 593-598.
27. Hale, L.C. Middle atmosphere electrical structure, dynamics and coupling, Adv.Space.Res., 4 (4), 1984, 175-186.
28. Mateev, L., P.I.Y. Velinov. 1992, Cosmic Ray Variation Effects on the Parameters of the Global Atmospheric Electric Circuit. J. Adv. Space Res., 12, 10, 353-356.
29. Zadorozhni, B., A, A.Tyutin. Universal diurnal variations of mesospheric electric fields, Adv.Space Res, 20, 1997, 2177-2182.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# THE AURORAL 5577 Å AND 6300 Å EMISSIONS DURING SUBSTORMS

**Veneta Guineva[1], Irina Despirak[2], Rolf Werner[1]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Polar Geophysical Institute, RAS, Apatity, Murmansk region, 184200, Russia*
*e-mail: v_guineva@yahoo.com*

***Keywords:*** *Aurora emissions, substorms, auroral bulge, polar edge boundaries.*

***Abstract:*** *The 5577 Å and 6300 Å emissions intensities have been studied during substorms development. The emissions intensities in front of the polar edge of the auroral bulge, in the polar edge and inside it have been compared and estimations about the nature of the particle precipitation spectra in these regions have been made.*

*Data from two All-Sky Imagers: at Andenes (69.3°N, 16.03°E) and at Longyearbyen, Svalbard (78.20°N, 15.83°E), Norway from 2005-2006 observations have been used. The interplanetary conditions have been determined by WIND satellite data. The substorm development has been followed up by the magnetic field components data from the IMAGE magnetometer network. Different methods to determine the boundaries of the polar edge of the substorm auroral bulge are examined. A simple threshold method is applied (in our case an increase of the 5577 Å emission intensity above its mean value by $1\sigma$ - least square deviation). The boundaries of the bulge polar edge were evaluated and analyzed by Chow test, as well. The obtained by both methods boundaries coincide very well.*

# АВРОРАЛНИТЕ ЕМИСИИ 5577 Å И 6300 Å ПО ВРЕМЕ НА СУББУРИ

**Венета Гинева[1], Ирина Деспирак[2], Ролф Вернер[1]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Полярен геофизически институт, РАН, Апатити, Мурманска област, 184200, Русия*
*e-mail: v_guineva@yahoo.com*

***Ключови думи:*** *аврорални емисии,суббури, аврорална изпъкналост, граници на полярния край на авроралната изпъкналост.*

***Абстракт:*** *Изследвани са интензивностите на емисиите 5577 Å и 6300 Å при развитие на суббури. Сравнени са интензивностите на емисиите преди полярния край на авроралната изпъкналост, в полярния край на изпъкналостта и вътре в нея и е направена преценка на характера на спектъра на изсипващите се частици в тези области.*

*Използвани са данни от две all-sky камери: в Анденес, (69.3°N, 16.03°E) и Лонгиербиен, Шпицберген (78.20°N, 15.83°E), Норвегия, от наблюдения през 2005-2006 г. Междупланетните условия се определят по данни от спътника WIND. Развитието на суббурите е проследено по данни за компонентите на магнитното поле от мрежата магнитометри IMAGE. Разгледани са различни методи за определяне на границите на полярния край на суббуревата аврорална изпъкналост. Приложен е прост метод с използване на праг (в случая нарастване на интензивността на емисията 5577 Å над средната й стойност с $1\sigma$ - средно квадратично отклонение). Границите на полярния край на изпъкналостта са определени и анализирани чрез Chow тест. Получените по двата метода граници съвпадат много добре.*

## Introduction

Substorms are a particular phenomenon, related to a number of processes in the magnetosphere and ionosphere, summarized by Akasofu [1]. It was established that the substorm development goes on in the following way: the substorm expansion phase begins with the flash of one arc, usually the most equatorial one between the existing discrete auroral arcs. After this the area occupied by bright, short-lived arcs – the auroral bulge – is expanding in all directions, mainly toward

the pole, to the West and to the East [2, 3]. At the time of maximal stage of substorm development the auroral bulge reaches its greatest width and occupies a maximum area. Further, during the recovery phase, the auroral bulge begins to shrink, its polar edge moves to the equator and, the South one – to the pole, the bright discrete arcs degenerate into irregular strips and fade [4, 5].

The emissions 5577 Å and 6300 Å of the atomic oxygen are among the most prominent auroral emissions. They result from forbidden OI transitions. The oxygen green line 5577 Å is emitted by $O(^1S)$ atoms with radiative lifetime 1 s. The red line 6300 Å is part from the doublet 6300/6364 Å, originating from the $O(^1D)$ state, only 2 eV above the ground state of O. The $O(^1D)$ state is metastable, with radiative lifetime about 100s. [6]. The auroral optical emissions are observed at altitudes above 100 km and generate from precipitating particles with energies <15 keV [7]. The intensity of the separate optical emissions is related to the energy and flux of precipitating electrons in the corresponding energy band. The 5577 Å intensity depends on the average fluxes in 108-120 km height range (2-7 keV energy range) [8], and the 6300 Å intensity – to the average fluxes in the 180-250 km height range ($5.10^{-3}$ – 5 eV energy range). The change of the ratio $I_{6300Å}/I_{5577Å}$ is an indicator of the changes in the precipitating energy distribution. The intensity ratios can be used to estimate the characteristic energy of the precipitating auroral particles and even to study the atmosphere composition changes due to auroral precipitation [9].

Auroras observations have always played a fundamental role for the study of the solar wind-magnetosphere-ionosphere interaction during substorms. The auroral emissions behaviour during substorms is the result of a chain of subsequent phenomena connected to energy releases and changes in the near-Earth magnetospheric tail regions. Therefore the study of the auroral arcs and smaller structures gives information about the transfer of energy and momentum between these regions [10]. To clarify the processes running during substorms, the examination of the emissions behaviour in different regions, in particular at the polar edge of the auroral bulge and inside it. For that reason the boundaries of these regions have to be defined. Such definitions are not suggested. It was established that discrete auroral emissions occur at the poleward edge of the bulge [2] that corresponds to higher energy particles and brighter emissions. But there are only a few works in which energy particles in auroras at the polar edge and inside the auroral bulge are compared. For example, such a work, in which the dynamics of the polar boundary of the auroral oval during substorm on the basis of all-sky camera and spectrograph observations in Mirniy observatory was studied in the work by Zverev and Starkov [11]. It was shown that more energetic particles are observed at the polar edge of the luminosity band.

In this work we present studies to determine the boundaries of the polar edge of the auroral bulge and we submit methods and criteria to specify them. In the work All-Sky Imagers data are presented, revealing the substorm development as it was seen in the auroras displays. We consider the variations of auroral emissions at the polar edge of the auroral bulge and inside the bulge.

**Data used**

For the study, data from 2 all-sky imagers (ASI) are used. The all-sky imagers are positioned at Andøya Rocket Range (ARR), Andenes (AND) (69.3°N, 16.03°E) and in the Auroral Observatory, Longyearbyen, Svalbard (LYR) (78.20°N, 15.83°E). Both devices are identical. The all-sky imagers have 180° field of view. The used CCD cameras are monochromatic, 512x512 pixels, with 16-bit intensity resolution and up to 10 s time resolution. The 5577 Å and 6300 Å emissions are recorded automatically with 10 s time resolution. The raw images are accumulated at the Oslo University.

Data by IMAGE magnetometers network are used to verify substorm presence, substorm onset time and further development. The timing of negative H-bays is an established substorm indicator [3] and substantiates the identification and development of substorms.

Data from WIND satellite are used to monitor the interplanetary conditions.

We used the criteria for data selection listed in [14]. Measurements of the ASI at Andenes and Longyearbyen from the 2005-2006 observational season were used for the study.

**Data processing**

A part of the AND raw images (512x512 pixels) is taken in such a way that they are centered at the station and a field of view of ±70˚ is obtained. Data interpolation is performed to obtain the intensities in 467x467 equidistant points. Thus, a space angle resolution of 0.3˚ near zenith is obtained. But the image pixels, calculated this way, are not situated at the same distance from each other. In order to get a better notion of the real pixel locations, the images are projected on the geographic map. The latitude/longitude set and the continental borders are plotted. An image section is used to obtain a circle area corresponding to ±70˚ field of view of the all-sky imager. In the purpose to obtain better pictures, in which the emerging or passing features are well seen in a number of

cases, using the same scale, ln(I(counts)) is drawn in the images. The location of the station magnetic zenith is marked by a black point (such processed images are presented in Fig.1).

LYR raw images are processed the same way. There a field of view of ±75° is cut and a resolution of 0.35° near zenith is obtained.

To follow the time development of the intensities, we have examined the intensities of both lines in geomagnetic zenith of the station. The geographic and geomagnetic coordinates of the data points have been computed for heights 120 km for the 5577 Å emission and 250 km for the 6300 Å one. To construct the course of the emissions intensities and their ratio, we are using the data point of each image, corresponding to the station geomagnetic zenith. The obtained series are interpolated in order to obtain equidistant points, coinciding for 5577 Å and 6300 Å luminosity.

Unfortunately, the time dependence of the zenith intensity cannot give information about its spatial configuration. For example, looking only the course plots, we can't know if a feature, present there, is an arc, and if so, whether this arc is moving over the station, or is generated there and fade without moving. That is why we are examining both, the consecutive images and the corresponding time dependences.

**Methods of determining the boundaries of auroral zone structures**

The simplest and widespread method to determine the boundaries of a structure in the emissions intensity distribution is some threshold method. The place or the moment when the intensity reaches this threshold represents the searched boundary, and the intensity values above the threshold belong to the examined structure. This way the boundaries of one-dimensional as well as two-dimensional distributions are determined. Different variants to determine the threshold exist. Usually its value is higher than the mean intensity in the observed region. In the past, the sum of the mean value plus a part of the maximal value, for example 10% of the maximal structure intensity was used [12]. In consequence of the fast development of the computer technologies and the possibility of fast fulfillment of a lot of computations as additional value to the mean one was assumed the standard deviation σ. At present the most common threshold is the mean value + 1σ [e.g. 13, 14]. The standard deviation is given by:

(1) $$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

where

(2) $$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i ,$$

and *n* is the values number. So the threshold intensity value is:

(3) $$I_{threshold} = \bar{x} + \sigma$$

The boundary between two regions – "calm" glow and "structure" (which can be an arc or any other structure) can be determined by Chow test [15] as well. Chow test is a statistical and econometric test about that if the coefficients of two linear regressions of different data sets are equal. In econometrics the Chow test is mostly used to analyse time series in order to determine structural breaks or changes. Let us examine two groups of data, $N_1$ and $N_2$ in number, respectively. If *S* is the sum of the squared residuals from the combined data $n=N_1+N_2$: $S = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$, $S_1$ and $S_2$ are the sums of the squared residuals from the first and second group, respectively: $S_1 = \sum_{i=1}^{N_1}(x_i - \bar{x})^2$, $S_2 = \sum_{i=1}^{N_2}(x_i - \bar{x})^2$, then the Chow test statistic is:

(4) $$\frac{(S - (S_1 + S_2))/(k)}{(S_1 + S_2)/(N_1 + N_2 - 2k)}$$

This test statistic follows the F distribution with *k* parameters and *(n-2k)* degrees of freedom.

**Determination of the boundaries of the polar edge of the auroral bulge**

The polar edge represents a dynamic band in the North part of the substorm bulge, as it was noted by Zverev and Starkov [11]. This band comprises the arc flashed first during the substorm beginning (usually the brightest one). The polar edge of the substorm bulge moves fast to the pole, its form and dimensions, as well as the emissions intensities inside it changing meanwhile in time scales of the order of seconds.

To determine the polar edge boundaries, the consecutive intensity distributions and the course of the 5577 Å emission in magnetic zenith have been used. In Fig.1 the development of a substorm over Andenes on 3.11.2005 is shown. Chosen two-dimensional distributions of 5577 Å emission intensity are presented, projected on the geographic map. The universal time is written in the upper part of every image. The geomagnetic zenith is marked by a black dot. In the upper row, the development, the movement of the polar edge of the bulge to the station and its passage over the zenith can be seen. In the bottom row, some arcs and other structures, generated or moving over zenith or near it inside the auroral bulge are shown.

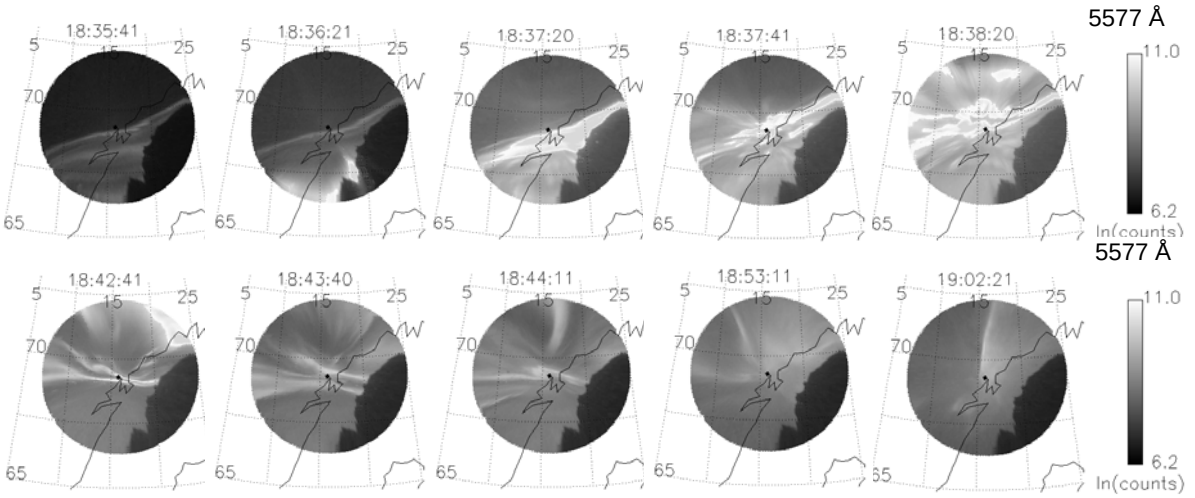



Fig.1. Chosen images of 5577 Å distributions by Andenes ASI during the development of a substorm on 3 November 2005. The upper row shows the substorm appearance in the field of view, the movement of the polar edge of the auroral bulge to the station geomagnetic zenith, and its overpassing. The bottom row presents some arcs and other structures in the auroral bulge appeared in zenith or near it.

Fig. 2 shows a part of the course of 5577 Å and 6300 Å emissions intensities in zenith, including the polar edge of the auroral bulge. The boundaries of the polar edge of the bulge are determined by the described above simple threshold method by the green emission development. The mean value was obtained for 2-3 hours measurements (700-1000 points), including the longest possible time interval before the substorm onset and the time of the substorm itself. The calculated threshold for this substorm is 8500 counts/sec. It is presented in Fig.2 by a dotted line. The polar edge boundaries are obtained in 18:37:30 UT and in 18:39:50 UT. But by examining the consecutive images it was found out that after its passage over zenith, the green arc of the polar edge broadened strongly, and in 18:38:41 UT crumbled away into many finer structures, arcs and rays. The polar edge of the bulge was already to the North, still in the field of view. A new arc fleshed there in 18:39:20 UT. The intensity sharply decreased, but the whole field of view stayed illuminated and the intensity was higher than the threshold. The red arc followed the same behaviour and broke down in 18:38:02 UT. So, we took the polar edge boundaries in 18:37:30 UT and 18:38:02 UT.

To determine the boundaries of the polar edge of the auroral bulge by Chow test, the test is applied for one parameter – the green emission 5577 Å. Then

(5) $$F(1, n-2) = \frac{(S - S_1 - S_2)(n-2)}{S_1 + S_2}$$

For the *F* distribution we have

(6) $$F(1, \infty, 0.95) = 254$$

Both examined regions differ by their structure, if the obtained values of *F* are greater than 254, and the precise boundary between the regions coincides with the *F* maximum. As an example, we present the application of the Chow test for the substorm on 3.11.2005 observed above Andenes in 18:37 UT. When choosing the interval containing two regions between which we will search a

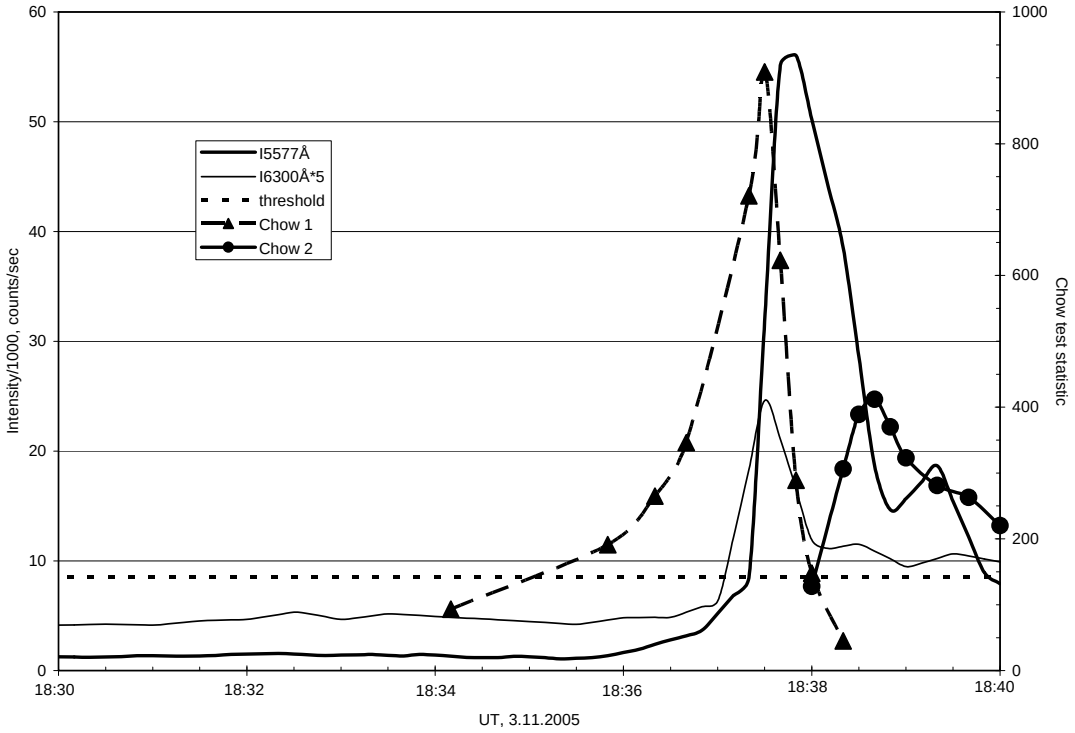



Fig. 2. Course of the 5577 Å and 6300 Å emissions intensities in the region of the polar edge of the auroral bulge during the substorm on 3.11.2005 in the geomagnetic zenith of Andenes station. The computed threshold is marked by a dotted line. The calculated values of the Chow test statistic to determine both boundaries of the polar edge of the bulge are plotted in the graph, connected by different lines. The triangles stand for the North boundary (Chow1) and the points – for the South one (Chow2). The maxima of the obtained dependences indicate the polar edge boundaries according to the Chow test.

boundary, several considerations have to be taken in mind: first, it is better to take an interval as long as possible, but on the other hand, the interval must cover two different regions, and not for example two regions, one of which include different structural elements.

For the determination of the North boundary of the polar edge of the auroral bulge the regions are the comparatively undisturbed glow before the substorm and the polar edge itself. These two regions are radically different and the boundary between them should be clearly outlined. For the common interval we don't take the values from the beginning of the measurements in 16:00 UT because some enhanced activity is observed about 17:20 UT, which could twist the result. Therefore we take the measurements from 18:00 UT to 18:38:02 UT, the moment determined as polar edge boundary by the used threshold method. The number of the data in this interval is $n$ = 229, and the degrees of freedom are 227. After the implemented calculations and comparisons a maximal value of $F$ = 909 at data number 921 which corresponds to 18:37:30 UT and 5577 Å intensity of 31.8 counts/sec. The obtained Chow test statistics (F-values) are presented in Fig.2. by triangles. By the threshold method the boundary is obtained at $8.5 \times 10^3$ counts/sec., which is just in 18:37:30 UT for the North boundary of the polar edge of the substorm bulge. Then for the first time an intensity value above the threshold is registered. The boundaries, obtained by both methods, completely coincide.

The determination of the South boundary of the polar edge of the auroral bulge involves the study of an interval, including the polar edge of the bulge and the measurements inside the auroral bulge. The determination of this boundary appears more complex because both regions don't differ so much, inside the bulge there are arcs, although not so intensive as the polar edge. For our case we examine the time interval from 18:37:30 UT, which is the defined by both methods North boundary of the polar edge of the bulge, to 19:26:41 UT, as long as we assume that the station zenith is inside the bulge. The number of the data in this interval is 287, and the degrees of freedom are 285. The Chow test statistic study leads to s maximal value $F$=412 for data number 927, in 18:38:30 UT. The obtained $F$ values are presented in Fig.2 as points. By the threshold method this boundary is obtained in 18:39:50 UT, but after the described above examinations the South boundary position is accepted in 18:38:02 UT. The obtained by both methods boundaries are close to each other. It appears that in this case the South boundary of the polar edge of the bulge is determined more accurately by Chow test, whereas using the threshold method an error would be made if only the intensity course in zenith is observed and the overall spatial development isn't taken into account.

## Conclusions

A definition of the polar edge as a dynamic band in the North part of the auroral bulge comprising the brightest arc fleshed first during the substorm onset is assumed.

Criteria to define the boundaries of the polar edge of the auroral bulge by optical measurements are submitted. Two methods are applied: a threshold method and Chow test method. The boundaries determined by both methods coincide very well. The polar edge boundaries of the auroral bulge can be determined by these methods when studies of the substorm bulge are carried out.


## Acknowledgements

Data access has been provided under the Project “ALOMAR eARI” (RITA-CT-2003-506208), Andenes, Norway. This Project received research funding from the EC’s 6th Framework Program.

We are grateful to E. Trøndsen and the University of Oslo, Department of Physics, Oslo, Norway for providing data from the All-Sky Imagers at Andenes and Longyearbyen and for computing the geographic coordinates of both image matrices and to Dr. S. Marple and the Department of Communications Systems at Lancaster University (UK) for the transform of the geographic coordinates of the image matrices in geomagnetic ones.

The study is part of a joint Russian -Bulgarian project “The influence of solar activity and solar wind streams on the magnetospheric disturbances, particle precipitations and auroral emissions” of PGI RAS and STIL-BAS under the program for fundamental space research between RAS and BAS.


## References:


1. A k a s o f u, S.-I., 2004. Several ‘controversial’ issues on substorms. *Space Sci. Rev.,* 113, pp.1-40.
2. A k a s o f u, S.-I., 1964. The development of the auroral substorm. *Planet. Space Sci.,* 12, pp.273-282.
3. A k a s o f u, S.-I., 1965. Dynamic morpholody of auroras. *Space Sci. Rev.*, 4, pp.498-540.
4. S t a r k o v, G. V., Ya. I. F e l d s h t e I n, 1971. Substorms in the polar auroras. *Geomagnetism and aeronomy*, 11, pp.560-562.
5. I s a e v, S. I., M. I. P u d o v k i n, 1972. Polar aurora and processes in Earth magnetosphere (Ed. OL, A.I., Moskow: Nauka).
6. R e e s, M.H., D. L u c k e y, 1974. Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions 1. Model computations. *J. Geophys. Res.* 79, pp.5181-5185.
7. K o s c h, M. J., F. H o n a r y, C. F. d e l P o z o, and S.R. M a r p l e, 2001. High-resolution maps of the characteristic energy of precipitating auroral particles. *J. Geophys. Res.* 106(A12), 28925-28937.
8. D e l P o z o, C. F., M. J. K o s c h, and F. H o n a r y, 2002. Estimation of the characteristic energy of electron precipitation. *Ann. Geophys.* 20, pp.1349-1359.
9. H e c h t, J. H., D. J. S t r i c k l a n d, M. G. C o n d e, 2006. The application of ground-based optical techniques for inferring electron energy deposition and composition change during auroral precipitation events. *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 68, pp.1502–1519.
10. F r e y, H.U., O. A m m, C. C. C h a s t o n, S. F u, G. H a e r e n d e l, L. J u u s o l a, T. K a r l s s o n, B. L a n c h e s t e r, R. N a k a m u r a, N. Ø s t g a a r d, T. S a k a n o i, E. S é r a n, D. W h I t e r, J. W e y g a n d, K. A s a m u r a, M. H I r a h a r a, 2010. Small and meso-scale properties of a substorm onset auroral arc. *J. Geophys. Res.* 115, A10209, doi:10.1029/2010JA015537.
11. Z v e r e v, V. L., and G. V. S t a r k o v, 1972. Dynamic of polar boundary of aurora oval in process of auroral substorm development. in: *Sbornik Antarktika*, The USSR Academy of Sciences, Nauka, Moskva, 11, pp.29-40.
12. G o g o s h e v, M. M., G. G. S h e p h e r d, P. V. M a g l o v a, V. Chr. G u i n e v a and Ts. P. D a t c h e v, 1987. Structure of the Polar Oval from Simultaneous Observations of the Optical Emissions and Particle Precipitations During the Period of High Solar Activity 1981 - 1982, *Adv. Space Res.*, 7, pp.(8)7 - (8)10.
13. C o n s o l i n i, G., E. P. B a l s a m o, M. C a n d i d i, P. D e M i c h e l i s, M. F. M a r c u c c i, and L. M o r l c i, 2009. Auroral observations at the Mario Zucchelli Base (Antarctica). Morphological features. *Mem. S. A. It.* 80, pp.268-269.
14. G u i n e v a, V., I. D e s p i r a k, E. T r ø n d s e n, R. W e r n e r, 2011. Peculiarities of the auroral emissions during substorms associated with high-speed solar wind streams, *Opt. Pura Apl.,* 44(4), pp.617-622.
15. C h o w, G. C., 1960. Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econom.* 28 (3), pp.591–605.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧНАТА СТАНЦИЯ Vantage Pro2 Plus ЗА АТМОСФЕРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ИКИТ, ГР. СТ. ЗАГОРА

**Веселин Ташев[1], Ролф Вернер[1], Мариана Горанова[2], Ангел Манев[1], Богдана Мендева[1], Димитър Вълев[1]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*[2]Технически университет София, Факултет по компютърни системи и управление*
*e-mail: veselinlt@abv.bg;*

***Ключови думи:*** *Слънчева радиация, слънчева енергия, метеорологични измервания*

***Резюме:*** *Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus е предназначена за наблюдение на метеорологичните параметри на атмосферата като температура, относителна влажност, атмосферно налягане, валежи, скорост и посока на вятъра. С допълнителни сензори се измерва слънчевата радиация и ултравиолетово излъчване. Освен директно измерваните метеорологични параметри могат да се изчисляват и изследват и други характеристики на атмосферата и слънцето. В настоящето изложение са дадени няколко такива примера. Чрез интегриране на данните за слънчева радиация могат да се получат резултати за слънчевата енергия, която се усвоява за определен период от време от единица площ на земната повърхност.*

# APPLICATION WEATHER STATION Vantage Pro2 Plus FOR ATMOSPHERIC RESEARCH IN THE SRTI DEPARTMENT STARA ZAGORA

**Veselin Tashev[1], Rolf Werner[1], Mariana Goranova[2], Angel Manev[1], Bogdana Mendeva[1], Dimitar Valev[1]**

*[1]Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Technical University Sofia, Faculty of Computer Systems and Control*
*e-mail: veselilt@abv.bg*

***Keywords:*** *Solar radiation, solar energy, measurement of meteorological parameters*

***Abstract:*** *Weather Station Vantage Pro2 Plus is designed for monitoring of meteorological parameters: temperature, relative humidity, barometric pressure, rainfall, wind speed and wind direction. With additional sensors can to measure solar radiation and ultraviolet radiation. Furthermore, direct measurement of meteorological parameters can be calculated and tested with other characteristics of the atmosphere and the sun. In this exhibition are some such examples. By integrating data on solar radiation can produce results for solar energy which is absorbed over a period of time per unit area of ground.*

## 1. Въведение

Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus е предназначена за наблюдение на метеорологичните параметри - температура, относителна влажност, атмосферно налягане, валежи, скорост и посока на вятъра. С допълнителни сензори се измерва слънчевата радиация и ултравиолетовото излъчване, като се отчитат интензивността на слънчевата радиация, дозата и индекса на ултравиолетовото излъчване.

Метеостанцията се състои от 2 модула – конзола и блок датчици. Тя е показана на фиг. 1 . Блокът с дачици е свързан с конзолата посредством кабел. Той захранва дачиците с ток и осигурява трансфера на данните.

Фиг. 1. Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus

**2. Кратко описание на станцията Vantage Pro2 Plus**

Многофункционалната метеорологична станция Vantage Pro2 Plus на фирмата Davis Instruments притежава възможност за прогнозата на времето, като отчита координатите на местоположението на станцията, годишното време, текущата стойност на атмосферното налягане и неговите промени, скорост и посока на вятъра, температура и влажност на въздуха, както и количеството на валежите. Тези параметри се измерват чрез сензори, с които е оборудвана метеорологичната станция. Всички сензори са поместени в един блок, което прави установката и използването на Vantage Pro2 Plus много просто. Дачиците за вятър са в отделен блок, свързан с основния блок чрез кабел с дължина от 15м, посволяващ да се монтира сензора на място с добри условия за измервания.

***Специфични характеристики на Vantage Pro2 Plus:***

- Голям дисплей с размери (150 × 90 мм).
- Сканиране на сензорите в интервал от 2.5 секунди.
- Уникалния алгоритъм за прогноза на времето.
- На екрана се показват графики на метеорологичните параметри (24 точки, на различни интервали от време).
- Компютърен интерфейс с капацитет за съхранение на 2560 метеорологичните записи с указани дата и час.
- На многофункционалния дисплей на станцията се показват: Атмосферното налягане, Външната и стайна температура, Външната и стайна относителна влажност на въздуха, Скорост и посока на вятъра, Температура на точката на оросяване, Количеството и интензивността на валежите, Датата и часът, Прогноза за времето, Фаза на Луната, Време на изгрев и залез на слънцето, Усещаната температурата по време на вятър.
- Автономно захранване от батерии – 3 месеца. Това се отнася за случаите, когато блока с датчици се захранва от слънчев панел.

**3. Програмно осигуряване**

*3.1 Интерфейс.*

Интерфейсът е оформен като терминал - фиг.2. На него могат директно да се проследяват всички текущо измервани метеорологични параметри, както и някой изчисляеми.

*3.2 Лентови графики*.

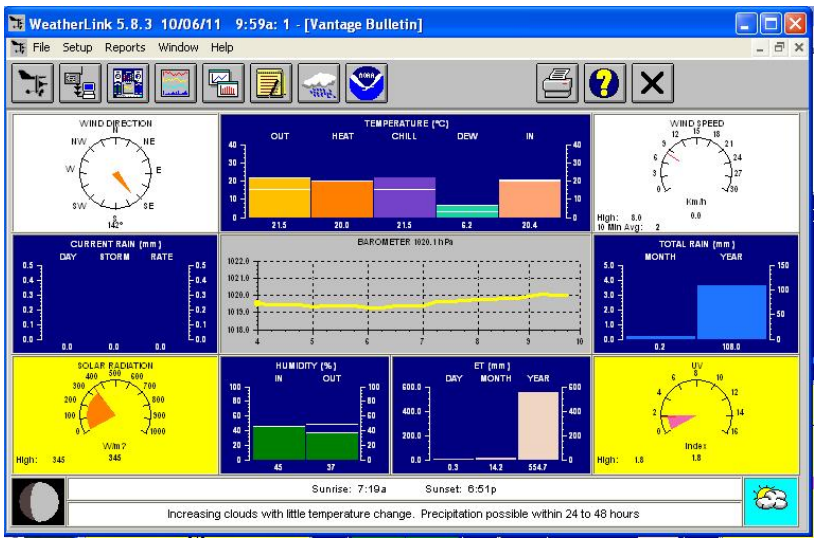
На екрана могат да се покажат лентовите графики, на които се проследява изменението на директно измерваните метеорологични параметри за всеки един час . След всяко сваляне на данни, графиките автоматично се актуализират.

*3.3 Получаване на база данни в цифров вид.*

Всички данни за метеоролигичните параметри могат да се експортират във файл с текстови формат. Това става като от менюто, показано на фиг. 2 се осъществи връзката Reports>>Browse Rekords>>Export Rekords и след това изберем периода, който ни интересува.

**4. Изчисляеми метеорологични параметри**

Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus има възможност да предостави на своите потребители освен седемте директно измервани метеорологични параметри и още над тридесет изчисляеми метеорологични параметри.




Фиг. 2. Графичен терминал на метеостанцията

***Някои по-важни изчисляеми метеорологични параметри са:***

1. Средната и най-висока стойност на скоростта на вятъра за интервала.
2. Скоростта на вятъра се измерва на всяка една минута и се осреднява.
3. Барометричнотоналягане.
   Когато въведете вашето местоположение и надморска височина, Vantage Pro2 Plus изчислява необходимия коефициент на преобразуване и превежда атмосферното налягане към корегираното барометричното налягане на морското равнище.
4. Тренд на барометричното налягане. Тази тенденция показва посоката на промяна (по-високо, по-ниско или стабилно) на барометричното налягане през последните три часа.
5. Точка на оросяване (Dew Point). Точката на оросяване е важен показател и се използва за предсказване на образуване на роса, слана и мъгла.
6. Оценка за съдържанието на влага в дърветата (ЕМЦ).
7. Топлинен индекс. (Heat Index). Топлинния индекс използва температурата и относителната влажност, за да отчете как всъщност горещия въздух се "усеща".

## 5. Приложение на метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus за изследване на атмосферата

*5.1 Изследване на слънчевата радиация, която може да се акумулира за определен период от време на 1 квадратен метър площ.*

Слънчвата радиация е основен климатообразуващ фактор и главен източник на топлинна енергия за почти всички природни процеси развиващи се върху земната повърхност, в атмосферата и хидросферата. Напоследък слънчевата радиация е от съществено значение и за фотосоларната енергетика, придобиваща все по-голяма актуалност през последните години.

Слънчевата радиация е плътността на енергийния поток излъчван от Слънцето на разстояние една астрономическа единца, т.е. на средното разстояние Слънце - Земя. В случая плътността се отнася за единица площ. Радиацията има единица за измерване на енергия – ват секунди (Ws) за единица време (s) върху площ (m2). Тази енергия се нарича още слънчева константа и представлява средната радиация на горната граница на земната атмосфера или с други думи извънземна радиация. В литературата за нея са дадени различни стойностти, между 1360 W/m2– 1370 W/m2 . Тук се използва стойността от 1366 W/m2 . (нпр. Lean, 2000). Слънчевата константа не е действително непроменяща се величина, а се изменя в зависимостта от слънчевата активност с около ± 0.5 W/m2. Слънчевата енергия, която попада върху земята със сечение от $\pi R_e^2$ се разпределя върху цялата площ на Земята от 4 $\pi R_e^2$ . Следователно, средно постъпващата радиация на земната повърхност е $S_o=S_c/4\approx342$ W/m$^2$.

Една част от попадащата слънчевата енергия върху земната атмосфера се рефлектира директно обратно в космоса, а друга част се абсорбира в стратосферата и тропосферата. Общо около 19% на слънчевата енергия не достига долните слоеве на земната повърхност (Roedel, 1994) [4]. Количеството енергия, което се получава върху хоризонтална площ за определено време се нарича интензивност (плътността на енергията) или инсолация и единицата за измерване е Ws/m$^2$. За да се избегнат големите числа и за по-голямо удобство се

препочита единицата Wh/m$^2$. Инсолацията не е една и съща за всички части на Земята. Количеството ѝ зависи главно от наклона, под който падат слънчевите лъчи към земната повърхност и от облачността.

Пряката слънчева радиация $S$ се измерва върху повърхност, перпендикулярна на слънчевите лъчи, което е от голямо практическо приложение. Тя зависи от височината на Слънцето над хоризонта ($h$) и се определя от извънземната слънчева радиация Sc върху перпендикулярна повърхност чрез формулата:

$$(1) \qquad S = S_c \left(\frac{\overline{R}}{R}\right)^2 \cos(\chi) \quad \textbf{и} \quad R = \frac{1.000001018\,(1-e^2)}{1+e\cos(\nu)}$$

$$\cos(\chi) = \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(t) + \sin(\varphi)\sin(\delta)$$

където:

$S_c$ - извънземна слънчева радиация (соларна константа)

$\overline{R}$ - средна разстояние Слънце-Земя

$R$ - разстояние Слънце-Земя

$\chi$ - зенитен ъгъл ( $\chi = \pi/2 - h$ )

$\varphi$ - географска ширина на наблюдател (станцията)

$\delta$ - ъгъла на деклинацията на Слънцето

$t$ - локален часовия ъгъл

$e$ - екцентричност на земната орбита

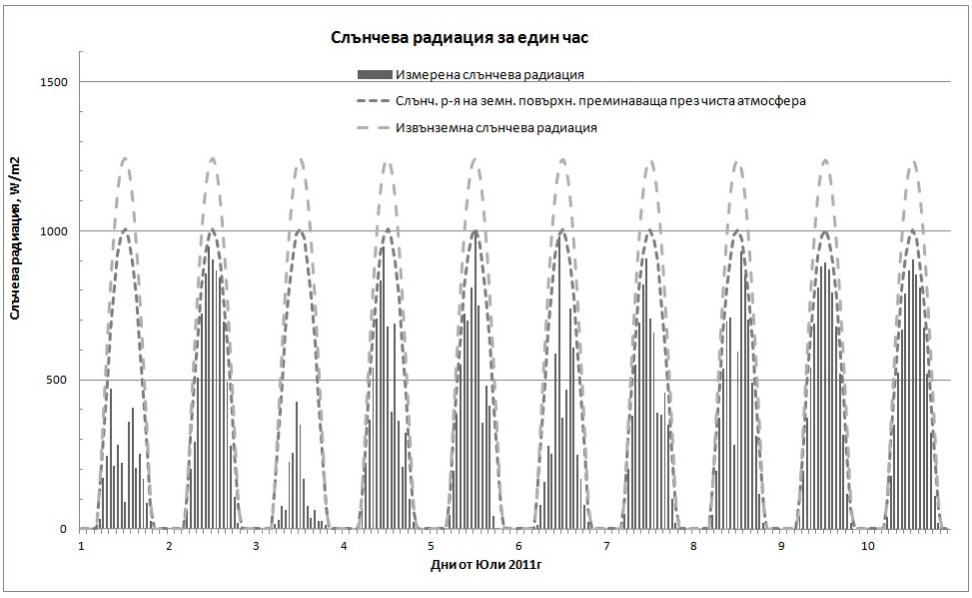
$\nu$ - истинска аномалия на Слънцето.

Тази част на слънчевата радиация, която пада върху земната повърхност от всички точки на небесния свод (без слънчевия диск и от около слънчевата зона с радиус 5°) се нарича разсеяна слънчева радиация (D). Разсеяната слънчева радиация се измерва върху хоризонтална повърхност. Общия приход на пряка и разсеяна слънчева радиация върху хоризонтална повърхност се нарича Глобална слънчва радиация (Q), като:

$$(2) \qquad Q = S + D$$

където $D$ е около 1/6 от $S$.

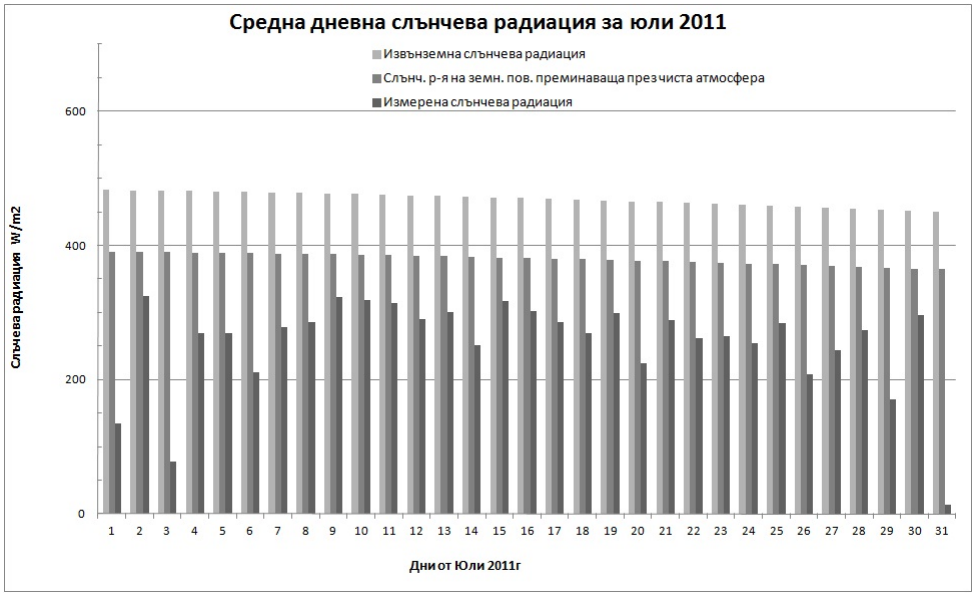
На фиг. 3 е показан един пример, в който се сравнява измерената радиацията в сравнение с извънземната радиация и 0.81 част от нея за първите десет дена от месец юли 2011 година.




Фиг. 3. Измерена слънчева радиация на всеки час за 10 дни

Тук се вижда добре изразения часови ход на радиацията с максимум около Слънчевия зенит. В следствие на променящо се състояние на атмосферата и на облачността измерените стойности са по-малки от теоретичната оценка (0,81*S). А при безоблачно време се приближават до тези стойности. Отслабването на слънчевата радиация в атмосферата не е едно и също за различните части на нейния спектър, а зависи също така от съдържание на влагата и от облачността. Например абсолютно сухият и чист въздух притежава най-голяма прозрачност за инфрачервената радиация и най-малка за ултравиолетовата радиация. Най-голяма е загубата на пряка радиация, причинена от разсейването и поглъщането й в атмосферата.

Слънчевата радиация, която е осреднена за едно денонощие през месец юли е представена на фиг. 4. Максималните стойности на средна слънчевата радиация се получават през месец юли поради дължината на деня и голяма височина на Слънцето. През месец юли се наблюдава бавно намаляване на слънчевата радиация, но този тренд в измерваните стойностти се подтиска от променящата се облачност.




Фиг. 4. Измерена слънчева радиация на всеки ден от м. Юли

Сезонния тренд, обаче става очевиден при наблюдаваните средно месечни стойности на слънчевата радиация (виж. фиг. 5).

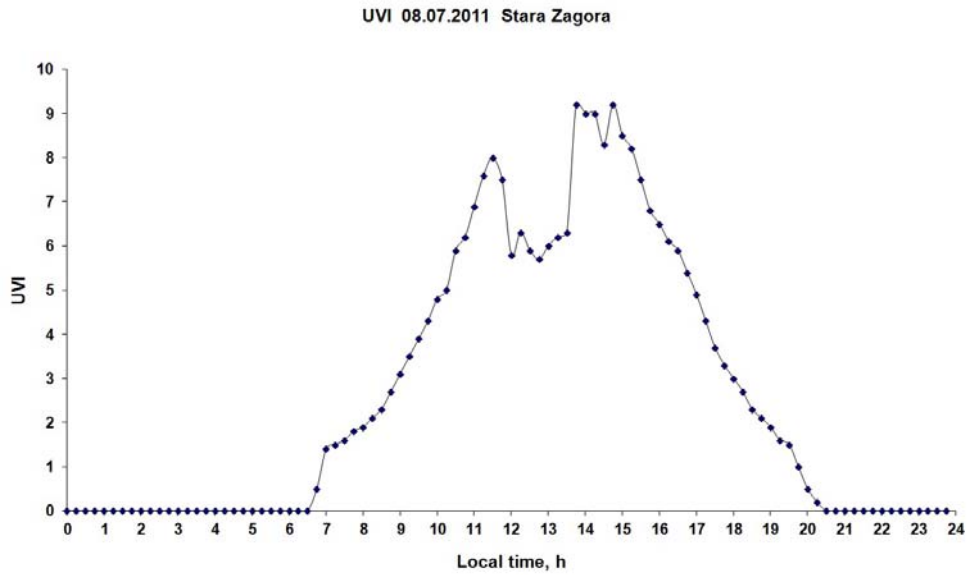
Фиг. 5. Измерена слънчева радиация за 7 поредни месеца

Реалните стойности на слънчевата радиация през летните и ранните есенни месеци е около 50% от теоретично максималната радиация, а за късните есенни и наблюдаваните зимни месеци за 2011г, тя е около 30% от теоретично максималната радиация. Тази информация може да послужи като важен ориентир, за да се разбере предварително очакваната енергия от фотоволтаичните преобразователи.

*5.2 Изследване на глобалния ултравиолетов индекс UVI.*

Глобалният слънчев ултравиолетов индекс (UVI) описва нивото на слънчевата ултравиолетова радиация на земната повърхност. Както е известно, озонът абсорбира слънчевата радиация в ултарвиолетовия спектрален диапазон. Поради тази причина, индекса (UVI) зависи както от облачността, така и от съдържанието на озон в стратосфера.

Колкото по-висока е стойността на този индекс, толкова по-голям е потенциалът за увреждане на кожата и очите на хората. Нивото на радиация, а следователно и стойността на индекса варира през целия ден, както е показано на фиг. 6.




Фиг. 6. Измерена стойност на UVI за едно денонощие

Изследването на UVI е важно средство за повишаване на обществената информираност за рисковете от прекомерно излагане на UV радиация, както и да предупреждава хората за необходимостта да се предприемат защитни мерки.

Благодарности:
Представените резултати са получени чрез проекта на МОМН, договор № DO 02-175/16.12.2008, реализирано съвместно с Технически Университет, София.

**Литература:**

1. D a v i s I n s t r u m e n t s C o r p. *Vantage Pro2 Plus.* Reference Guide.
2. M e e u s, J. Astronomische Algorithmen, Johann Ambrosius BarthVerlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 1993.
3. L e a n, J. L. Solar irradiance and climate forcing in the near future, Geophzs. Res. Lett. 28, pp. 4119-4122, 2001.
4. R o e d e l, W. Physik unserer Umwelt, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S.48, 1994.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ШИРОКОСПЕКТЪРЕН ЕЛЕКТРОНЕН СЕНЗОР С ФОТОДИОД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СЛАБИ СВЕТЛИННИ ПОТОЦИ В АТМОСФЕРАТА

**Веселин Ташев, Ангел Манев**

*Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*e-mail: veselinlt@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Измерителен фотодиод, слаби светлинни потоци*

***Резюме:*** *Класическите прибори за измерване на светлинни потоци с много ниска амплитуда са фото електронните умножители (ФЕУ). Освен основното предимство, че имат много голям коефициент на усилване и бързодействие, те имат и редица недостатъци. Последните високотехнологични разработки в областта на фотодиодите ги прави силно конкурентни на ФЕУ, по-отношение на важни технически характеристики. Такъв е приборът S8785. Той съдържа широкоспектърен фотодиод с висока чувствителност, който се използва като сензор за първично преобразуване на светлината в електричен сигнал както и прецизен операционен усилвател с полеви транзистори на входа за неговото усилване. Фотодиодът с голяма площ на приемника, FET операционния усилвател, TE-охладител и резистора за обратна връзка (10 GΩ) са интегрирани в един пакет със сапфирена подложка. Тя има много високо съпротивление и токовете на утечка са практически нулеви. Термистора също е включен в корпуса за контрол на температурата, така че фотодиода може да се охлажда за по-стабилна работа. Устройствата от серия S8785 се отличават с ниско ниво на шум и са особено подходящи за откриване на NOx.*

# WIDE-SPECTRUM ELECTRONIC SENSOR WITH FOTODIODE FOR MEASURING A LOW LUMINOUS FLUXES IN THE ATMOSPHERE

**Veselin Tashev, Angel Manev**

*Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: veselinlt@abv.bg*

***Keywords:*** *High sensitivity photodiodes, light flows with very low amplitude*

***Abstract:*** *The classical devices for measuring light flows with very low amplitude are electronic photo multiplier (FEU). Besides the main advantage that a very high gain, they have several disadvantages. Recent developments in high-tech field of photodiodes makes them highly competitive in FEU, in terms of important characteristics. This is the device S8785. It contains a thermoelectrically cooled high sensitivity Si photodiode with wide spectral range and high precision FET operational amplifier. The photodiode developed for low-light-level detection and used as a primary sensor for converting light into electric signals. A large area photodiode, FET operational amplifier, TE-cooler and feedback resistor (10 GΩ) are integrated into a single package with a sapphire substrate, which has a very high resistance and leakage currents are practically zero. A thermistor is also included in the same package for temperature control so that the photodiode and I-V conversion circuit can be cooled for stable operation. Devices of the S8785 series features low noise and low NEP, and are especially suitable for NOx detection.*

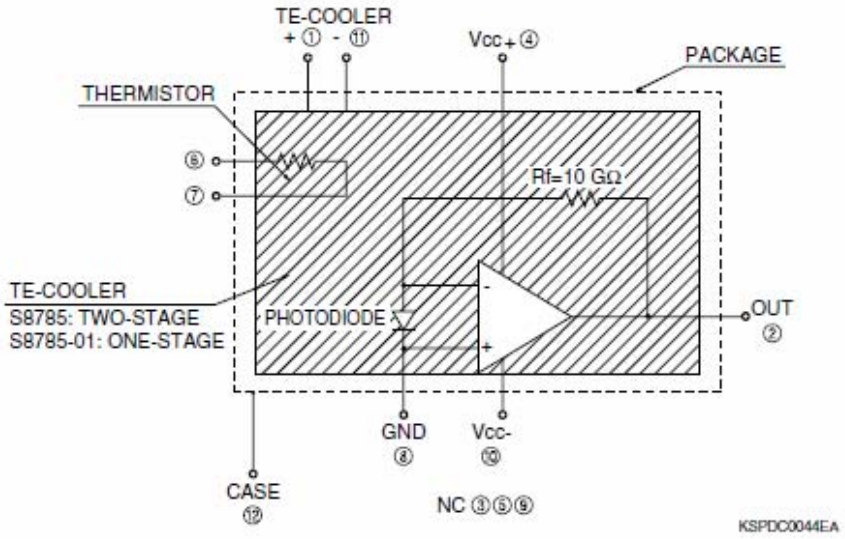
## 1. Въведение

За измерване и изследване на пряката слънчева Lα радиация се реализира проект "Поток на абсолютната Lα радиация (ASLAF – Attenuation of the Solar Lyman Alpha Flux)" като част от ракетния експеримент HotPay I на Ракетния Полигон в Андоя, Норвегия, по 6 Рамкова Програма. В рамките на този проект се осъществи разработка в ИКСИ-БАН, Филиал Стара Загора и Групата по Атмосферна Физика на Филиала по Метеорология на Университета в Стокхолм (MISU). Целта на тази разработка бе създаването на измервателен уред за

слънчевата Lα радиация. След разработката на първия детектор, научните изследвания продължиха с разработка на нови варианти, които съдържат нови първични преобразователи (сензори) и нова елементна база. Такъв сензор е широкоспектърният фотодиод S8785 производство на фирмата Hamamatsu за измерване на слаби светлинни потоци. В момента този прибор е ограничен до спектър 190 nm, а Lα емисията е на 121 nm, но въпреки това оставащия спектралния диапазон е достатъчно голям.

## 2. Прибор за измерване на много слаби светлинии потоци с широк спектър

Класическите прибори за измерване на светлинни потоци с много ниска амплитуда са фото електронните умножители (ФЕУ). Освен основното предимство, че имат много голям коефициент на усилване и бързодействие, те имат и редица недостатъци. Последните високотехнологични разработки в областта на фотодиодите ги прави силно конкурентни на ФЕУ, по-отношение на важни технически характеристики. Такъв е приборът S8785. Той съдържа широкоспектърен фотодиод с висока чувствителност, който се използва като сензор за първично преобразуване на светлината в електричен сигнал както и прецизен операционен усилвател с полеви транзистори на входа за неговото усилване. Схемата е показана на фиг. 1.




Фиг. 1. Блокова схема на фотодиода и усилвател на един чип

Освен фотодиод и усилвател приборът съдържа и резистор Rf = 10 GΩ, термистор за измерване на температурата и електронен охладител за поддържане на температура от -25 °C. Всичко това е изградено върху един чип със сапфирена подложка, която е с много голямо съпротивление и за това токовете на утечка са практически равни на нула.

Чипът S8785 има следните по-важни параметри:

- Голяма активна площ във вид на прозорче с размери 10 x 10 мм.
- Силициев фотодиод, който е оптимизиран за прецизна фотометрия от ултравиолетовия до близкия инфрачервен диапазон и по-точно от 200 до 1200 nm.
- Компактен херметизиран корпус със сапфирен прозорец.
- Вграден прецизен операционен усилвател с много голямо входно съпротивление и FET транзистори на входа.
- Много високо усилване обезпечено от вградения високоомен резистор Rf = 10 GΩ, включен в обратната връзка на операционния усилвател.
- Ниско ниво на шум.
- Високоефективно охлаждане вградено на самия чип с температурна разлика от 50°C.
- Вграден термистор с висока стабилност.

Тези параметри гарантират, че могат да бъдат измерени потоци светлина с много слаба интензивност, подобни на слънчевата Lα радиация, но в диапазона с по-голяма дължина на вълнаа. Известно е (1), че нейната интензивност , падаща върху горната граница на атмосферата, е около $5*10^{-3}$ $J*m^{-2}*s^{-1}$, което съответства на поток от $3*10^{15}$ $photons*m^{-2}*s^{-1}$ . Площта на прозорчето на прибора е $1*10^{-4}m^{-2}$, а ефективността на преобразуване средно статистически е около 50%. Тогава максималният ток, който се очаква да бъде измерен, е :

(1) $$\mathrm{Im}ax = 3\times10^{15}[m^{-2}s^{-1}]\times10^{-4}[m^2]\times0.5\times1.602\times10^{-19}[q] = 2.4\times10^{-8}[A]$$

Този извънредно слаб ток определя и изискванията към на електронния усилвател. Като се има в предвид съпротивлението в обратната връзка на операционния усилвател Rf = 10 GΩ и факта, че на входа му не се консумира никакъв ток, то максималното изходно напрежение ще е от порядъка на 20 волта.

(2) $$V = I\times R = 2.4\times10^{-8}[A]\times10^{9}[\Omega] = 24V$$

За да бъде обаче наистина измерен потока на слънчевата Lα радиация приборът S8785 трябва да е чувствителен към диапазона 122 nm.

**2. Предназначение и описание на прибора S8785**

Основното предназначение на прибора е измерване на светлинни потоци с много ниска амплитуда. Това се постига благодарение на високата му чувствителност, която е -5.1 V/nW.

Нека да направим едно сравнение между чувствителността на измерване с фотоелектронен умножител и фотодиод. В публикацията “ Методи за измерване на ултравиолетови светлинни потоци с много нисък интензитет “ (3), бе пресметнато, какво е изходното напрежение при предположение, че на фотокатода на ФЕУ попадне един фотон. В режим на броене на фотони единичния фотоелектрон, който се емитира от фотокатода има заряд q= 1.6*10^-19 [C]. Ако усилването на електронния фотоумножител е μ = 5*10^6 , тогава анодния изходен заряд се дава от:

$$Q = q\times\mu = 1.6\times10^{-19}[C]\times5\times10^{6} = 8\times10^{-13}[C]$$

Ако широчината на изходния импулс на изхода на фотоелектронния умножител е t=10 ns тогава за пика на изходния ток IP се получава:

$$Ip = \frac{q\times\mu}{t} = \frac{8\times10^{-13}[C]}{10\times10^{-9}[s]} = 80[\mu A]$$

Ако товарното съпротивление или входния импеданс Z на прилежащия усилвател е 50 Ω , то изходния импулс има пиково напрежение :

$$Vo = Ip[\mu A]\times Z[\Omega] = 80[\mu A]\times50[\Omega] = 4[mv]$$

Импулсния усилвател след изхода на ФЕУ има усилване от 36 dB или 63 пъти.

$$Vout = 4[mV]\times63 = 252[mV] = 0.252V$$

От характеристиките на фотодиода виждаме, че той има чувствителност от 5.1 V / nW, включително вградения операционен усилвател и вградения високоомен резистор.

Енергията, която пренася един фотон е :

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.626*10\text{^}{-}34J.s)*(2.998*10\text{^}8m/s)}{555nm} = 2.22eV$$

Или в джаули получаваме:

$$E = 2.22\times10^{-19}[J] = 3.56\times10^{-19}[J]$$

Ако предположим теоретично, че времето на действие на фотона е същото както на ФЕУ, т.е. 10 nS, то за мощността получаваме

$$P = \frac{E}{t} = \frac{3.56 \times 10^{-19}[J]}{10 \times 10^{-9}[s]} = 3.56 \times 10^{-11}[W] = 0.0356[nW]$$

$$V = 0.0356[nW] \times 5.1 \frac{[V]}{[nW]} = 0.182[V]$$

Тези изчисления показват, че доколкото стойностите 0.252V и 0.182V кореспондират една с друга, то по отношение на регистрация и усилване на слабите светлинни сигнали специализираните измерителни фотодиоди все повече настигат характеристиките на ФЕУ. Фотодиодите обаче работят само в аналогов режим и все още не могат да регистрират светлинни потоци в далечния ултравиолетов диапазон.

Фотодиодите са прибори, които преобразуват директно попадналата светлина в техния p-n преход в електрическа енергия под формата на електрически ток. Много е важно да се знае, че генерирания ток е правопропорционален на количеството светлина попаднала на фотокатода.

Генерирания от фотодиода ток показан на фиг. 1, минава през резистора Rf , преобразува се в напрежение и се усилва от операционния усилвател. Той е с много високо входно съпротивление, гарантирано от полевите транзистори на входа, така че консумацията на ток практически е равна на нула. В самия чип има вграден термоохладител, който ефектифно може да намали температурата с 50 ºC и тя да достигне до -25 ºC При тези ниски температури на охлаждане токът на тъмно силно намалява. Наличието на термистор върху самия чип, дава възможност да се измери температурата на фотодиода. Ако има разлика между текущата температура на фотодиода и зададената, автоматично се включва терморегулатора, който охлажда чипа до необходимата температура. Това на практика означава, че ако се зададе работна температура от -25 ºC тя може да се поддържа автоматично до +25 ºC на околната среда.

**4. По-важни електрически и оптически характеристики на прибора**

4.1 Максимални характеристики. Те са показани в таблица 1.

Табл. 1. Максимални характеристики на прибора S8785.

| Параметър | Символ | Стойност | Забележка |
|---|---|---|---|
| Приложено напрежение | Vcc | ± 20 V | |
| Работна температура на чипа | Toper | -30º C +60º C | |
| Работна температура на фотодиода | Td | -30º C +60º C | |
| Приложено напрежение на охладителя | Vte | +5 V | |
| Ток на охладителя | Ite | 1 A | |
| Разсеяна мощност на термистора | Pth | 0.2 mW | |

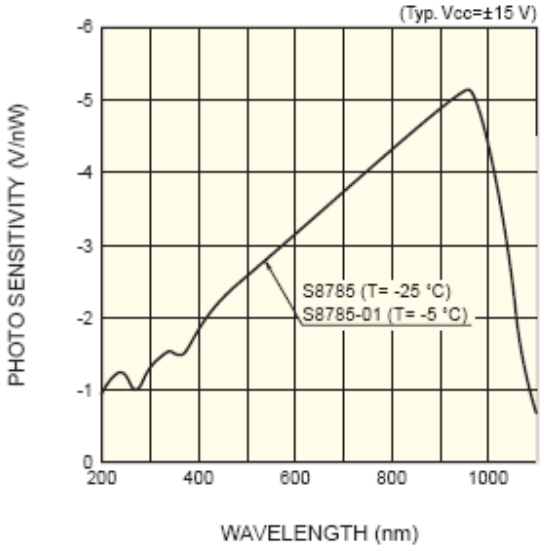
4.2 Типични характеристики. Те са измерени при Vcc=±15V, Rl = 1MΩ са показани в табл. 2.

Табл. 2 Типични характеристики на прибора S8785.

| Параметър | Символ | Условие | Стойност | Единици |
|---|---|---|---|---|
| Приложено напрежение на усилвателя | Vcc | | ±5до±15 | V |
| Ток на охладителя | Ite | max | 0.8 | A |
| Разсеяна мощност на термистора | Pth | max | 0.03 | mW |
| Товарно съпротивление | Rl | min | 100 | kΩ |
| Спектрален диапазон | λ | | 190-1100 | nm |
| Пик на чувствителност | λp | | 960 | nm |
| Съпротивление в обратната връзка | Rf | | 10 | GΩ |
| Фото чувствителност | S | λ=λp | -5.1 | V/nW |
| Шум на изхода | Vn | F = 10 Hz | 25 | μVrms/Hz |
| Изходно напрежение на отместване | Vos | Dark state | ±2 | mV |

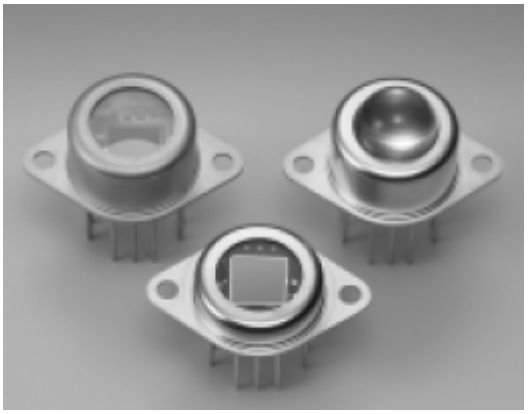
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Честота на среза | fc | -3dB | 190 | Hz |
| Амплитуда на изходното напрежение | Vo | | -13 | V |
| Ток на консумация | Icc | Dark state | 0.3 | mA |
| Съпротивление на термистора | Rth | 86 | | kΩ |

4.3 Спектрална характеристика.
Спектралната характеристика на прибора е показана на фиг. 2. Тя показва, че чувствителността на фотодиода е в диапазона от 200 до 1200 nm.




Фиг. 2. Спектрална характеристика на прибора

4.4 Механична конструкция на прибора. Механичната конструкция е показана на фиг. 3



Фиг. 3. Външен изглед на приборите S8785

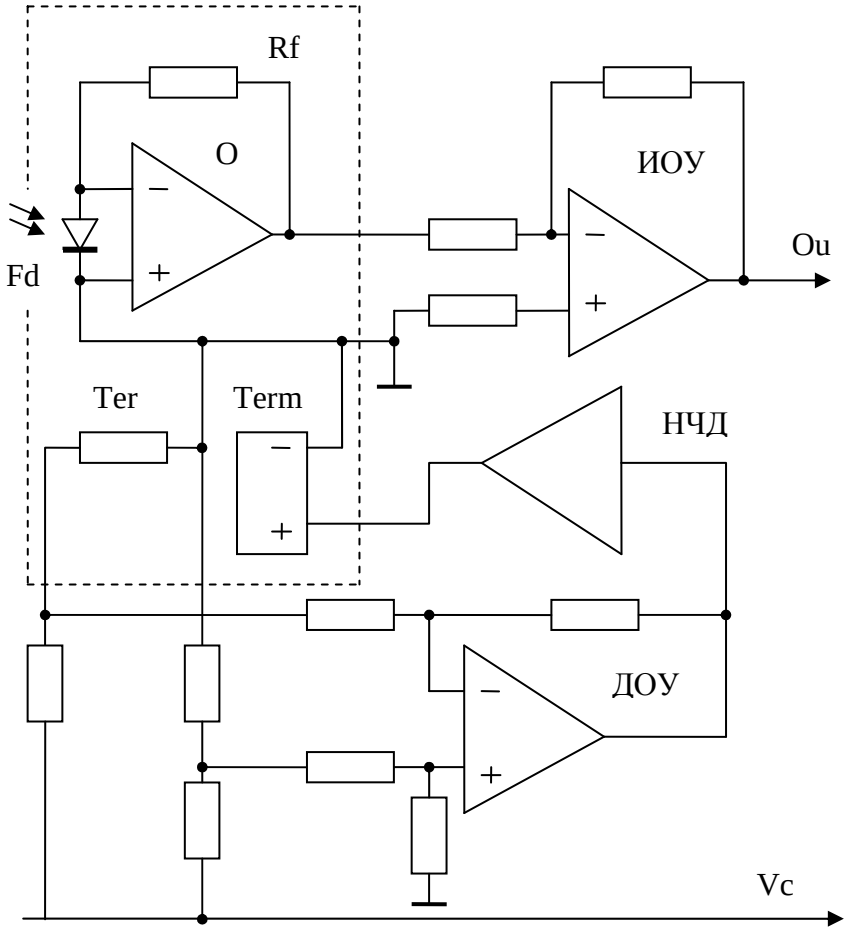
**5. Електрическа схема на уреда**

Електрическата схема на уреда е показана на фиг. 4. Освен прибора S8785 той съдържа още няколко усилвателя.

Изходния сигнал от прибора се усилва допълнително от инвертиращ операционен усилвател ИОУ, показан на фиг. 4. Този усилвател трябва да бъде с високо входно съпротивление, което се явява товар за полезния сигнал. Според техническите изисквания неговата стойност трябва да е по-голяма от 1 MΩ.

Терминсторът Ter е включен в мостова схема, където се изработва сигнал на грешката между зададената и текущата температура. Този сигнал се усилва от диференциален усилвател ДОУ и се подава към нискочестотен драйвер НЧД. Мощния НЧД подава достатъчно силен ток от порядъка на 0.8[A] за да работи термо охладителя Term в режим на охлаждане или

затопляне в зависимост от околната температура и най-вече от температурата на чипа S8785. Най-често тази температура се поддържа на стойност -25º C, за да се получи максимално ниска величина на тока на тъмно. При тези ниски стойността на температурата тока на тъмно е от порядъка на няколко пикоампера. От [1] видяхме, че полезния сигнал е от порядъка на 10 наноампера, което осигурява много добро съотношение между сигнал и шум.




Фиг. 4. Електрическа схема на уреда

### 6. Заключение

От разгледаните характеристики става ясно, че съвременните фотодиоди специализирани за измервателни приложения са силно конкурентни на фотоелектронните умножители в редица области. Те притежават висока чувствителност, широка спектрална характеристика, много добра линейност, нисък ток на тъмно, висока квантова ефективност, непретенциозно захранване и не на последно място здрав корпус и устойчивост към механични натоварвания. Към слабостите могат да се причислят липса на чувствителност към далечния ултравиолетов диапазон, сравнително ниското бързодействие на измерителните фотодиоди, невъзможност да работят в режим с броене на фотони, както и други по-маловажни характеристики.

### Литература:


1. T h r a n e, E. V., I. N y b e r g, B. N a r h e i m. Measurements of the Extinction of Solar Hydrogen Lyman-$\alpha$ in the Mesosphere, Internal Report E-230, Norvegian Defense Research Establishment (FFI), Norway, 1974
2. H A M A M A T S U “Measuring silicon photodiodes with preamplifier and TE-cooler” линк?
3. T a s h e v , V., A. M a n e v. “Методи за измерване на ултравиолетови светлинни потоци с много нисък интензитет “

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ГЕНЕРИРАНЕТО НА КОРОНА СЛЕДСТВИЕ ОТ САМО – СТРУКТУРИРАНЕ НА МАГНИТНЕТИЗИРАН ДИСК

**Красимира Янкова**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: f7@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *акреция, диск,корона, неустойчивости*

***Абстракт****: Въз основа на резултатите за само-структуриране в горещ адвективен акреционен диск, заключаваме, че той развива корона. Ще дискутираме влиянието на разпределението на водещите параметри (плътност, скорост ...) в диска, за поддръжката на неустойчивостите във връзка с еволюцията на короната. В тази статия ще анализираме процеса на адаптация на уравненията на модела в новите условия.*

# GENERATION OF CORONA IS CONSEQUENCE FROM SELF - STRUCTURING OF THE MAGNETIZE DISC

**Krasimira Yankova**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: f7@space.bas.bg*

***Keywords:*** *Accretion, disk's corona, instabilities*

***Abstract:*** *Based on results for self-structuring in the hot advection accretion disk, we are concluding that he develop corona. We discuss the impact of the distribution of leading parameters (density, velocity ...) in disk to support for the instabilities in connection with evolution of the corona. In this paper we analyze the process of adaptation of the model's equations in the new conditions.*

## Въведение

Акрецията представлява падане на материя от междузвездната среда върху гравитационен център. Тя ефективно преобразува масата на веществото в енергия. Ефективността и варира от 10% при сферична, до 30% от масата на покой на поглъщаното вещество при дискова акреция. Взаимодействието на диска с магнитното поле повишава допълнително ефективността до 50%. Механизмът е предложен за обяснение на високо-енергетичното поведение на голям процент космически обекти. В тях се развиват редица неустойчивости и структури, които управляват разпределението на енергията и намират израз в огромния брой нестационарни явления, които се наблюдават приоритетно във високите енергии.

При акреция на звезда с диполно магнитно поле се оформят три основни течения: диск, корона и джетове [1].

Взаимодействието на полето с плазмата създава предпоставки за появата на короната. Признак за наличието на корона е периодичната смяна на твърд и мек рентген в спектъра на такива източници. По-студеният диск дава мек, често пъти чернотелен рентгенов континуум, а горещата корона – твърд степенен емисионен рентгенов спектър [11].

***Резултати***

Тъй като акрецията е качествено и количествено е по ефективна при наличие на магнитно поле - възникват по бързо и се развиват по разнообразен набор неустойчивости. В поредица от статии ние конструирахме и развихме MHD модел на нестационарен, несиметричен, еднотемпературен Кеплеров акреционен диск с адвекция при нормално диполно магнитно поле на централния обект. Резултатите от предложения модел за изследване на взаимодействието на полето и плазмата в диска показват, че там се заражда и развива сферична лъчиста корона:

- ***Във вертикалната структура на диска проследяваме развитието на условието за стратификация $|v_a| \leq |v_s|$ и поведението на векторното поле на скоростта на течението $(v_r, v_z)$ [3]. На базата на комплексното им разглеждане получаваме оценка за външният радиус на короната по диска.***
- ***В радиалната структура скоростта на звука дава индикации за формирането на пръстени с повишена плътност. В локалния модел за такова формирование е получено локалното загряване [5].***

$$K(x) = \frac{нагряването}{охлаждането}$$

***От него също може да се направи независима оценка за външният радиус на короната по диска.***

- ***Съпоставката в [6] на коефициентите на среща от глобалния модел с вълновите числа в локалния модел дава независимо потвърждение на идеята за зараждане на короната [3].***

***База за сравнение***

- *В термините на този модел беше получен външния радиус на короната на диска в системата Cyg X-1, който по стойността на оценката при съвпадение на обекта съответства на резултатите за сферична корона.*
- *Очакваният резултат при съгласуване на наблюдения, числени резултати и симулации варира от 15-250$R_g$ [8] за сферична корона и до 320-640$R_g$ за несферична [9]. Нашите резултати принадлежат към първият интервал.*
- *Добре е да се отбележи, че в този случай, ние разглеждаме, диск и корона, без обща енергетика.*
- *За да сшием в резултатите в цялостен модел на системата ще използваме изходните стойности на периметрите по повърхността на диска за начални стойности на периметрите в резултатните разпределения за короната.*

Освен това МП на обекта може да бъде собствено централно или външно (галактично; от донора). Ако собственото централно поле е разположено вертикално на равнината на диска, то момента в диска нараства навътре към центъра. Този ефект може да се компенсира от мощни джетове, които да отвеждат момент [7]. Но преди да достигне централната фуния преразпределящият се момент дава своето отражение върху преструктурирането на диска в качеството му на отворена система. Ускорената ротация освобождава завишени количества енергия и така създава условия за адвекция, подържайки отрицателен градиента на ентропията в диска. Ефекта се подсилва от частично задържане (забавяне) на акрецията вследствие такова разпределение на ъгловия момент. Адвекцията спомага за плавното превръщане на неустойчивостите в структури. Короната е макроструктура, която осигурява необходимото охлаждане във вътрешните региони на диска, където потокът най трудно излъчва. Там адвекцията нагнетява съхранената топлина от външните зони.

**Постановка на задачата**

Отново се базираме на основните уравнения на флуидната МХД (1). За да се конструира модел на короната е необходимо да се постави по общата задача, трябва да се адаптира системата на диска към новите условия.

Дискът често се апроксимира до Кеплеров. Течението в него е насочено към центъра и е локализирано в равнината на екватора. Материята може да е оптически плътна и преобладава газовото или лъчисто налягане [10]. Равновесието се подържа от ротацията.

Короната [2] може да има обратно течение, оптически прозрачна е и има магнитно налягане.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.(\rho v) = 0 \qquad \nabla.v = 0 \quad \nabla.B = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v.\nabla v = -\frac{1}{\rho}\nabla p - \nabla\Phi + (\frac{B}{4\pi\rho}.\nabla)B + \vartheta\nabla^2 v \qquad \Phi = \frac{GM}{r - r_g}$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (v \times B) + \eta\nabla^2 B \qquad \eta = \frac{\eta_m}{\rho} = \frac{c^2}{4\pi\sigma}$$

$$\rho T \frac{\partial S}{\partial t} - \frac{\dot{M}}{2\pi r} T \frac{\partial S}{\partial r} = Q^+ - Q^- + Q_{mag} \qquad r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

(1) $p = p_r + p_g + p_m$

***АДАПТАЦИЯТА***

Поради специфичния, почти сферичен характер на потока, кинетичният вискозитет пада до нула, а плътността намалява на порядъци в короната.

(2) **$Q_\nu$=0 ν=0 α =0**
**σ(r,)=>η(r,)=>$\alpha_m$(r,)**
**σ(r,z)=>η(r,z)=>$\alpha_m$(r,z)**

Слабото въртене не може да стабилизира неустойчивостите и ограниченията върху магнитният вискозен коефициент отпадат [4]:

(3)
$$\nabla \times (\eta\nabla \times B) = \nabla\left[\eta \times \left(\nabla \times B\right)\right] =$$
$$= \left(\nabla.\eta\right) \times \left(\nabla \times B\right) + \eta \times \left(\nabla.\nabla \times B\right) =$$
$$= \left(\nabla.\eta\right) \times \left(\nabla \times B\right) ?\pm \eta\nabla^2 B$$

Полето също не може да запази вече опростената си форма, валидна за екваторялната равнина и придобива вида:

(4)
$$\boldsymbol{B}_z = \frac{\mu}{\boldsymbol{r}^3} \frac{\sqrt{4\boldsymbol{r}^2 + \boldsymbol{z}^2}}{\left(\boldsymbol{r}^2 + \boldsymbol{z}^2\right)^2}$$

Тогава пълната адаптираната система в цилиндрични координати е:

(5) $$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho v_r) + \Omega\frac{\partial \rho}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho v_z\right) = 0$$

(6) $$\frac{\partial}{\partial r}(rB_r) + \frac{\partial B_\varphi}{\partial \varphi} + r\frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

(7) $$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_r}{\partial r} + \Omega\frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + v_z\frac{\partial v_r}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{4\pi\rho r}(B_\varphi\frac{\partial B_r}{\partial \varphi} + rB_z\frac{\partial B_r}{\partial z})$$

(8) $$\frac{\partial}{\partial t}(\Omega r^2) + v_r\frac{\partial}{\partial r}(\Omega r^2) + v_z\frac{\partial}{\partial z}(\Omega r^2) = \frac{1}{4\pi\rho r}[B_r\frac{\partial}{\partial r}(r^2 B_\varphi) + r^2 B_z\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}]$$

(9) $$\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+\Omega\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}-\frac{\partial \Phi}{\partial z}+\frac{B_r}{4\pi\rho}\frac{\partial B_z}{\partial r}$$

(10) $$\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_r}{r}+\frac{\partial v_z}{\partial z}=0 \qquad\qquad p=R\rho T+\frac{B^2}{8\pi}+\frac{aT^4}{3}$$

(11) $$\frac{\partial B_r}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\varphi}(v_rB_\varphi)-\frac{\partial}{\partial\varphi}(\Omega B_r)+\frac{\partial}{\partial z}(v_rB_z)-\frac{\partial}{\partial z}(v_zB_r)+\frac{\eta}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}\frac{\partial B_r}{\partial\varphi}+\frac{\partial}{\partial r}\frac{\partial B_\varphi}{\partial\varphi}\right]+$$
$$+\frac{\eta}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial B_r}{\partial r})+\frac{\eta}{r^2}\frac{\partial^2B_r}{\partial\varphi^2}+\eta\frac{\partial^2B_r}{\partial z^2}-\frac{B_\varphi}{r^2}\frac{\partial\eta}{\partial\varphi}-\frac{1}{r}\frac{\partial\eta}{\partial\varphi}\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial\eta}{\partial\varphi}\frac{\partial B_r}{\partial\varphi}+$$
$$+\frac{\partial\eta}{\partial z}\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial\eta}{\partial z}\frac{\partial B_z}{\partial r}$$

(12) $$\frac{\partial B_\varphi}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial r}(\Omega rB_r)-\frac{\partial}{\partial r}(v_rB_\varphi)+\frac{\partial}{\partial z}(\Omega rB_z)-\frac{\partial}{\partial z}(v_zB_\varphi)+\frac{\eta}{r}\left[\frac{\partial}{\partial\varphi}\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{\partial}{\partial\varphi}\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}\right]+$$
$$+\frac{\eta}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial B_\varphi}{\partial r})+\frac{\eta}{r^2}\frac{\partial^2B_\varphi}{\partial\varphi^2}+\eta\frac{\partial^2B_\varphi}{\partial z^2}+\left(\frac{\eta}{r}+\frac{\partial\eta}{\partial r}\right)\left[\frac{B_\varphi}{r}+\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}-\frac{1}{r}\frac{\partial B_r}{\partial\varphi}\right]-$$
$$-\frac{\partial\eta}{\partial z}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial B_z}{\partial\varphi}-\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}\right]$$

(13) $$\frac{\partial}{\partial r}(rv_rB_z)-\frac{\partial}{\partial r}(rv_zB_r)-\frac{\partial}{\partial\varphi}(v_zB_\varphi)-\frac{9\eta B_z}{r}-\left(\frac{\eta}{r}+\frac{\partial\eta}{\partial r}\right)\left[\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial B_z}{\partial r}\right]+$$
$$+\frac{1}{r}\frac{\partial\eta}{\partial\varphi}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial B_z}{\partial\varphi}-\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}\right]=0$$

(14) $$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{3}{2}\frac{v_rv_sv_a^2}{\Omega r^2T}=\frac{\eta v_s}{\Omega rT}\frac{1}{4\pi\rho}(\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial B_z}{\partial r})^2-\frac{c\rho}{\pi rT}(v_s^2-\frac{v_a^2}{2}-RT)$$

Основната модификация приложена към водещите периметри на диска е приложима и тук

(15) $$\boldsymbol{F}_i=\boldsymbol{F}_{i0}\Re_i(\boldsymbol{x}=\boldsymbol{r}/\boldsymbol{r}_0,\boldsymbol{Z}=\boldsymbol{z}/\boldsymbol{r}_0)\exp[\ \boldsymbol{k}_\varphi(\boldsymbol{x},\boldsymbol{Z})\varphi+\omega(\boldsymbol{x},\boldsymbol{Z})\boldsymbol{t}]$$

поради здравата причинно следствена връзка във физиката на системата корона-диск.

(16) $$v_r\frac{\partial\rho}{\partial r}+v_z\frac{\partial\rho}{\partial z}+\rho\left(\omega+k_\varphi\Omega\right)=0$$

(17) $$\frac{\partial B_r}{\partial r}=\mu z\frac{5r^2+z^2}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}-\frac{B_r+k_\varphi B_\varphi}{r}$$

(18) $$v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}+v_r\left(\omega+k_\varphi\Omega\right)=-\frac{\partial v_s^2}{\partial r}-\frac{v_s^2}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial r}+\frac{k_\varphi B_\varphi B_r}{4\pi\rho r}+\frac{B_z}{4\pi\rho}\frac{\partial B_r}{\partial z}$$

(19) $$v_r \frac{\partial}{\partial r}(\Omega r^2) + v_z \frac{\partial}{\partial z}(\Omega r^2) + (\Omega r^2)\omega = \frac{B_r}{4\pi\rho r}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 B_\varphi) + \frac{B_z r}{4\pi\rho}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}$$

(20) $$v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_z\left(\omega + k_\varphi \Omega\right) = -\frac{\partial v_s^2}{\partial z} - \frac{v_s^2}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \frac{\mu B_r}{2\pi\rho r}\frac{z^4 + 5z^2r^2 - 2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}$$

(21) $$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \qquad \frac{aT^4}{3\rho} = v_s^2 - v_a^2/2 - RT \qquad \tau = \frac{\rho v_s}{\Omega}\chi$$

(22) $$B_r(\omega + \frac{\eta}{r^2} + \frac{\eta k_\varphi}{r^2} - \frac{2\eta k_\varphi^2}{r^2} + k_\varphi\Omega) = (\frac{k_\varphi v_r}{r} - \frac{\eta k_\varphi^2}{r^2} - \frac{2k_\varphi\eta}{r^2})B_\varphi -$$
$$-\left(\frac{\eta}{r} + \frac{\eta k_\varphi}{r} - v_r\right)\frac{\mu z(5r^2+z^2)}{(r^2+z^2)^3\sqrt{4r^2+z^2}} + B_z\frac{\partial v_r}{\partial z} - v_z\frac{\partial B_r}{\partial z} - B_r\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{B_r + B_z}{r}\eta\frac{\partial k_\varphi}{\partial r} +$$
$$+\eta\frac{\partial^2 B_r}{\partial r^2} + \eta\frac{\partial^2 B_r}{\partial z^2} + \frac{\partial\eta}{\partial z}\left[\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{2\mu}{r}\frac{z^4 + 5z^2r^2 - 2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}\right]$$

(23) $$B_\varphi(\omega - \frac{\eta}{r^2} - \frac{v_r}{r} + k_\varphi\Omega) = (\frac{3\Omega r}{2\left(r - r_g\right)} - \frac{2k_\varphi\eta}{r^2})B_r + \frac{\eta k_\varphi \mu z(5r^2+z^2)}{r(r^2+z^2)^3\sqrt{4r^2+z^2}} +$$
$$+\Omega B_z + rB_z\frac{\partial\Omega}{\partial z} + (\frac{2\eta}{r} + \frac{\eta k_\varphi}{r} - v_r)\frac{\partial B_\varphi}{\partial r} - v_z\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} + \frac{\partial\eta}{\partial z}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} +$$
$$+\eta\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial r^2} + \eta\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial\eta}{\partial r}\left[\frac{B_\varphi - k_\varphi B_r}{r} + \frac{\partial B_\varphi}{\partial r}\right]$$

(24) $$v_r B_z + rB_z\frac{\partial v_r}{\partial r} + \left[2\mu v_r + \frac{2\mu\eta}{r^2} + \frac{2\mu}{r}\frac{\partial\eta}{\partial r}\right]\frac{z^4 + 5z^2r^2 - 2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}} - v_z B_r - rB_r\frac{\partial v_z}{\partial r} - rv_z\frac{\partial B_r}{\partial r} -$$
$$-k_\varphi v_z B_\varphi - \frac{9\eta B_z}{r} - \frac{\eta}{r}\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{\partial\eta}{\partial r}\frac{\partial B_r}{\partial z} + \frac{\eta k_\varphi}{r}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} = 0$$

(25) $$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{3}{2}\frac{v_r v_s v_a^2}{\Omega r^2 T} = \frac{\eta v_s}{\Omega r T}\frac{1}{4\pi\rho}(\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{2\mu}{r}\frac{z^4 + 5z^2r^2 - 2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}})^2 - \frac{c\rho}{\pi r T}(v_s^2 - \frac{v_a^2}{2} - RT)$$

Тази система след подходящо обезразмеряване вече може да се подложи на числено третиране.

**Очаквани резултати**

Разработен е модел за изследване магнито-хидродинамиката на адвективен акреционен диск. Очаква се да се изгради адекватно допълнение - модел за еволюцията на короната които да третира и механизмите на авто-структуриране в системата диск-корона.

Да се изучава генерирането на короната, като се разкрие влиянието, което оказват разпределението на ентропията и развитието на адвекция върху енергетиката (индивидуална за компонентите или обща) на системата диск-корона.

Да се проследи и изследва зараждането на неустойчивости в дисковата корона.

**Литература:**


1. H a w l e y, J. F., S. A. B a l b u s (2002), AJ, 573, 749,
2. I a n k o v a, K r. D., L.G., F i l i p o v, Publ.Astron.Obs.Belgrade No74 (2002).
3. I a n k o v a, K r., " Evinces of interaction of flow in disk with magnetic field'", 5th Bulgarian-Serbian Conference (V BSCASS) Heron Press Ltd. Science series, 2007, pp 326-29, *http://aquila.skyarchive.org/5_BSCASS/create/presentations/ Iankova.pdf*
4. I a n k o v a, K r. D., L.G., F i l i p o v, "Modification equations of disk for magnetic corona", SRI-BAS, ISSN 1313-3888, 2008, pp 88-91,. *http://www.space.bas.bg/SENS-2007/1-16.pdf*
5. I a n k o v a, K r., ''Stability and evolution of magnetic accretion disk", Publ. Astr. Soc. "Rudjer Bošković ", No. 9, 2009, pp 327-333. *http://aquila.skyarchive.org/6_SBAC/pdfs/31.pdf*
6. I a n k o v a, K r., "Theoretical modeling of accretion discs. Correlation of the global coefficients with the distributions of local wave numbers in the disc", International Conference MSS-09" Mode Conversion, Coherent Structures And Turbulence", ISBN978-5-9710-0272-7, Moscow,2009, pp 409-414.
7. K u n c i c, Z d., G.V. B i c k n e l l, *arXiv: astro-ph/0402421v1*, 18Feb, 2004.
8. N o v a k, M. A., J. W i l m s, B. V a n g h a n, J. D o v e, M. B e g e l m e n i (1999), AJ 515 726-737.
9. P o t t s c h l d t, K., M. K o n l g, J. W i l m s, R. S t a n b e r t (1998), A&A.
10. R e y n o l d s, C., MHD of the inner regions of BH accretion disks, *preprint*.
11. R o m a n o v a, M. M., G. V. U s t y u g o v a, A. V. K o l d o v a, J. V. W i c k, L o v e l a c e R.V.E., 2004, "THREE-DIMENSIONAL SIMULATIONS OF DISK ACCRETION TO INCLINED DIPOLE:I", *preprint*.
12. S p r u l t, H. C., B. D e u f e l, C. P. D u l e m o n d, Hot and very hot gas around black holes*, http://www.mpa-garching.mpg.de/HIGHLIGHT/2001/highlight0110_e.html.*

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# INFINITY IN SPACE AND GNOSIS

**Deyan Gotchev**

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

***Key words:*** *intuition, variability, space*

***Abstract:*** *Knowledge can be arrived at analyticaly or indirectly through intuition and contemplation on the paradoxes of the outer world. A critical interdisciplinary analysis of the causes for imperfection and discrepancy in the created and tested concepts about the Universe is made.*

# БЕЗКРАЙНОСТТА В КОСМОСА И ПОЗНАНИЕТО

**Деян Гочев**

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

***Ключови думи:*** *интуиция, изменчивост, космос*

***Абстракт:*** *Познанието се постига аналитично или непряко чрез интуиция и промисъл за парадоксите на околния свят. Представен е критичен интердисциплинарен анализ на причините за и несъответствие в създаването и използването на основни концепции за Вселената.*

The Vedic view of India (spanning a long period that goes back to at least 2000 BCE) classifies knowledge in two categories: the higher or unified and the lower or dual. Higher knowledge concerns the perceiving subject (consciousness), whereas the lower knowledge concerns objects. Higher knowledge can be arrived at indirectly through intuition and contemplation on the paradoxes of the outer world. Lower knowledge is analytical and it represents standard science with its many branches. There is a complementarity between the higher and the lower, each being necessary to define the other. This complementarity mirrors the one between mind and matter.
”Science is a continuous process of ‘truthing’ without ever claiming that you have the ‘whole truth.’”
Lay people often misinterpret the language used by scientists. And for that reason, they sometimes draw the wrong conclusions as to what the scientific terms mean. Three such terms that are often used interchangeably are "scientific law," "hypothesis," and "theory." In layman’s terms, if something is said to be “just a theory,” it usually means that it is a mere guess, or is unproved. It might even lack credibility. But in scientific terms, a theory implies that something has been proven and is generally accepted as being true. Here is what each of these terms means to a scientist: Scientific Law**:** This is a statement of fact meant to describe, in concise terms, an action or set of actions. It is generally accepted to be true and universal, and can sometimes be expressed in terms of a single mathematical equation. Scientific laws are similar to mathematical postulates. They don’t really need any complex external proofs, but are accepted at face value based upon the fact that they have always been observed to be true. Specifically, scientific laws must be simple, true, universal, and absolute. They represent the cornerstone of scientific discovery, because if a law ever did not apply, then all science based upon that law would collapse. Hypothesis**:** This is an educated guess based upon observation. It is a rational explanation of a single event or phenomenon based upon what is observed, but which has not been proved. Most hypotheses can be supported or refuted by experimentation or continued observation. Theory: A theory is what one or more hypotheses become once they have been verified and accepted to be true. A theory is an explanation of a set of related observations or events based upon proven hypotheses and verified multiple times by detached groups of researchers.

Unfortunately, even some scientists often use the term "theory" in a more colloquial sense, when they really mean to say "hypothesis." That makes its true meaning in science even more confusing to the general public. In general, both a scientific theory and a scientific law are accepted to be true by the scientific community as a whole. Both are used to make predictions of events. Both are used to advance technology. In fact, some laws can also be theories when taken more generally. The basic law is intact, but the theory expands it to include various and complex situations involving space and time. The biggest difference between a law and a theory is that a theory is much more complex and dynamic. A law describes a single action, whereas a theory explains an entire group of related phenomena. And, whereas a law is a postulate that forms the foundation of the scientific method, a theory is the end result of that same process.
Some scientific theories are well documented and proved beyond reasonable doubt. Yet scientists continue to tinker with the component hypotheses of each theory in an attempt to make them more elegant and concise, or to make them more all-encompassing. Theories can be tweaked, but they are seldom, if ever, entirely replaced. A theory is developed only through the scientific method, meaning it is the final result of a series of rigorous processes. Note that theories do not become laws. Scientific laws must exist prior to the start of using the scientific method because, as stated earlier, laws are the foundation for all science.
Here is an oversimplified example of the development of a scientific theory:

a. Start with an observation that evokes a question. Why?
b. Using logic and previous knowledge, state a possible ansser, called a Hypothesis.
c. Perform an expierment or Test.
d. Then publish your findings in a peer-reviewed journal. Publication
e. Other scientists read about your experiment and try to duplicate it. Verification
f. In time, and if experiments continue to support your hypothesis, it becomes a Theory

Useful Prediction Note, however, that although the prediction is useful, the theory does not absolutely *prove* that the next result will be the same. Thus it is said to be falsifiable. Real scientific theories must be falsifiable. They must be capable of being modified based on new evidence.
The general meaning of the anthropic principle is that what we observe must be compatible with our existence or, more generally, with the existence of advanced life. Humans can occupy only a universe like ours, and this explains in a sense why the universe is as it is. Today the anthropic principle is often seen as a selection principle operating in the context of the multiverse.
There are two opposing scientific views on the origin of life. Adherents to "panspermia" hold to the position that life is everywhere throughout the cosmos and that life on Earth came from other planets. Some believe the universe may be infinite and eternal, and that life may have no origins, and is an intrinsic feature of the living, infinite universe. Adherents of panspermia tend to view consciousness as an integral feature of the cosmos; as a collective consciousness, which may come to be fragmented and individualized within the brain. Therefore, be it panspermia or abiogenesis, human consciousness can be viewed as an offshoot of the evolution of the human brain. Consciousness can evolve.
Quantum physics revealed an inevitable interaction between observer and observed in the microcosm. Thus, human consciousness entered the realm of physics. Physicists began to consider the role of humans in the appraisal of the physical world. *John Wheeler* said "We are not only observers. We are participators." Whereas the early quantum physicists spoke in broad terms about a conscious observer and an insentient objective reality, later ones began to propose theories to explain how this comes about, by appealing to specific quantum phenomena and to neuroscience. *David Bohm* was one of the first to suggest that consciousness is intrinsic to matter at a deeper level (*implicate order*) of which mind and matter are different manifestations (*explicate order)*. *Roger Penrose* argued that that the human brain is capable of discovering truths which cannot be derived through logic alone. His thesis was that “the brain’s organization would have to be geared to take advantage of non-computable action in physical laws, whereas ordinary materials would not be so organized. With *Stuart Hameroff*, he proposed a theory of consciousness involving microtubules which are important elements of the cytoskeleton. In this theory, consciousness arises when the microtubules induce collapses of quantum coherence. *Henry Stapp* regards consciousness as resulting from the fact that the brain determines itself in a way that defies external representation. Every neural excitation is a quantum code, and consciousness arises when one of the codes is selected. In the view of *Amit Goswami* there are ‘archetypes of mental objects” in the mind which are subject to the laws of quantum physics. He formulates a series of equivalences between position and momentum in physics on the one hand and content and association in the world of thought. *Freeman Dyson* published calculations to the effect that consciousness may not be subject to entropy increase and energy conservation, and could therefore exist *ad infinitum* in the universe.

Some mental phenomena are not explainable in the framework of what we call "classical" mechanics. Let us cite, among others, the phenomenon of awareness, the correlations at a distance between individuals, and more generally the synchronicity phenomena.
Synchronicity phenomena are characterized by a significant coincidence which appears between a (subjective) mental state and an event occurring in the (objective) external world. The notion was introduced by the Swiss psychoanalyst Carl Gustav Jung and further studied together with Wolfgang Pauli. Jung referred to this phenomenon as "acausal parallelism" which are linked by an "acausal connecting principle." Synchronicity effects show no causal link between the two events that are correlated. We can distinguish two types of synchronicity phenomena. The first one is characterized by a significant coincidence between the psyche of two individuals. The significant coincidence appears as a correlation between the psyche of the two subjects, suggesting some type of psychic communication. The second type of synchronicity phenomena, which is closer to what was advocated by C.G. Jung, happens when the significant coincidence occurs between a mental state and a physical state. In this case the physical state is symbolically correlated to the mental state by a common meaning. They appear not necessarily simultaneously but in a short interval of time such that the coincidence appears exceptional. Jung referred to these events as "meaningful coincidences." Synchronistic events between mind and matter seem difficult to explain in terms of correlations between conscious or unconscious minds. For Jung, synchronistic events are remnants of a holistic reality - the *unus mundus* which is based on the concept of a unified reality, a singularity of "One World" from which everything has its origin, and from which all things emerge and eventually return. The *unus mundus,* or "One World" is related to Plato's concept of the "World of Ideas," and has its parallels in quantum physics. Thus, the *unus mundus* underlies both mind and matter. As already stressed, in a synchronicity effect, there is no causal link between correlated events localized in space and time. Synchronicity effects are global phenomena in space and time. They cannot be explained by classical physics. However, in the case of a significant coincidence appearing between the psyche of two individuals one can see an analogy with quantum entanglement.
Synchronicity phenomena, especially those involving a correlation at a distance between several individuals, lead to postulate non-localized unconscious mental states in space and time. Although different regions of the brain subserve specific functions, mental states are not exclusively localized in the human brain. They are correlated to physical states of the brain (possibly via quantum entanglement) but they are not reducible to them. The correlations at a distance between individuals (synchronicity phenomena of type I) could be explained with quantum entanglement, and synchronicity phenomena of type II - with the classical illusion of the collapse of the wave-function. Since the analogy between synchronistic events and quantum entanglement is investigated, mental states (conscious and unconscious) are treated as quantum states, i.e. as vectors of a Hilbert space, moreover- as vectors of a Hilbert space of information. Quantum mechanics rests upon two fundamental properties. First it is based on the superposition principle (superposition of vector states of an Hilbert space). Second it is based on a fundamental phenomenon called quantum entanglement. The quantum system describing the two particle system is a global system, a non-local one. Moreover, in such a system, the particles are heavily correlated, but this property is not determined beforehand, i.e. before measurement. Quantum entanglement and the property of "nonseparability" are properties that are fundamentally quantum, that do not exist in "classical physics". Let us notice that the existence of synchronicity phenomena prevents the mental states to be reducible to physical states of the brain. The mental states are correlated to such states, probably via quantum entanglement, but they are not reducible to those states. Quantum physics is a non-local and non-realistic theory. The projection of our subjectivity in the environment in which we live (synchronicity phenomena of type II), in agreement with quantum mechanics, refutes the local hypothesis ("each individual is in his parcel of space-time") as well as the realistic hypothesis ("the object has a reality well defined independent of the subject who observes it"). Some outcomes of another quantum effect, the Bose- Einstein condensation, in which each particle looses its individuality in favour of a collective, global behaviour, can have important consequences in mental phenomena, for example for awareness (for the emergence of consciousness).
Over the course of the past 75 years there has been a gradual accumulation of empirical evidence in support of a direct connection between mentally expressed intention and physical manifestation. Much of this research has been done using random event generators (REGs) in laboratory settings. Even when overall effects of intention are not found or are small in size, there are meaningful secondary characteristics in the database revealing the apparent agency of the participant. Large scale effects have been noted under a variety of conditions.
The most obvious access point within quantum theory for the effects of intention on physical manifestation would be given by the *Kochen-Specker theorem*, which addresses the consequences of assuming that physical variables have definite values prior to their selection for measurement. Indeed, one way of understanding the theorem is to say that either physical variables have no values before

the observables to be measured are selected, or that *contextuality* exists. Contextuality refers to the idea that the values measured for observables would differ depending upon which other observables were also being measured. Quantum theory itself does not appear to determine the selection of observables, so that there is room for human intention to act in choosing which of them is to be measured. In another strategy it has been supposed that intention affects stochastic processes, thereby, in effect, removing actual randomness. In collapse-type quantum-mind theories, the supposition is made that whatever collapses the state vector during measurement in formal experiments in subatomic physics must carry over to the activity of individual people experiencing the reality that they do. The idea is that it is unreasonable to suppose that quantum events can distinguish between the irreversible acts of amplification associated with formal experimentation and everyday observation and that, hence, they must occur informally for everyone. That means that whatever process collapses the state vector, including any decoherence mechanisms, must be extracted from the notion of observation in the context of subatomic experimentation and applied to the situation of everyday life. And whatever that process is, it cannot just occur once in a while, but must be ongoing. The watched pot never boils theorem states that a quantum system cannot change if it is being continuously observed, so that these volitional acts of observation must be closely-spaced, iterated, discrete ones. If, by the Kochen-Specker theorem, observables cannot have fixed values before they are selected for observation, and acts of observation are discrete, then is there anything physically present at all between observations? On a positivist interpretation, the answer is no.

One of the characteristics of transcendent experiences is their noetic quality. And, while we can, of course, question the validity of knowledge stemming from altered states of consciousness, nonetheless it can be fruitful to examine some of the contentions arrived at therein when a whole world seems to be coming fresh-minted into existence moment by moment. The idea is that perhaps the universe flickers, such that the implicate order remains, but its explication as the experiential stream and physical manifestation is constantly being constructed and deconstructed. With regard to the latter, it is not just that the substance of physical manifestation appears and disappears but, given the Einstein equation, so do space and time, as we ordinarily conceptualize them. From the point of view of physical manifestation in spacetime, the flicker rate could be once per Planck time. We can conceptualize a spacetime lattice (with Planck length spacelike separation and Planck time timelike separation) which, in effect, disappears between explications of the implicate order.

Our thoughts are rather continuous. because our experience flickers along with physical manifestation, what appears to be a continuous stream is actually more like a chain whose individual loops become blurred as they occur for us as intentional mental acts.

From a conventional point of view, the usual problem is to understand how the mind can affect a physically closed material system made up of continuously existent matter. Now the inverse problem presents itself, namely, if physical manifestation flickers on and off, what provides for any continuity at all between its iterations? The answer might lie in the notion of morphic fields, patterns that are not themselves physical, but that physical manifestation follows (Sheldrake). There is some empirical evidence for the existence of such fields. The idea is that the morphic fields are present at the level of the prephysical substrate from whence they shape physical spacetime manifestation. And they can be not only selected, but also created, by volition acting at the level of deep consciousness. Hence, while in the nonmanifest state, a selection of a different morphic field can be made, resulting instantaneously in a different physical outcome through the activity represented by the creation and annihilation operators.

There are, of course, many unanswered questions. One is the relation of the flicker rate to changeable rates of observational acts and the consequent timing of intention. Intention, at the level of deep consciousness, persists across iterations of the universe, but that changes in intention could be registered within a single Planck time between instances of manifestation. However, intention expressed within the experiential stream of subjective consciousness could require longer time periods to synchronize with deep consciousness. But this just raises the problem of the relationship of subjective consciousness to deep consciousness and the degree to which it can function autonomously from deep consciousness. Subjective consciousness does not exist on its own, but that its functioning could be largely synchronized with the same "automatic" mechanisms that support morphic fields and only sometimes coincide with creative volitional acts that manipulate the automatic processes. It is also possible that this scheme is too simple and that the mechanisms that maintain the "laws" and patterns of physical manifestation do not stem from the same domain as intentional acts. In particular, creative volitional acts could stem from a deeper level of reality than the automatic processes that sustain morphic fields.

Some hypothesize that all objects in our Universe retain evidence of each event that has occurred to them, recorded chiefly in their particle spin numbers and polarities. They further propose that this information is stored in a holographic form- that is, numerical values referring to the frequency, magnitude, phase, and orientation of the fringes of the wave-interference pattern which is formed

when a coherent wave encounters the object and is partly absorbed, reflected and deflected by the object. Being holographic it is located partly everywhere in the Universe as standing waves. The potentially countably infinite capacity of our Universe to store such "quantum holograms", by turning our attention to the celestial objects often called "black holes". Because of the relativistically-continuous contraction and continuous acquisition of more mass, they can serve as "Nature's hard-drives", holding copies of the quantum holograms generated by each new moment of human experience, as well as by each new event which occurs to non-living objects. The "event history" can be accessed by an appropriately-tuned "phase conjugate adaptive resonance" established by outgoing coherent waves produced by the human mind when it "attends to" or "focuses its attention towards" a particular object. Quantum mechanics' original equations included terms which described such phase-modulated wave-conveyed information. But because those terms could increase towards infinity, quantum scientists eventually discarded them, agreeing to arbitrarily subtract infinity from infinity and to call that subtraction 're-normalization' of the equations. Although re-normalization does not cause major inaccuracies in QM equations for total energy, it does eliminate attention to the phase-variation of waves which would account for their enormous information carrying capability. Paul Dirac critiqued renormalization with these words: "Neglecting infinities … in an arbitrary way is just not sensible mathematics. Sensible mathematics involves neglecting a quantity when it is small --- not neglecting it just because it is infinitely great and you do not want it."

Leonhard Euler's $e^{ipi} + 1 = 0$ unites the five fundamental constants of mathematics. "…it is absolutely paradoxical, we cannot understand it, and we don't know what it means. But we have proved it, and therefore we know it is the truth..." Benjamin Peirce.

Large cardinals have been studied by logicians for a century, but their intangibility means they have seldom featured in mainstream mathematics as in the case with the assumption for the the existence of a type of large cardinal known as an inaccessible cardinal, technically overstepping the bounds of conventional arithmetic. In the 1920s, David Hilbert laid down a grand challenge to his fellow mathematicians: to produce a framework for studying arithmetic, meaning the natural numbers together with addition, subtraction, multiplication and division, with Giuseppe Peano's axioms as its backbone. Such a framework, Hilbert said, should be consistent, so it should never produce a contradiction such as 2 + 2 = 3. And it should be complete, meaning that every true statement about numbers should be provable within the framework. Kurt Gödel's first incompleteness theorem, published in 1931, killed that aspiration dead by encoding in arithmetical terms the statement "this statement is unprovable". If the statement could be proved using arithmetical rules, then the statement itself is untrue, so the underlying framework is inconsistent. If it could not be proved, the statement is undeniably true, but that means the framework is incomplete. In a further blow, Gödel showed that even mere consistency is too much to ask for. His second incompleteness theorem says that no consistent framework for arithmetic can ever be proved consistent under its own rules. The coup de grâce was delivered a few years later, when Alan Turing and Alonzo Church independently proved that another of Hilbert's demands, that of "computability", could not be fulfilled: it turns out to be impossible to devise a general computational procedure that can determine whether any statement in number theory is true or false. Gödel's triumph has arrived: the final proof that if there is a universal grammar of numbers in which all facets of their behaviour can be expressed, it lies beyond our ken.

What does this mean for mathematics, and for fields such as physics that rely on the exactitude of mathematics? In the case of physics, probably not much. According to Freeman Dyson "…mathematics and physics are both open systems with many uncertainties, and I do not see the uncertainties as being the same for both." The clocks won't stop or apples cease to fall just because there are questions we cannot answer about numbers.

The most severe implications are philosophical. The result means that the rules we use to manipulate numbers cannot be assumed to represent the pure and perfect truth. Rather, they are something more akin to a scientific theory, our best approximation to reality, well supported by experimental data, but at the same time manifestly incomplete and subject to continuous and possibly radical reappraisal as fresh information comes in. The problems highlighted start when they consider infinite collections of objects and realise they need ever more grotesque infinite quantities to patch the resulting logical holes. Is the concept of infinity itself wrong?. "Infinite mathematics is meaningless because it is abstract nonsense" said Doron Zeilberger. But can we dismiss infinity that easily? Many mathematicians believe not, but we now know that even by accepting even the lowliest, most manageable form of infinity- that embodied by the "countable" set of natural numbers- we usher in a legion of undecidable statements, which in turn can only be tamed by introducing the true giants of the infinite world, the large cardinals. The debate will rage on. The two possible conclusions are equally unpalatable. We can deny the existence of infinity, a quantity that pervades modern mathematics, or we must resign ourselves to the idea that there are certain things about numbers we are destined never to know.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# MULTIVERSES - WHAT IS THE DIFFERENCE THAT MAKES THE DIFFERENCE?

**Deyan Gotchev, Daniela Boneva**

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

***Key words:*** *multiverses, hierarchy, variability, space*

***Abstract:*** *A critical interdisciplinary analysis of the causes for imperfection and discrepancy in the created and tested concepts about the Universe is made. Possible future attempts are commented*.

# МУЛТИВСЕЛЕНИ - КОЯ Е РАЗЛИКАТА, КОЯТО ПРАВИ РАЗЛИКАТА?

**Деян Гочев, Даниела Бонева**

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

***Ключови думи:*** *мултивселени, йерархия, изменчивост, космос*

***Абстракт:*** *Представен е критичен интердисциплинарен анализ на причините за и несъответствие в създаването и използването на основни концепции за Вселената. Обсъждат се възможни бъдещи опити.*

The title opens up both conceptual and empirical problems which in part have to do with language, and perhaps the limitations of the human mind. A usual approach to the behaviour of highly a complex (hierarchic) system starts with modelling it as isolated and symmetric to time reversal. Any emergence of the "arrow" of time is ascribed to making the system open to their surrounding. And all kinds of classical models for open systems are based on the assumption that this coupling is weak. If the coupling becomes stronger and stronger we run into serious trouble due to the requirement of the continuity of both time and space dimensions.

With regard to cosmology we live at a very privileged time. Previously, when we learned about bold revolutionary paradigm changes, in which our fundamental ideas about nature underwent radical revisions, the drama had already taken place in the distant past. Today, however, we have the rare opportunity of witnessing at first hand a profound transformation in our basic understanding of how nature is structured. This ongoing change of cosmological paradigms from a "small" finite cosmos to an infinite fractal cosmos began about three decades ago and is in full swing at present. The new general paradigm that cosmologists and natural philosophers have arrived at by several different routes is an infinite fractal hierarchy that has "universes" within "universes" without end. Parts of the Universe may be created or annihilated, or may undergo expansion or contraction, but overall the infinite fractal hierarchy remains eternal and unchanged as a whole, and therefore it is without temporal limits. There is no limit to size scales. In the infinite fractal paradigm there is no class of largest objects that would cap off the cosmological hierarchy; the hierarchy is infinite in scale. This fact removes one of the more suspect aspects of the old paradigm. When humans do appear to be at the center of things, we should strongly suspect that some form of bias is leading us astray.

We humans taxonomize because our brains like to organize and categorize things. We perceive cause-and-effect relationships because they are products of our evolution and are critical to our survival. But if we step outside of that human bias for a moment and try and observe nature from nature's point of view, we see that these taxonomies and evolutionary processes are more our creation than nature's.

Although different universes, or multiverses, may each have their own distinct physical parameters, constants and even dynamics, nevertheless they must obey some form of the Second Law of

Thermodynamics, otherwise such thought experiments are to be discounted, and any physical system that violates SLT is to be interpreted is not real, or at least that not all the variables are known. Memory and entropy are deeply related aspects of each other, in much the same way that various forms of energy are related and can be converted into one form or the other without loss. Any system converting entropy into memory, or memory into entropy, which also involves choice, thus contributes to running the system, we characterizes as having intelligence or consciousness. If such a system is the universe itself, or multiverses, we say cosmic consciousness is involved in the operation of the cosmology.

How is it that the math that so wonderfully exactly describes the world we can see allows infinities? Is our universe just one among an ensemble of many? Just an infinitesimal part of an elaborate structure, which consists of numerous universes, possibly an infinite number of universes, sometimes referred to as multiverses? With so many possible types of multiverses to choose from, which one can we legitimately select to develop a cosmology that parallels the thought experiment of James Clerk Maxwell and his intelligent demon? We must rely on various observations to guide us, and when those are not available, to be guided by sound reason.

Physics is the art of approximations, a device we have to describe the world we measure. Sometimes, however, we get carried away, and ascribe reality to what are, in essence, thinking tools. This may sound heretic, but it seems that the universe is one of these thinking tools. Physics gets really weird as soon as we go beyond Newtonian physics**,** a priori weird, it is what we observe. The universe is stranger than we imagine, it may even be stranger than we can imagine.

“Science advances funeral by funeral” said Max Planck. The scientific endeavour usually takes place in the form of research programs rather than in respect of single hypotheses or theories. And refutations are not a straightforward sign of empirical progress, and this is because research programs grow in a permanent ocean of anomalies- data are theory-dependent, they might simply be false or interpreted wrongly. Theories are often ahead of data and should not been thrown away too quickly. Testability, a sophisticated falsificationism, referring to a struggle between theories and data interpretation is important, but not necessarily at least at the initial stages of theory building. It is reasonable to keep the theory for a while, especially its "hard core" (at least if there is no alternative or an experimentum crucis is very rarely accomplished). Instead of killing the theory, the "protective belt" of auxiliary hypotheses should be modified first. Of course this effort to save the core could lead to immunization strategies which would in the end expel the theory from science. Furthermore, falsification is often difficult to achieve because core commitments of scientific theories are rarely directly testable and predictive without further assumptions. Therefore, ad hoc hypotheses to save a hard core could led to program degenerations especially if they are problem shifts not pointing to other fruitful areas.

"Why is there something rather than nothing?" asked Leibniz. Cosmology provides a lot of examples for the complex interplays between competing theories, data acquisition and interpretation, immunization, and even paradigm changes. The most prominent were geocentrism versus heliocentrism, metagalaxy versus island universe, and steady state versus big bang. Universe versus multiverse seems to be the next challenge in this direction.

In contemporary science, besides for the discussed aspects of cosmology that are common to available observations, there are some relevant features including among others: evolution of systems at multiple levels; hierarchies of complexity, from quantum to cosmos; networks of relationships at multiple levels; importance of both reduction (exclusive focus on efficient cause) and emergence with both bottom-up (efficient causality) and top-down causation provide examples of emergent processes; dualities without dualism arising from modern physics [e.g., both continuity and quantization; both symmetry and asymmetry, both particles and fields; fine-tuning of physical systems; ultimate limitations of physical cosmology. These common features are characteristics of some firmly established components of modern science (quantum theory, nonlinear dynamics, etc.) and appeal to less established theories in physical cosmology is generally not needed. Science is constituted by methodology and not by any particular content or results. For metaphysics and philosophical cosmology, the focus can remain on consistency and coherence, albeit with ultimate grounding in experience with a concern for applicability. However, in physical cosmology and science more broadly, linkages to observation and experiment are essential.

Although complexities have arisen with all efforts to distinguish proper scientific propositions from non-scientific propositions, some helpful concepts have been developed, principally falsification (hypotheses should be falsifiable in principle) and Ockham’s razor (keep hypotheses as simple as possible). It is often assumed that scientific methodology is fully characterized by the hypothetical-deductive framework. In cases where very large datasets are available, some scientific problems may be more clearly resolved by deployment of the observational-inductive approach rather than by the theory-oriented hypothetical-deductive approaches that are currently prominent in physical cosmology. Frontline physics is not as unique and reliable as the multiply tested physics of every-day life. The

further the frontline advances towards unreachably large, or unresolvably small separations, or timescales, the more plausible assumptions have to replace redundant experience, and hasty interpretations can lead astray.
Though the demarcation criteria for science have sometimes been criticized and are somewhat fuzzy indeed, it is usually rationality that rules. But this is of course the main source of the controversies. How can we know, if for a successful research program in cosmology there are only some popularly established criteriaan corresponding answers as: many applications? -no; novel predictions?- perhaps yes, partly; new technologies?- definitely not (yet); answering unsolved questions?- yes; consistency?- hopefully; elegance?- depends on taste; simplicity?- often yes; explanatory power/depth?- certainly yes; unification of distinct phenomena?- yes indeed; truth?- nobody knows.
Why is that which is, the way it is? These question is among the most fundamental (meta)physical mysteries currently debated in cosmology. The multiverse hypothesis represents, at least in part, an attempt to answer them. The central tenant of the multiverse hypothesis (henceforth called M) is that our universe is just one among an ensemble, an infinitesimal part of an elaborate structure which consists of numerous universes, possibly an infinite number of universes. Thus M has been conceptualized and described by a variety of terms including "many worlds", "parallel worlds", "parallel universes", "alternative universes", "alternative realities", "alternative dimensions", "quantum universes", and so on. Some of these "universes" could have a physics or chemistry completely unlike our own, and this has led to additional questions, such as: is our universe fine tuned for life, and if so, why? No approach can possibly provide an exhaustive or ultimate answer to these questions, and neither does M seek to do that. But if empirically confirmed in some way, or rigorously derived theoretically, M would be one of the most radical and far-reaching insights in the history of science. M could well be a derivative of the ultimate *explanans*. Possibly, precisely because of these exciting prospects, M is controversial and under attack not just from sceptical scientists, but theologians and critical philosophers of science. This is not surprising and, indeed, it is to be appreciated because extraordinary claims which have the potential to overturn and usher in a new world scientific order, require extraordinary evidence. And considerable evidence remains to be discovered**.**
The term "universe" (or "world"), as it is used today, has many different meanings such as:
(1) Everything (physically) in existence, ever, anywhere, in totality. According to this defintion there are no other universes.
(2) The observable region of the cosmos that we can observe and which we inhabit plus everything that has interacted or will ever interact with this region.
(3) Any gigantic system of causally interacting things that is wholly (or to a very large extent, or for a long time) isolated from others; sometimes such a locally causally connected collection is called a multi-domain universe, consisting of the ensemble of all sub-regions of a larger connected spacetime, the "universe as a whole", and this is opposed to the multiverse in a stronger sense, i.e. the set of genuinely disconnected universes, which are not causally related at all.
(4) Any system that might well have become gigantic, etc., even if it does in fact recollapse while it is still very small.
(5) Other branches of the wavefunction (if it never collapses) in unitary quantum physics, i.e. different histories of the universe or different classical worlds which are in superposition.
(6) Completely disconnected systems consisting of universes in one of the former meanings, which do or do not share the same boundary conditions, constants, parameters, vacuum states, effective low-energy laws, or even fundamental laws, e.g. different physically realized mathematical structures
Therefore, "multiverse" (or "world" as a whole) can be used to refer to everything in existence (at least from a physical point of view), while the term "universe" can refer to one of several universes (worlds) within the multiverse. In principle, these universes mostly conceived in the meaning of (2), (3), or (4) might or might not be spatially, temporally, dimensionally, causally, nomologically and/or mathematically separated from each other. Thus, sharp boundaries do not necessarily exist between them. One might call the whole set of different universes the multiverse.
In an infinite fractal hierarchy there is no center of the Universe whatsoever, nor is there any preferred reference frame or scale. Why are fractal hierarchies so ubiquitous in nature? By studying empirical phenomena within the observable universe, how much will we be able to learn scientifically about the parts of the Universe that lie beyond our observational limits? But it could be true that there are even different sets of totally spatiotemporally and strictly causally separated multiverses, e.g. different bunches of chaotically inflating multiverses. In that case it remains useful to have a term with a still broader meaning, namely ‘omniverse’ or ‘cosmos’. Thus, omniverse or cosmos could be taken as the all-embracing term for everything in existence which might or might not be the set of different multiverses, while the multiverse refers to and consists of different universes which are not separated in every respect. Although most believe that multiverse classifications should be abstract enough to include all possible cosmological scenarios, there is no general agreement as to exactly what that should be. For example, it has been suggested that the multiverse should be categorized with regard

to separation/distinction of the different universes. Even if all dimensionless constants of nature could be reduced to only one, a pure number in a theory of everything, its value would still be arbitrary, i.e. unexplained. No doubt, such a universal reduction would be an enormous success. However, the basic questions would remain: Why this constant? Why this value? If infinitely many values were possible, then even the multitude of possibilities would stay unrestricted. If there were just one constant (or even many of them) whose value can be derived from first principles, i.e. from the ultimate theory or a law within this theory, then it would be completely explained or reduced at last. But what would such a spectacular success really mean? First, it could simply shift the problem, i.e. transfer the unexplained contingency either to the laws themselves or to the boundary conditions or both. This would not be a Pyrrhic victory, but not a big deal either. Second, one might interpret it as an analytic solution. Then the values of the constants would represent no empirical information; they would not be property of the physical world, but simply a mathematical result, a property of the structure of the theory. This, however, still could and should have empirical content, although not encoded in the constants. Otherwise, fundamental physics as an empirical science would come to an end. But an exclusively mathematical universe, or at least an entirely complete formal description of everything there is, derivable from and contained within an all-embracing logical system without any free parameter or contingent part, might seem either incredible (and runs into severe logical problems due to Kurt Goedel's incompleteness theorems) or the ultimate promise of the widest and deepest conceivable explanation. Empirical research, then, would only be a temporary expedient like Ludwig Wittgenstein's famous ladder: The physicist, after he has used empirical data as elucidatory steps, would proceed beyond them. "He must so to speak throw away the ladder, after he has climbed up on it."

That there is no contingency at all seems very unlikely. So why are some features realized but not others? Or, on the contrary, is every feature realized? Both questions are strong motivations for M. The strongest version of M is related to the principle of plentitude or principle of fecundity (advocated e.g. by Richard Feynman, Dennis Sciama). According to this principle everything is real, if it is not explicitly forbidden by laws of nature, e.g. symmetry principles. The question remains: What is forbidden, i.e. physically or nomologically not possible and thus not "allowed" by natural laws? This is a slippery slope. There are or could be at least three main reasons for assuming the existence of other universes: empirical evidence, theoretical explanation, and philosophical arguments. These three reasons are independent from each other, but ideally entangled. As far as there is at least some connection with, or embedding into a theoretical framework of physics or cosmology, M is part of the scientific endeavour, not only of philosophy. This is also the case in the absence of empirical evidence, if a theoretical embedding exists. And philosophical arguments might at least motivate scientific speculation. There is an important distinction: Scientific laws on the one hand must be falsifiable. In science verification is obviously extremely important. But falsification is not sufficient to disprove an idea in controversial and hypothetical situations even if there are concise predictions. That is, "absence of evidence is not evidence of absence." So what is missing here? It is theoretical embedding. To be reasonably part of science, hypothetical universal existence statements must not only be verifiable, they must also be part of a sufficiently confirmed or established scientific theory or theoretical framework. Statements about the existence of other universes are not like statements about scientific laws. The latter must be falsifiable, while the former should be taken as universal existential statements which cannot be falsified, but must be verified. So ultimately a multiverse scenario might only be accepted, strictly speaking, if there is empirical evidence for it, i.e. observational data of another universe or its effects. A weaker argument for M would be if a falsifiable, rigorously tested theory predicts the existence of other universes, and this theory is well established according to the usual scientific criteria. Still weaker are philosophical reasons. Whether they could suffice if they are stronger than alternative statements is a controversial issue and lies at or beyond the boundaries of physics and cosmology.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# SPACE DEBRIS AND SPACE SITUATIONAL AWARENESS

**Deyan Gotchev, Plamen Trenchev**

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

***Key words:*** *debris, deception, risk, SSA*

***Abstract:*** *Over the past several years, many scientists have offered possible solutions to the ever growing cloud of space junk circling the Earth. The different ideas are commented with view of the possible use on purpose to influence a strategic decision making process. An accent on the risk due to the probable unpredictability of the outcome is made.*

# КОСМИЧЕСКИ ОТПАДЪЦИ И ОЦЕНКА НА СИТУАЦИЯТА

**Деян Гочев, Пламен Тренчев**

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

***Ключови думи:*** *отпадъци, измама, риск*

***Абстракт:*** *През последните няколко години доста учени предлагат възможни решения на все по нарастващите проблеми заради космическия боклук около Земята. Коментирани са различни гледни точки с оглед на възможното им целенесочено използване за влияние върху вземането на стратегически решения. Акцентира се на риска от вероятната непредсказуемост на резултата.*

More than 5,500 tonnes of junk now clutters the region of space above our heads: more than 60 objects at a height of about 850km, and two thirds of those weigh more than three tonnes each - many moving near a speed of 7.5km/s. 10% of all objects in Earth's orbit are satellites, while the rest is rubbish: spent rocket stages, defunct satellites, acceleration blocks and other debris. The debris presents a risk not only to other man-made satellites in orbit, but occasionally also to the International Space Station and manned space missions. Recently a couple of dangerous encounters of ISS with space debris (the last one in June, 2011, a 300m distance fly-by) were reported to the public. In 2007, China demonstrated an anti-satellite system, destroying one of its own defunct satellites and creating 2,000 extra bits of debris in a used satellite-field at a H=800km. A similar test was done by the USA in February, 2008. Although there have been some near-misses and a few minor collisions, in 02.2009 for the first time two intact US and Russian satellites have crashed into each other and created even more junk. And while the amount already up there is of concern, what is even more troubling is the possibility of space and the debris up there falling prey to the Kessler Syndrome, after the NASA scientist who first described it in 1978: in the longer-term, computer modelling work has identified a worrying effect called a "collision cascade", a kind of domino effect where collisions create more debris, which generates further collisions, creating even more debris banging into each other on chaotic trajectories.. Eventually, you reach the point where you can't sensibly launch satellites into the orbits you want because they'll get pounded to pieces. Satellite shielding is effective for objects below 1cm. But beyond that size collision avoidance - commanding the satellite to move out of the way of debris - may be the most prudent option. This is one of the reasons why the satellite operators and international agencies quite deliberately have agreed that retired hardware - old satellites or spent rocket stages - should be removed from space within 25 years of the end of service. Over the past several years, many scientists and armchair enthusiasts alike have offered up a possible solution to the ever growing cloud of space junk circling the Earth. A lot of ‘crazy’ ideas are constantly discussed like for e.g. some sort of very large net strung between two large, heavy satellites that make slow

orbits scanning from one pole to the other. Once the net hits a certain quota, close it up, drop it back to earth. Another proposal suggested a cloud of tungsten be sent up to coat the trash, causing it to grow heavy enough to fall to Earth. Using lasers for shooting down the debris is an interesting option too. Using large deployable surfaces to increase the drag on these objects so they fall to Earth rapidly is also a possible solution to the space litter problem. Another one is to perfect nanobots or some other technology that can break down the junk into its respective elements. There is a suggestion that a satellite carrying among other things a solid propellant that could be affixed to a large piece of space junk, be launched. The satellite would have two robotic arms: one to grab hold of the piece of junk, the other to affix the propellant device that once activated, would guide the piece of junk towards Earth, where it would burn up in the atmosphere. Such a satellite would be capable of de-orbiting 35 large objects over a 7 year period. It would target about 50 large rocket bodies that are currently orbiting in the sun-synchronous orbital region near the Earth, which is where most of the catastrophic collisions in the near term are likely to occur. The proximity operations and manoeuvring talked about here is not easy, but the technology for the idea that you go and attach yourself to something in orbit is becoming more credible. Nevertheless, the greater problem may be political and could be seen as a threat to operative systems. Russia's space surveillance facilities include an "Okno" optical tracking system near Nurek, Tajikistan, and a "Korona" long-range radar and optical tracking centre at Storozhevaya in south-west Russia. China is developing its own systems.

The US Space Surveillance Network (SSN) is the most sophisticated system for tracking objects in orbit. The US already makes available some data from its Space Surveillance Network. But this US Air Force data, known as two-line elements, is of relatively low quality, with satellite positions only accurate to within 20-30km (distances which are covered in 3-4 seconds at typical low Earth orbit velocities of 7.5 km/s). Additional uncertainties are introduced when satellite orbits are extrapolated days or weeks ahead. This is because spacecraft are perturbed by drag, solar radiation pressure and the Earth's gravity field. The more inaccurate the initial data on a satellite's position, the more inaccurate these predictions will be. In addition, for a satellite constellation in low-Earth orbit, two-line element data might throw up hundreds of potential collision alerts every day. Many satellite operators simply lack the financial resources to perform detailed analyses on each potential collision. The US Air Force maintains a second, more precise database of information on the same orbital objects. But these more accurate data are deemed far too sensitive to share publicly - for fear the data could give away clues about the capabilities of US sensors. However, keeping close tabs on all the junk up there is beyond even the resources of the US military who operates 25 centers around the world to track objects in space. High accuracy surveillance is reserved only for a handful of high-value assets such as the space shuttle, the space station and multi-billion-dollar spy satellites. Space-based systems, which provide accurate weather data, telecommunications and satellite-navigation services, play an increasingly vital role in Europe's economy. Until now, Europe has been largely dependent on the US for knowing what is going on in space, but for some time this situation is regarded as inadequate. In November 2008, space ministers approved a 49.5-million-euro proposal to prepare the way for a European system which will stand watch over orbital debris, near-Earth objects (NEOs) and solar activity. Together these phenomena could threaten lives and infrastructure in space and on the ground. An advanced capability to monitor such threats is known as Space Situational Awareness (SSA) , which will need to formulate a data security policy as well as consider what infrastructure has to be built and how existing sensors might contribute. Radars are generally used to track objects in low-Earth orbit, while optical telescopes are often used to observe objects further away from the Earth. The advantage of a space-based sensor is that it is above the clouds and is unaffected by the day/night cycle, so its tracking can be far more frequent. Electronic eavesdropping can be used to assess whether or not satellites are active. The existing facilities might include France's GRAVES (large-scale system adapted for space monitoring) radar system, which can survey objects in low-Earth orbit up to distances of 2,000km, the Zimmerwald optical telescope observatory in Switzerland, and the ESA Space Debris Telescope in Tenerife, Spain. The ‘Saphhire’ satellite system (Canada's Department of National Defence), will carry an optical telescope for tracking satellites in high orbits, especially geosynchronous orbit (GEO). These preliminary services should provide users with access to a catalogue detailing the orbits of functioning spacecraft and debris. From 2011 on ESA is looking at a ten-year timeline for development of the full system. Beyond 2011 there is a need to build new state-of-the-art facilities to achieve high performance, including the ability to track objects down to 10cm in size. But for true space situational awareness, it will also be necessary to track objects more frequently. This means monitoring the locations of satellites multiple times each day. They should also alert satellite operators to potential collisions between their spacecraft and other objects in orbit. In the event that a possible collision is identified, users could request a more detailed analysis of the objects' trajectories using a high power radar such as the Tracking and Imaging Radar (TIRA) in Wachtberg, Germany. ESA has also been talking to NASA and the US DoD about the potential for making the European and American networks interoperable, or compatible. There is a certain level of

independence Europe wants to have in its ability to protect its own space assets. But it also offers the opportunity to get more out of two systems. The US has concerns that the European network could be used by hostile nations in attacks on American targets. Britain's participation presents particular questions because of its "special relationship" with America. Sources say that, in principle at least, there is a willingness on both sides to work together on SSA, though some in Europe remain wary of US intentions. A policy directing how the data will be used is also important for Europe's system, given the sensitivities over sharing information from military sensors. One thing that would have to be done is to have data anonymity. A way to address the issue might be to place a software application between the sensitive data and end users. Information provided by participating countries would be used to train this interface. People will be quite glad to put things in as long as you can't trace things back and work out the power and capability of the sensor. Users would then obtain the answers they require without ever seeing details of the satellite positions.

From identifying a hostile or benign object to attributing an attack SSA is a critical component of a security strategy in space. Large numbers of state and non-state actors use space-based products and it is estimated that over 115 states own, or have a share in, satellites. Increasingly, information-intensive operations and the realities of long-range power projection are inducing an increasing dependency on space. The militarisation of space and counter-space weapon systems are a reality. In an international system where asymmetry and hybrid threats are king, the space domain is ripe for exploitation by dominant powers and those on a lesser footing alike. The norm against space-based WMDs holds strong and space-based kinetic weapons are economically infeasible, but it does not require a state actor with a modified ballistic missile interceptor, or a non-state actor with jamming or spoofing capabilities to achieve an effect. A small piece of debris will suffice. With the importance of controlling the narrative in casualty-sensitive societies, "smart" weaponry and precision targeting are accepted necessities. It is not hard to envision how the elimination of just those specific space-dependent capabilities would play out in a 3-rd world conflict. If you develop the SSA-system, it could contain additional capabilities. The first priority is to build ground-based infrastructure. But it is not to be excluded that later in the programme, space-based monitoring could take place. If there is a problem with our satellite, we would like to have the ability to analyse precisely what is wrong with it. One way of doing that is from the ground using telescopes. Another is to have a satellite in orbit which could approach the damaged satellite and carry out a close inspection to see what is happening. Space surveillance is one thing, but to get to space situational awareness you need more than either optical sensors for high altitudes and radar for low altitudes. You need details from satellite operators. The space domain is primarily populated by private - not public - entities. Only around 20% of satellites in geosynchronous (GEO) or low earth orbit (LEO) are solely dedicated to military functions.

This is a concern as certain US military satellites and ground-stations have some, albeit limited, hardening measures, whereas civilian systems - where the emphasis is on costs rather than threats – do not. In the era of the "comprehensive approach" and NGO's satellite dependency on imagery, coordination, communications and meteorological information, even the loss of civilian satellite use can have a pronounced military impact. But the consequential impact of satellite disruption can extend far beyond military operations as the use of space permeates the civilian sphere in ways that tend to be taken for granted. From navigation, telecommunications and broadcasting to meteorological observation, environmental monitoring and supporting international trade and finance - civilian satellite use ranges from convenience to necessity and, in a similar vein to the military, dependencies are increasing. Most space-related technologies have the potential of dual-use, with varying levels of effect- from relatively simple transmitters acting as jamming or spoofing devices for blocking or hijacking a satellite's signal, to deliberately colliding one satellite with another; from modifying missile defence interceptors, to using miniature repair satellites as covert saboteurs. One solution to this predicament is the development of redundant systems and resilient technologies as a means to mitigate the costs of space "loss" and to employ some semblance of denial deterrence. The deployment of micro and nano satellites (less than 100kg and 10kg respectively) is an innovative options. The proposed ideas involve satellites being launched individually or in networked clusters that provide a redundant flexibility should key satellite nodes come under attack. However, these capabilities frequently require advances in microelectronics, lightweight materials, power sources and advanced networked systems. What's more, if quick deployment is the idea, then the delivery system needs to be capable of extended storage and high readiness – which is no mean feat.

Space debris was once the principal concern of space surveillance, but a different threat comes from near-Earth objects - the primordial rocks left over from the formation of the Solar System. It has been difficult to find funding for facilities directed exclusively towards NEO discovery. Existing ground and space telescopes used for astronomy or military activities are eminently suitable for logging asteroids and comets. The third big peak in discovery of near-Earth objects below the 1km size was with the US GEODSS system used for looking at satellites. The US military allowed those satellites to be used for NEO detection while they weren't being otherwise utilised. Space weather is the third component of

ESA's SSA programme. The bulk of this discipline is concerned with solar activity. Radiation from flares and coronal mass ejections (CMEs) on the Sun may launch X-rays and high energy particles towards Earth.

Space situational awareness is also regarded as an important step towards the holy grail of space traffic management. A system analogous to that which currently governs the movements of aircraft is still some way off. When access is assured, space is a mission enhancer. It is now becoming a mission enabler. By failing to effectively address our vulnerabilities there, the “loss” of space has all the potential to become a “mission disabler”. We should not wait for the lights to go out.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ДВИЖЕНИЕ НА СПЪТНИК В ЕКВАТОРИАЛНАТА РАВНИНА НА ПЛАНЕТА

**Костадин Шейретски[1], Меглена Лазарова[1], Румен Шкевов[2], Николай Ерохин[3]**

*[1] Университет за национално и световно стопанство*
*[2] Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[3] Институт за космически изследвания – Руска академия на науките*
*e-mail: ksheiretsky@mail.space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *нелинейна динамика, метод на Поанкаре-Линдщед, движение на спътник, адиабатични инварианти*

***Резюме:*** *Изследва се орбиталното движение на екваториален спътник на планета. Изведен е интеграла на енергия в адиабатични инварианти. Използван е метода на Поанкаре-Линдщед за намиране на приближено решение, което улеснява по-нататъшния анализ на динамичните явления протичащи в системата. Изведено е уравнението на Ойлер за движението на спътника олколо неговия център на масите.*

# SATELLITE DYNAMICS IN PLANET EQUATORIAL PLANE

**Kostadin Sheiretsky[1], Meglena Lazarova[1], Rumen Shkevov[2], Nikolay Erokhin[3]**

*[1]University of National and World Economy*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[3]Space Research Institute – Russian Academy of Sciences*
*e-mail: ksheiretsky@mail.space.bas.bg*

***Key words:*** *nonlinear dynamics, Poincaré-Lindstedt method, satellite dynamics, adiabatic invariants*

***Abstract:*** *Planet equatorial satellite dynamics is investigated. Adiabatic invariant of constant of motion is leaded. The Poincaré-Lindstedt method is applied. The approximation allows analyze system dynamics processes. The Euler equation for satellite dynamics around center of masses is worked out.*

## Въведение

Изучаването на нелинейното движение на естествени и изкуствени спътници е фундаментален въпрос в космическите изследвания. Движението на спътник в централно поле е задача, плодотворна за аналитични разглеждания [1,2]. От една страна, простотата на математичните изводи позволява да се изведат опростени уравнения описващи динамиката на системата, а от друга формулите съдържат нелинейните ефекти които ни интересуват - ефекти проявяващи се при далеч по сложни динамични системи. Извеждането на уравнения в подходящ за аналитично изследване вид играе голяма роля в изучаването на динамични системи от типа планета-спътник [3]. Напълно интегруемата задача за две тела може да бъде използвана като отправна точка на по-общата задача за движение на тела с произволна форма в тяхното собствено гравитационно поле. В общият случай задачата е неинтегруема и за нейното аналитично изучаване се прибягва до сложни аналитични техники. Методът на каноничните преобразувания при изучаването на хамилтонови системи в небесната механика [2, 4]. Посредством този метод може да бъде изведено уравнението на енергията на системата в променливи на Делоне [5]. В настоящата статия горепосочения подход е приложен за движение на спътник със сферична форма в екваториалната равнина на сплесната при полюсите планета [6]. Изведеното уравнение е подходящо като първо приближение на по-сложни задачи [7], при които могат да бъдат отчетени и параметри като форма на спътника, движение при взаимодействие на електрични и магнитни полета, както и отчитането на приливните сили [3,8,9].

Интегрирането на уравненията на движението на спътника в специални функции е неудобно за последващ анализ на механичната система, като отправна точка за разглеждането на движението на спътника около неговия масов център. При отчитането на формата на спътника в нулево приближение могат да се използват резултатите за орбиталното движение, получени при разглеждането му като сферично тяло. Опростено уравнение в този случай може да бъде получено чрез метода на Поанкаре-Линдщед [10,11]. В последствие получените аналитични изрази могат да бъдат поставени в уравненията на Ойлер, като по този начин получаваме диференциалното уравнение за движението на спътника около неговия масов център [12].

**Орбитална динамика на движението**

Ще изведем динамичните уравнения на спътник движещ се в екваториалната равнина на сплесната при полюсите планета в променливи действие – ъгъл.

В сферични координати кинетичната енергия е равна на

(1) $$E_k = \frac{m}{2}\left(\dot{R}^2 + R^2\dot{\theta}^2 + R^2\sin^2\theta\,\dot{\varphi}^2\right),$$

където $m$ е маса на спътника, $M$ е маса на планетата, $(R,\theta,\varphi)$ са полярните координати на спътника. Каноничните импулси имат вида:

$$p_r = m\dot{R},\ p_\theta = mR^2\dot{\theta},\ p_\varphi = mR^2\sin^2\theta\,\dot{\varphi}.$$

Хамилтонияна на тази система е равен на:

(2) $$H = \frac{1}{2m}\left(p_r{}^2 + \frac{p_\theta{}^2}{R^2} + \frac{p_\varphi{}^2}{R^2\sin^2\theta}\right) - \frac{k}{R} - V(R),\quad k = \gamma mM.$$

$\gamma$ - универсална гравитационна константа.

Полагаме: $S = S_r(R) + S_\theta(\theta) + S_\varphi(\varphi)$, тогава диференциалното уравнение на Хамилтон-Якоби има вида:

(3) $$\left(\frac{\partial S}{\partial R}\right)^2 + \frac{1}{R^2}\left(\frac{\partial S}{\partial\theta}\right)^2 + \frac{1}{R^2\sin^2\theta}\left(\frac{\partial S}{\partial\varphi}\right)^2 - 2m\left(E + \frac{k}{R} + V(R)\right) = 0.$$

Уравнението се разпада на три обикновени диференциални уравнения:

(4) $$\frac{dS_\varphi}{d\varphi} = \alpha_\varphi;\ \left(\frac{dS_\theta}{d\theta}\right)^2 + \frac{\alpha_\varphi{}^2}{\sin^2\theta} = \alpha_\theta;\ \left(\frac{dS_r}{dR}\right)^2 + \frac{\alpha_\theta{}^2}{R^2} - 2m\left(E + \frac{k}{R} + V(R)\right) = \alpha_r$$

където $\alpha_\varphi, \alpha_\theta, \alpha_r$ са константи, $E$ -енергия на системата.

Записваме променливите действие във вида:

(5) $$J_\varphi = \frac{1}{2\pi}\oint p_\varphi d\varphi = \alpha_\varphi,\ J_\theta = \frac{1}{2\pi}\oint p_\theta d\theta = \frac{1}{2\pi}\oint\sqrt{\alpha_\theta{}^2 - \frac{\alpha_\varphi{}^2}{\sin^2\theta}}\,d\theta,$$
$$J_r = \frac{1}{2\pi}\oint p_r dR = \frac{1}{2\pi}\oint\sqrt{2m\left(E + \frac{k}{R} + V(R)\right) - \frac{\alpha_\theta{}^2}{R^2}}\,dR.$$

Съответните ъгли намираме, като използваме функцията на Якоби:

(6) $$w_r = \frac{\partial S}{\partial J_r}, w_\varphi = \frac{\partial S}{\partial J_\varphi}, w_\theta = \frac{\partial S}{\partial J_\theta}.$$

Може да се докаже, че $\alpha_\varphi = J_\varphi$, $\alpha_\theta = J_\varphi + J_\theta$.

Записваме интеграла на действието във вида:

(7) $$J_r = \frac{1}{2\pi}\oint\sqrt{2m\left(E + \frac{k}{R} + V(R)\right) - \frac{\left(J_\varphi + J_\theta\right)^2}{R^2}}\,dR\ .$$

Подходящо е да се премине към нови действие-ъгъл променливи (променливи на Делоне) по следния начин:

$$L = J_r + J_\varphi + J_\theta,\ l = w_r,\ G = J_\theta + J_\varphi,\ g = w_\theta - w_r,\ H = J_\varphi,\ h = w_\varphi - w_\theta.$$

Конкретно потенциала на спътник движещ се в екваториалната равнина на сплесната планета е $V(r)=\frac{\alpha}{R^3}$, $\alpha << 1$, тогава интеграла има следния вид:

(8) $$J_r=\frac{1}{2\pi}\oint\sqrt{2m\left(E+\frac{k}{R}+\frac{\alpha}{R^3}\right)-\frac{\left(J_\varphi+J_\theta\right)^2}{R^2}}dR\,.$$

Като използваме решения интеграл, изразяваме енергията в първо приближение:

(9) $$E=-\frac{mk^2}{2\left(J_r+J_\varphi+J_\theta\right)^2}-\frac{mk^2}{\left(J_r+J_\varphi+J_\theta\right)^3}\frac{m^2k\alpha}{\left(J_\varphi+J_\theta\right)^3}\,.$$

Нека да намерим съответните честоти.

$$\omega_r=\frac{\partial E}{\partial J_r}=\frac{mk^2}{\left(J_r+J_\varphi+J_\theta\right)^3}\,;\ \omega_\theta=\frac{\partial E}{\partial J_\theta}=\omega_r+3\omega_r\frac{m^2k\alpha}{\left(J_\varphi+J_\theta\right)^4}\,.$$

Формулата за намиране на ъгъла на прецесия е $\Delta\omega=\dot{g}=\omega_\theta-\omega_\varphi=\frac{6\pi\alpha}{kP^2}$, където сме отчели, че $\omega_r=2\pi$, а $P$ е параметъра на несмутената елипса.

Можем да запишем приближено израза за енергията посредством променливи на Delaunay в следния вид:

(10) $$E=-\frac{mk^2}{2L^2}-\frac{2\pi m^2k\alpha}{G^3}\,.$$

Съответното диференциално уравнение за траекторията е:

(11) $$\frac{d\varphi}{dr}=\frac{\frac{G}{R^2}}{\sqrt{2m\left(E-U(R)\right)-\frac{G^2}{R^2}}}=\frac{\frac{G}{R^2}}{\sqrt{2m\left(E+\frac{k}{R}+V(R)\right)-\frac{G^2}{R^2}}}$$, където $V(r)=\frac{\alpha}{R^3}$.

Правим заместването $u=\frac{G}{R}$ и достигаме до диференциално уравнение за траекторията във вида:

(12) $$\frac{d\varphi}{du}=-\frac{1}{\sqrt{2m\left(E+\frac{k}{G}u+\frac{\alpha}{G^3}u^3\right)-u^2}}\,.$$

Характерът на движението се определя от полиномът

$$P(u)=u^3-\frac{G^3}{2m\alpha}u^2+\frac{k}{\alpha}G^2u+\frac{E}{\alpha}G^3\,.$$

За реалните корени на полинома може да се направи извода

$E<0\Rightarrow P(u)=0\Rightarrow$

1.) $u_1=u_2=u_3>0\in R$

2.) $0<u_3<u_2<u_1\in R.$

При реалните движения полинома е положителен, ето защо променливата попада в един от двата интервала: $u\in[u_3,u_2]$ или $u\in[u_1,+\infty]$. Втория интервал съответства на периодично движение минаващо през центъра на притегляне, ето защо разглеждаме движението само в първия интервал.

Въвеждаме параметрите: $R_a=\frac{G}{u_3}, R_p=\frac{G}{u_2}$,

(13) $$P=\frac{2R_aR_p}{R_a+R_p},\ e=\frac{R_a-R_p}{R_a+R_p},\ a=\sqrt{(u_1-u_3)A}\,.$$

Като отчитаме движението от перихелия, може да запишем уравнението на траекторията във вида:

(14) $R = \dfrac{P}{1 + e\left[cn^2 x - sn^2 x\right]},\ x = a\varphi.$

Траекторията на движение на екваториален спътник може да се изведе в практически използваема формула, като се отчете, че сплеснатостта на планетите е доста малка в сравнение с единицата. За тази цел разглеждаме двата интеграла на движение

(15) $\dfrac{1}{2}m\left(\dot{R}^2 + R^2\dot{\varphi}^2\right) - \dfrac{k}{R} - \dfrac{\alpha}{R^3} = E\ ,$

(16) $L = mR^2\dot{\varphi}\ .$

Изразявам разстоянието до силовия център $R$ като функция на полярния ъгъл $\varphi$

(17) $\dfrac{1}{2}\dfrac{L^2}{mR^4}\left[\left(\dfrac{dR}{d\varphi}\right)^2 + R^2\right] - \dfrac{k}{R} - \dfrac{\alpha}{R^3} = E\ .$

Полагаме $\sigma = \dfrac{1}{R}$ и диференцираме равенството (17) още веднъж, като отбелязваме с щрих производната по полярния ъгъл, по този начин се достига до уравнение от вида

(18) $\sigma'' + \sigma - \dfrac{3\alpha m}{L^2}\sigma^2 = \dfrac{km}{L^2}\ .$

За да се опрости уравнението, търсим решение във вид на сбор от константа и функция

(18) $\sigma = \sigma_0 + f\ ,\ \sigma_0 = const.\ .$

Константата подбираме така, че в уравнението за неизвестната функция да няма свободни членове.

(20) $-\dfrac{3\alpha m}{L^2}\sigma_0{}^2 + \sigma_0 - \dfrac{km}{L^2} = 0\ ,$

(21) $f'' + \left(1 - \dfrac{6\alpha m}{L^2}\sigma_0\right)f + \dfrac{3\alpha m}{L^2}f^2 = 0\ .$

Решаването на първото уравнение налага да преминем към дефинирането на нова безразмерна променлива

(22) $x \equiv \dfrac{L^2}{km}\sigma_0\ .$

Така достигаме до уравнението

(23) $-\alpha_1 x^2 + x - 1 = 0$, където $\alpha_1 = \dfrac{3\alpha m^2 k}{L^4}\ .$

Когато $\alpha_1 = 0$, следва че $x_0 = 1$. Логично е в случая $\alpha \neq 0, \alpha << 1$, да потърсим решението като ред по степените на малкият параметър

(24) $x = x_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_1{}^2 x_2 + \ldots$

Заместваме (24) в уравнение (23)

(25) $-\alpha_1\left(x_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_1{}^2 x_2 + ..\right)^2 + x_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_1{}^2 x_2 + \ldots - 1 = 0$

Приравняваме коефициентите пред еднаквите степени и намираме неизвестните величини

$x_0 = 1, x_1 = 1, x_2 = 2\ldots$

Така окончателно достигаме до изразът за константата

(26) $\sigma_0 = \dfrac{km}{L^2} + \dfrac{3\alpha m^2 k^2}{L^6} + \dfrac{18\alpha^2 m^5 k^3}{L^{10}} + \ldots$

Полагаме

(27) $n_0{}^2 \equiv 1 - \dfrac{6\alpha m}{L^2}\sigma_0$

и достигаме до израза

(28) $$f'' + n_0{}^2 f + \frac{1-n_0{}^2}{2\sigma_0} f^2 = 0 .$$

Преминаваме към безразмерната променлива

(29) $$y \equiv \frac{L^2}{km} f , \beta \equiv \frac{1-n_0{}^2}{2\sigma_0}\frac{km}{L^2}$$

С $\beta$ е означен малък параметър, посредством който ще решаваме полученото уравнение

(30) $$y'' + n_0{}^2 y + \beta y^2 = 0$$

по метода на Поанкаре-Линдщед.
Разглеждаме безразмерната променлива, като функция на $\nu = \omega\varphi$, и записваме уравнението, като този път със щрих означаваме производната по $\nu$.

(31) $$y'' + n_0{}^2 y + \beta y^2 = 0 .$$

Търсим решение на уравнението (31) във вид на редове

(32) $$\begin{aligned} y &= y_0 + \beta y_1 + ... \\ \omega &= n_0 + \beta n_1 + ... \end{aligned},$$

Като заместим величините със съответстващите им редове, като краен резултат се получава системата

(33) $$\begin{aligned} &y_0{}'' + y_0 = 0 \\ &y_1{}'' + y_1 + 2\frac{n_1}{n_0} y_0{}'' + y_0{}^2 = 0 \end{aligned}$$

Първото от двете уравнения се решава веднага

(34) $$y_0 = A\cos(\nu - \nu_0).$$

Замествайки получения резултат във уравнение (33)

(35) $$y_1{}'' + y_1 = 2\frac{n_1}{n_0} A\cos(\nu - \nu_0) - \frac{A^2}{2}[1 + \cos 2(\nu - \nu_0)].$$

За да получим периодично решение, приемаме $n_1 = 0$ и полагаме

(36) $$y_1{}^* \equiv y_1 - \frac{A^2}{2} .$$

Окончателно уравнението добива вида:

(37) $$y^*{}_1{}'' + y^*{}_1 = -\frac{A^2}{2}\cos 2(\nu - \nu_0).$$

Търсим решението във вида $y_1{}^* = B\cos 2(\nu - \nu_0)$. Тогава за коефициента пред косинуса намираме $B = \frac{A^2}{6}$. Връщаме се към предишната променлива

(38) $$y = -\frac{A^2}{2} + \frac{A^2}{6}\cos 2(\nu - \nu_0)$$

Сега вече имаме възможност да запишем окончателното решението във вида

(39) $$\sigma = \frac{km}{L^2} + \frac{3\alpha k^2 m^3}{L^6} + \frac{kmA}{L^2}\cos n\varphi + \beta\frac{kmA^2}{6L^2}\cos 2n\varphi - \frac{\beta km}{L^2}\frac{A^2}{2} + ...$$

Дефинират се следните величини:

(40) $$\frac{km}{L^2} \equiv \frac{1}{p}$$

(41) $$A \equiv e$$

$p$ и $e$ представляват съответно фокалният параметър и ексцентрицитета на орбитата

(42) $$\sigma = \frac{1}{p} + \frac{3\alpha}{kp^3} + \frac{18\alpha^2}{p^5 k^2} + \frac{e}{p}\cos n_0\varphi + \frac{\alpha e^2}{2kp^3}\cos 2n_0\varphi - \frac{3\alpha}{kp^3}\frac{e^2}{2} + \ldots$$

С точност до втората степен на параметрите $\beta$ и $e$, разстоянието до силовият център се определя чрез формулата

(43) $$R = \frac{p}{1 + \frac{3\alpha}{kp^2} + e\cos n_0\varphi} \approx \frac{n_0 p}{1 + en_0\cos n_0\varphi},\ n_0 = \sqrt{1 - \frac{6\alpha}{kp^2}}\ .$$

Движението може да се разглежда, като елиптично, като елипсата се движи равномерно в равнината си по посока на движението на тялото (прецесия). Ъгълът на който се измества елипсата при движение от перихелия (афелия) до перихелия (афелия) е равен на

(44) $$\Delta\varphi - 2\pi = 2\pi\left(\frac{1}{n_0} - 1\right) \approx \frac{6\pi\alpha}{kp^2}\ .$$

За да определим полярния ъгъл като явна функция на времето, използваме формулата

(45) $$\dot{\varphi} = \frac{L}{mR^2} = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{R^2(n_0\varphi)}.$$

За нашите разглеждания, ще се ограничим само с членовете до втора степен по ексцентрицитета, като считаме $\beta = \beta(\alpha)$ от порядъка на $e$. След като го решим, тригонометричните функции имат за аргумент полярния ъгъл. За да получим търсената зависимост, търсим израз за полярния ъгъл, който представяме, чрез ред на Фурие с неизвестни коефициенти. Приравняваме коефициентите пред еднаквите степени на ексцентрицитета и като краен резултат се получава

(46) $$\varphi = \frac{M}{n_0} + 2e\sin M + \frac{5}{4}e^2\sin 2M + O(\beta e^2),$$

където

(47) $$M = \frac{\sqrt{\mu}}{n_0 a^{\frac{3}{2}}}(t - t_0),\ p = a(1 - n_0^2 e^2),\ \mu = \frac{\kappa}{m}.$$

**Динамика на въртеливото движение**

Разглеждаме екваториалния спътник като твърдо тяло. Анализираме влиянието на сплеснатостта на планетата върху колебанията на спътника.

Определяме положението на центъра на масите $O'$ посредством полярни координати $R, \varphi$, с център на к.с. $O$ съвпадащ със силовия център, а положението на една от централните оси на инерция на тялото спрямо радиусвектора отбелязваме с ъгъл $\Theta$

Уравнението на въртеливото движение в случая на екваториална орбита е

(48) $$B\frac{d}{dt}(\dot{\Theta} + \dot{\varphi}) + \frac{\mu}{R^3}(A - C)\left[3 + 5\frac{3\alpha}{kR^2}\right]\sin\Theta\cos\Theta = 0\ .$$

С точки са означени производните на величините по времето, $A, B, C$ - главни инерчни моменти на спътника.

В общият случай се отчита и връзката между колебателното (ротационното) движение и орбиталното движение. Изразът за разстоянието от спътника до централното тяло има вида:

(49) $$R = R_0\sqrt{1 - \frac{B}{MR_0^2}(1 + n_0\theta')},\ R_0 = \sqrt{\frac{L}{M\dot{\varphi}}}\ .$$

Производната по ъгъл $\nu \equiv n_0\varphi$ е означена отново с щрих. $L$ е орбиталният момент на спътника. Трансформираме уравнението (48) така, че да го преведем към новата независима променлива $\nu$. След несложни изчисления се достига до израза

$$\frac{p}{R_0(\nu)}\theta'' - 2p\frac{R_0'(\nu)}{R_0^{\,2}(\nu)}\theta' + \frac{(A-C)}{2Bn_0^{\,2}\left[1-\frac{B}{MR_0^{\,2}}(1+n_0\theta')\right]^{\frac{3}{2}}}\left[3+\frac{5p^2}{2R_0^{\,2}(\nu)\left[1-\frac{B}{MR_0^{\,2}}(1+n_0\theta')\right]}\left(1-n_0^{\,2}\right)\right]\sin 2\theta =$$

$$= \frac{2p}{n_0}\frac{R_0'(\nu)}{R_0^{\,2}(\nu)},$$

(50)

$$R_0(\nu) = \frac{p}{1+\frac{3\alpha}{kp^2}+\frac{18\alpha^2}{p^4k^2}+e\cos\nu+\frac{\alpha e^2}{2kp^2}\cos 2\nu-\frac{3\alpha}{kp^2}\frac{e^2}{2}+\ldots}.$$

В $R(\nu)$ се подбират необходимият брой членове, в зависимост от приближението, в което се разглежда задачата.

**Заключение**

Посредством приближени аналитични методи получихме резултати в общ вид. Изведохме уравнения във форма подходяща за нечислен анализ, запазващи специфичните свойства на нелинейната система. Лесно може да се съобрази ролята на параметрите, при преход между качествено различни състояния на системата, чрез използването на аналитични техники.

Подбора на оптималният метод, както и комбинирането и модифицирането с други такива, стои в основата на успеха при такъв начин за решаване на задачите, като може да се направи подобна аналогия с числените интегриране на уравненията.

**Литература:**


1. Белецкий, В. В. Движение искусственого спутника относительно центра масс . Москва, Наука, 1965.
2. Борн, М. Атомна механика. Государственое научно-техническое издательство, 1934.
3. Murray, C.D., S.F.,Dermott, 1999. Solar System Dynamics. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK
4. Ландау , Л.Д., Е.М. Лифшиц. Краткий курс теоретической физики. Том1. М. „Наука” 1969.
5. Delaunay, C.: 1860, Th´eorie du mouvement de la lune, Mem. 28 (1860); 29 (1867), Acad. Sci.France, Paris.
6. Шейретски, К. Плоски колебания на екваториален спътник под приливно въздействие. В: SES'2005 (Space, Ecology, Safety), Варна, 2005, (ISSN:1313-3888), с.70-75
7. Greenberg, R., 1982. Orbital evolution of the Galilean satellites. In: Morrison, D. (Ed.), Satellites of Jupiter. Univ. of Arizona Press, Tucson, AZ, pp. 65–92.
8. Kaula, W.M., 1964. Tidal dissipation by solid friction and the resulting orbital evolution. Rev. Geophys. 2, 661–685.
9. Ambrosetti Antonio, Andrea Malchiodi, Nonlinear Analysis and Semilinear Elliptic Problems, Cambridge Stud. Adv. Math., vol. 104, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007.
10. Poincaré , H. (1957) [1893], Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Célèste, II, New York: Dover Publ., §123–§128.
11. Lindstedt, A., Abh. K. Akad. Wiss. St. Petersburg 31, No. 4 (1882)
12. Шейретски, К., Д. Гочев, П. Тренчев, Нелинейни явления при колебанията на екваториален спътник, В: SES'2010. с. 97-100.

**Session 2**

# *Aerospace Technologies and Biotechnologies*

Chairmen: Assoc. Prof. Tania Ivanova,
Assoc. Prof. Boycho Boychev
Secretary: Chief Assistant Zoya Hubenova

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# СКАНЕР ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Михаил Владов[1], Дмитрий Добров[1], Максим Колпакович[1], Румен Недков[2], Георги Сотиров[2]**

[1]*Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL, Comelpro@mail.ru,*
[2]*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: Comelpro@mail.ru,*
*rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

# THE SCANNER OF DISTANT SOUNDING OF THE EARTH

**Michael Vladov[1], Dmitry Dobrov[1], Maxim Kolpakovich[1], Roumen Nedkov[2] , Georgi Sotirov[2]**

[1]SRL «COMELPRO», Cishinev, *Comelpro@mail.ru,* [2]
[2]*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: Comelpro@mail.ru,*
*rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

***Key words:*** *the PZS-RULER, the RGB-filter, the onboard device of collection and information management, the device of creation of video staff.*

***Abstract****: constructions of the scanner of remote sounding of the Earth with resolution of 25 metres on the basis of three-channel the PZS-RULER of type KODAK KLI-8023 Are considered, to be resulted a structure, technical characteristics, the structural flowchart and the description of operation of the scanner, calculation of a lens and the description of a bench of check of the scanner.*

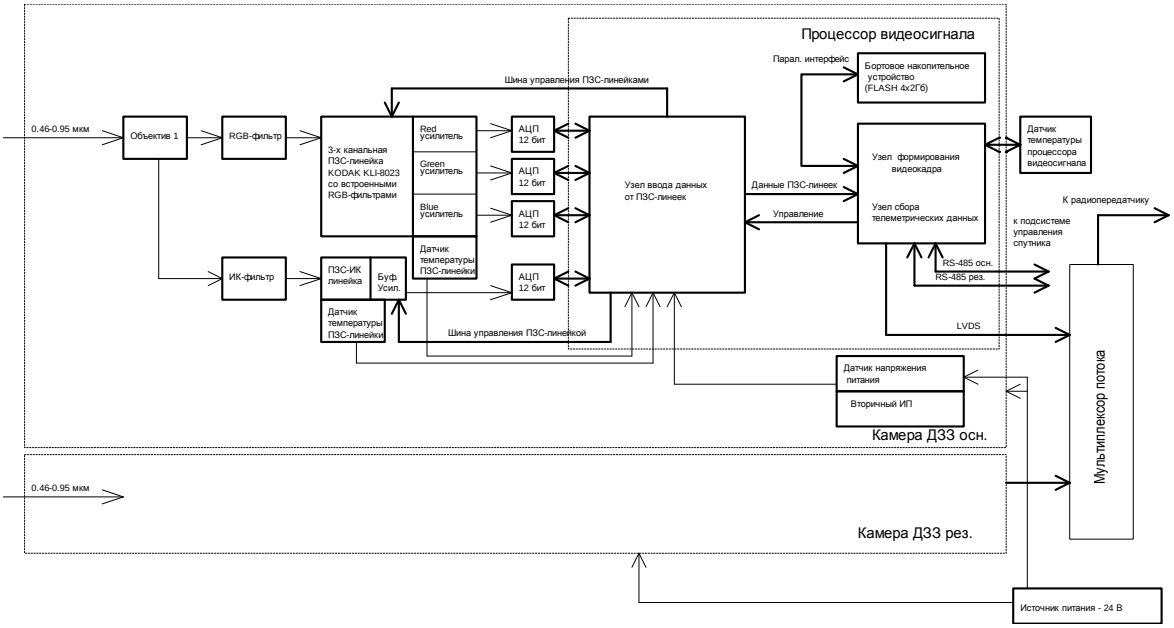
Сканер дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначен для сканирования участков поверхности Земли и получения снимков с разрешением не менее 25 метров.

В состав сканера ДЗЗ входят:
- объектив видимого диапазона с фокусным расстоянием более 200 мм;
- объектив ифракрасного диапазона с фокусным расстоянием более 150 мм;
- RGB (Red, Green,Blue)- фильтр и инфракрасный (ИК) фильтр;
- трехканальная ПЗС-линейка типа KODAK KLI-8023 [1];
- ПЗС-ИК линейка;
- 12 разрядные АЦП - 4 шт;
- узел ввода данных ПЗС-линеек;
- узел формирования видеокадра;
- накопительное устройство (FLASH 4x2Гбайт);
- датчики температуры ПЗС-линеек и микросхем сканера;
- вторичный источник питания;
- резервный комплект сканера ДЗЗ.

Основные характеристики сканера ДЗЗ:
- диапазон рабочих орбит: 600-700 км;
- фокусное расстояние объектива 220 мм;
- проекция пикселя на Землю - 25 метров;
- число элементов разложения в полосе захвата - 8023
- спектральный диапазон: 460...950 нм;
- количество спектральных каналов – 4;
- спектральные диапазоны каналов: [B: 460…510 ], [G:520…580], [R: 600…680], [NIR: 750…950] нм.;
- контраст наблюдаемых объектов: 0.1...0.9;
- разрядность цифрового сигнала – 12 бит;

- максимальная скорость выходного потока - 50 Мбит/сек;
- коэффициент сжатия цифрового потока - 1.5 < k < 2, сжатие без потерь;
-потребляемая мощность – до 5 Вт;
- масса до 2 кг;;
- габариты, не более, мм - 150x130x100.

Структурная схема сканера ДЗЗ представлена на фиг.1.




Фиг. 1. Структурная схема сканера ДЗЗ

Работа камеры ДЗЗ согласно структурной схеме осуществляется следующим образом. Объектив формирует на поверхности светочувствительных элементов (ПЗС линеек) изображение земной поверхности. Отраженный от поверхности Земли свет, прежде чем попасть на ПЗС линейки проходит через полосовые фильтры видимого и ИК диапазонов. Видимый свет попадает на микросхему KLI-8023 состоящую из 3 параллельных ПЗС линеек с светофильтрами красного, зеленого и синего диапазонов. Аналогично, ИК излучение попадает на ИК ПЗС линейку.

ПЗС линейки управляются узлом ввода данных. Аналоговые сигналы с выходов ПЗС-линеек преобразуются в буферных усилителях и оцифровываются в быстродействующих 12 битных АЦП.

Данные, упакованные в видеокадры, записываются в бортовое накопительное устройство, состоящее из 4 микросхем FLASH-памяти объемом 2 Гбайт каждая.

При необходимости, данные из FLASH-памяти считываются узлом формирования видеокадра и передаются с помощью интерфейса LVDS в коммутатор потока, откуда поступают в передатчик.

Составные части камеры ДЗЗ управляются от бортовой ЭВМ посредством интерфейса RS-485. В том случае, если основная камера ДЗЗ не отвечает на команды, коммутатор потока переключается на резервную камеру.

В состав камеры ДЗЗ входят средства контроля напряжений питания и температуры, связанные с бортовой ЭВМ.

Подсистема управления сканера (процессор видеосигнала) реализована на базе ПЛИС и обеспечивает:

- взаимодействие с подсистемой управления спутника по каналам RS-485;
- установление режимов работы по периоду опроса АЦП (грубая и тонкая настройка), а также по длительности выдержки (грубая и тонкая настройка). Грубая настройка обеспечивает выбор одного из возможных режимов, максимально близкий к параметрам движения спутника, а тонкая настройка обеспечивает небольшие изменения, вызванные реальными текущими параметрами движения спутника (скорость, высота и др.);
- пуск и стоп сканирования;

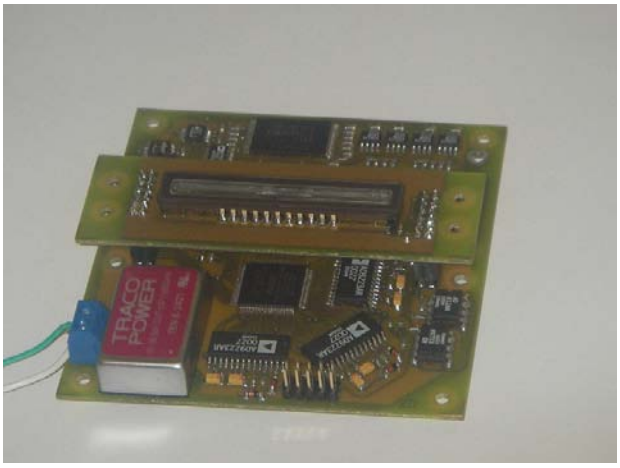
- ввод данных сканирования от АЦП (возможны режимы с разрядностью 3, 4, 8 и 12 битов на канал);
- накопление введенных данных в энергонезависимом запоминающем устройстве на базе FLASH-памяти (8 Гбайт);
- формирование кадра для передачи данных сканирования на наземную станцию;
- кодирование для защиты от ошибок;
- передачу данных сканирования в подсистему передачи данных по каналу LVDS или RS-485. Возможная скорость передачи данных 25 Мбит/с, 50 Мбит/с (прорабатывается вариант 100 Мбит/с);
- сбор телеметрических данных состояния узлов сканера (напряжения питания, температура ПЗС линеек и др.);
- передача телеметрических данных подсистеме управления спутника и в составе формируемого кадра на наземную станцию).

Подсистема управления сканера реализована с помощью 2-х ПЛИС фирмы ALTERA

- EPM7256AETI100-7;
- EP1C6TI144-7 («Cyclone»).

Первая ПЛИС (узел ввода данных ПЗС-линеек) осуществляет взаимодействие с АЦП и реализует, обеспечивая ввод данных от каналов сканирования (RGB). Далее результаты сканирования пересылаются в другую ПЛИС (узел формирования видеокадра) для осуществления запоминания, кодирования, сжатия, формирования видеокадра и вывода в подсистему передачи данных.

Все вышеуказанные элементы сканера ДЗЗ конструктивно выполнены на одной плате цифровой обработки, представленной на фиг.2.




Фиг. 2. Плата цифровой обработки сканера ДЗЗ с ПЗС линейкой

В качестве формата данных сканера принят формат, сформированный на базе стандарта IRIG-106, включающий поля синхронизации, заголовка и данных.

Для передачи данных сканера ДЗЗ МСС ведется проработка параметризируемого модуля кодера для помехозащищенного кодирования со следующими параметрами:

- должно быть использовано блочное кодирование;
- разрядность символов – m=4 бита;
- длина информационной (исходной, входной) части – k=12 символов;
- длина кодового (выходного) слова (блока) – n=16 символов;
- корректирующая способность t=2 символа;
- период поступления символов на вход кодера 200 – 1000 нс.

Для ПЗС-линейки KLI-8023 (KODAK) проведём расчет параметров объектива.

KLI-8023 состоит из 3 параллельных друг другу светочувствительных линеек (с светофильтрами красного, зеленого и синего цветов) длиной в 8002 пикселя (светочувствительного элемента) каждая.

Размеры пикселя составляют 9x9 мкм.

Расстояние между соседними линейками составляет 108 мкм.

Длина линейки составляет 72,018 мм

Для получения пространственного разрешения в 25 м. при высоте орбиты 600 км и длине пикселя 9 мкм, согласно формулы [3].

$$R = \frac{Hl_э}{f}$$

где f – фокусное расстояние объектива, H- высота орбиты, $l_э$ – линейный размер пикселя, требуется фокусное расстояние объектива не менее f = 0,216 м

Полоса «захвата» участка поверхности Земли, для ПЗС-линейки KLI-8023 с пространственным разрешением в 25 м, составляет B = 200050 м.

Тогда угол обзора объектива должен ,быть не менее:

$$\gamma = \text{arctg}\,(B/2H) \Rightarrow \gamma \approx 9{,}465^{o}$$

Так как ширина проекции одной линии должна составлять 9 мкм, то разрешение объектива должно составлять не менее 1 / 0.009 мм/линию = 111 линий/мм.

Итак, параметры объектива для ПЗС-линейки KLI-8023 должны быть не менее:

- Фокусное расстояние 216 мм,
- разрешающая способность 111 линий/мм,
- угол обзора – не менее 9,465 º.

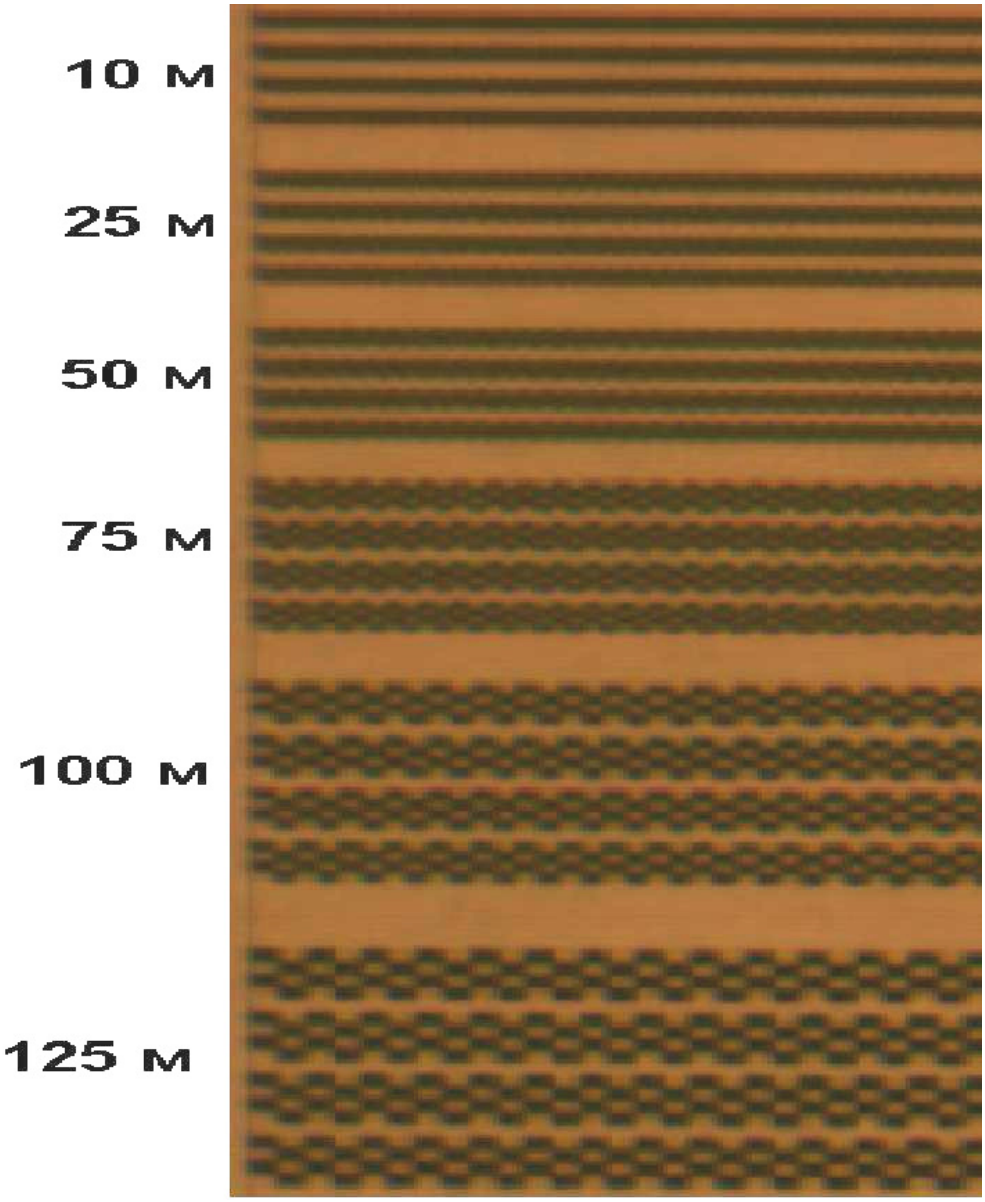
Изготовлен, смотри фото на фиг.3, макет сканера ДЗЗ с ПЗС линейкой фирмы Sony ILX518K [2], состоящей из 3-х параллельных друг другу светочувствительных линеек (с светофильтрами красного, зеленого и синего цветов) длиной в 5363 пикселя (светочувствительного элемента) каждая. Размеры пикселя составляют 8x8 мкм. Для макета сканера ДЗЗ использован объектив Гелиос -44М. с фокусным расстоянием 58 мм.

Фиг. 3. Фото сканера ДЗЗ

Для проверки реализуемости выбранной схемы сканера ДЗЗ и получаемого разрешения был разработан и изготовлен стенд, имитирующий вращение спутника со сканером ДЗЗ вокруг Земли со скоростью подспутниковой точки 6903м/с, для высоты 600км [4].

На вращающем барабане устанавливаются различные тестовые комбинации символов («шашечки», текстовая информация, рисунки и др.). Геометрические размеры единичного элемента («шашечки») соответствуют разрешению в 125,100, 75, 50, 30 и 25 метров для круговой орбиты микроспутника с высотой 600км. над поверхностью Земли.

Информация с макета сканера ДЗЗ поступает через интерфейсный блок на персональный компьютер, где производится распаковка видеокадра и отображение тестовой информации установленной на вращающемся барабане. На макете сканера ДЗЗ с ПЗС линейкой Sony (ILX 518K, пиксель 8x8 мкм) и объективом с фокусным расстоянием 58 мм получено разрешение порядка 60 метров. На фиг.4 фрагмент полученного изображения, где четко видны «шашечки» 75 метрового изображения и слабо различимы «шашечки» 50 метрового изображения.




Фиг. 4 Фрагмент изображения в средней части тестовой таблицы

В связи с малой разрешающей способностью объектива, менее60 лин/мм, невозможно получить максимально достижимое разрешение в 25 метра. Для получения максимального разрешения необходимо установить объектив с разрешающей способностью не хуже 110 линий/мм.

Стендовые испытания подтвердили реализуемость выбранной схемы и приемлемые параметры получаемого изображения.

**Литература:**

1. http://www.kodak.com/global/en/business/ISS/Products/Linear.
2. http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/sony/a6802415.pdf.
3. М а л ы ш е в, В. В., М. Н. К р а с и л ь щ и к о в и др. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление. Под редакцией В.В. Малышева.- М.: Издательство МАИ, 2000.-568с.
4. http://www.scanex.ru/ru/company/Project_SAT_TranspWorld.pdf.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# БОРТОВАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Михаил Владов[1], Дмитрий Добров[1], Георги Сотиров[2] , Румен Недков[2]**

[1]*Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL, Comelpro@mail.ru,*
[2]*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: Comelpro@mail.ru,*
*rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

***Ключевые слова:*** *бортовой комплекс телеметрии, телеметрическая радиолиния, передатчик, бортовые антенно фидерные устройства.*

***Абстракт:*** *В докладе приведено описание бортовой системы телеметрического контроля летательного аппарата включающего в своем составе бортовой комплекс телеметрии, передающие устройства и бортовые антенно фидерные устройства двух диапазонов*

# ONBOARD SYSTEM OF THE TELEMETERING CONTROL OF THE FLIGHT VEHICLE

**Michael Vladov[1], Dmitry Dobrov[1], Roumen Nedkov[2] , Georgi Sotirov[2]**

[1]*SRL «COMELPRO»,* Cishinev, *Comelpro@mail.ru,* [2]
[2]*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: Comelpro@mail.ru,*
*rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

***Key words:*** *Onboard complex of telemetry, telemetering radio link, the transmitter, onboard antenna feeder devices.*

***Abstract:*** *In the report the description of onboard system of the telemetry control of a flight vehicle including in the structure an onboard complex of telemetry, sending devices and onboard antenna feeder devices of two ranges is resulted.*

Бортовая система телеметрического контроля (БСТК) предназначена для сбора, обработки, запоминания и передачи по 2-м радиолиниям, телеметрической информации на наземные командно- телеметрические станции (НКТС).

БСТК обеспечивает сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-х канальной радиолинии на НКТС результатов телеизмерений функциональных медленноменяющихся (ММП) и быстроменяющихся параметров (БМП) и цифровой информации от бортового вычислительного комплекса (БВК) и цифровых датчиков.

Бортовая система телеметрического контроля включает в своем составе следующие устройства: бортовой комплекс телеметрии БКТМ; передающее устройство L - диапазона – прибор ПМ; передающее устройство S - диапазона – прибор ПД; бортовое антенно - фидерное устройство L - диапазона – АФУ- L; бортовое антенно – фидерное устройство S - диапазона – АФУ- S.

Анализ технических требований предъявляемых к бортовой системе телеметрического контроля позволяет определить следующие обобщающие требования к телеметрической системе в целом:

- одновременное измерение многих разнообразных физических величин;
- высокая точность передачи сообщений - относительная погрешность для каналов измерений составляет 0,5% для ММП и 7% для БМП;

- обеспечение одновременной передачи и приема сообщений с разнообразными спектрами (от единиц до десятков тысяч Герц);
- высокий объем и высокая скорость передачи информации - максимальная информативность составляет 1,6 Мбит/с;
- высокие требования к БСТК в связи со специфическими условиями работы изделия на старте, активном участке траектории и в полете;
- информационная гибкость – изменение скорости передачи информации;
- регистрация данных наземными устройствами в форме, удобной для анализа и дальнейшей обработки на ПЭВМ;
- оперативная выдача экспресс - информации об изменении ряда наиболее существенных параметров;
- обработка полного объема информации с помощью ПЭВМ;
- обеспечение автосопровождения изделия.

В основу построения БКТМ положена магистрально-модульная схема сбора и передачи телеметрических измерений с адресным опросом измерительных каналов. Управляющим элементом приборов является «цифровой автомат», расположен в модуле центрального процессора (ЦП), реализован на основе программируемой логической матрицы (ПЛМ) фирмы "Altera". Модуль ЦП обеспечивает:

- сбор информации от всех измерительных каналов по одной из программ, находящейся в ПЗУ;
- формирование внутреннего и внешнего кадра БКТМ;
- формирование ряда служебных команд для управления другими устройствами прибора;
- управление ПЗУ, определяющим последовательность и частоты опроса измерительных каналов;
- управление ОЗУ, обеспечивающим формирование задержанной информации;
- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Работу БСТК осуществляется, смотри рис.1, следующим образом:

На входы прибора БКТМ поступают сигналы от телеметрических датчиков в соответствии с программой телеметрических измерений. БКТМ осуществляет сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-м радиоканалам телеметрической информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Два выхода БКТМ используются для выдачи видеосигнала телеметрической информации (ТМИ) на передающие устройства метрового (ПМ) и дециметрового (ПД) диапазона волн, третий выход предназначен для выдачи видеосигнала ТМИ на контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). Прибор ПМ осуществляет передачу телеметрической информации в L – диапазоне на одной из следующих частот 390 МГц, 395 МГц, 400 МГц. Прибор ПД осуществляет передачу телеметрической информации в S – диапазоне на частоте 2257,5 МГц.

Высокочастотный модуль (ВЧ) прибора ПМ обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипулированный QPSK ВЧ сигнал. Модуль СВЧ прибора ПД обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипу-лированный QPSK СВЧ сигнал. Модули питания обеспечивают выдачу необходимых напряжений для модуля ВЧ и модуля СВЧ приборов ПМ и ПД соответственно. Приборы ПМ и ПД обеспечивают выполнение внешней команды "Выключение генерации", при этом мощность несущей выходного сигнала становится равной 0. Выходные сигналы приборов ПМ и ПД поступают на бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов соответственно. Бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов предназначены для излучения сигналов на наземные командно-телеметрические станции.

Прибор БКТМ обеспечивает:

- сбор и преобразование сигналов от датчиков физических величин;
- сбор и преобразование сигналов от схемных датчиков;
- дискретизацию входных измерительных сигналов и их временное уплотнение;
- формирование сигналов служебной информации для синхронизации работы НКТС;
- формирование кода бортового времени;
- формирование полного выходного кадра (видеосигнала), выдачу его одновременно на два передатчика и на контрольный выход;
- запись регистрируемой ТМИ в оперативное запоминающее устройство с возможностью ее последующего воспроизведения через заданный интервал времени – 20 секунд и объединения с непосредственно передаваемой ТМИ в выходном кадре;
- питание отдельной датчиковой аппаратуры, подключенной к входам БКТМ;
- прием и обработку внешних управляющих сигналов;

- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Прибор БКТМ обеспечивает телеметрирование параметров, указанных в программе телеизмерений, в том числе:

- аналоговых непрерывных параметров (АНП) - 9 каналов с частотой опроса 128 Гц и 3 канала с частотой опроса 2048 Гц. Максимальная амплитуда входного сигнала ± 2,5 В; быстроменяющихся параметров (БМП) - 4 канала с частотой опроса 2048 Гц.
- максимальная амплитуда входного сигнала ± 2,5 В;

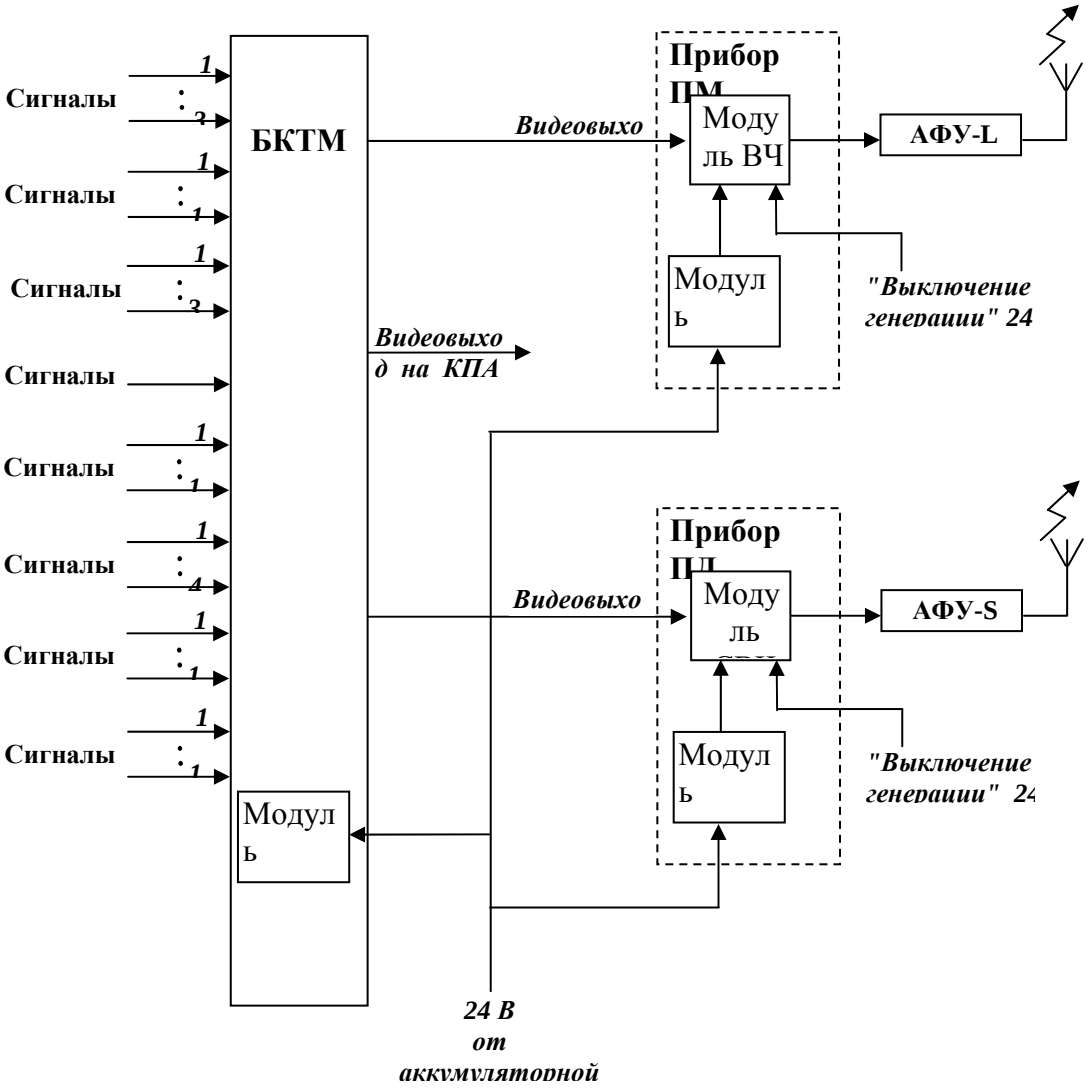



Рис. 1. Структурная схема БСТК

- аналоговых параметров по изолированным каналам (ИЗК) - 3 канала с частотой опроса 128 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала ± 30 В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала ± 2,5 В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала ± 10 В;
- релейных сигнальных параметров (РСП) - 16 каналов с частотой опроса 32 Гц.
- максимальная амплитуда входного сигнала ± 30 В;
- однобитных параметров (ОБП) - 12 каналов с частотой опроса 1024 Гц. Уровни входного сигнала – TTL;
- цифровых параметров (ЦВП) - 3 канала с частотой опроса 16384 Гц, уровни входного сигнала – TTL;
- сигналов от бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) - 32 канала с частотой опроса 2048 Гц. Уровни входного сигнала – TTL;

сигналов от спутниковой навигационной системы (СНС) по интерфейсу NMEA 0183 - один 7-и разрядный канал с частотой опроса 512 Гц

Блок БКТМ (см. рис.2) состоит из модулей сбора и преобразования телеметрических измерений и модуля питания.

Модули состоят из унифицированного каркаса прямоугольной формы, к которому с помощью винтов крепится печатная плата. Для обеспечения теплового режима модуля электрорадиоэлементы, выделяющие наибольшее количество тепла, устанавливаются на теплопроводящую шину расположенную на печатной плате и плотно прилегающую к каркасу модуля. Через разъемы к блоку подключаются кабели от первичных датчиков и преобразователей. Межмодульная коммутация в блоке осуществляется с помощью разъемов, установленных на печатной плате. Механическое соединение модулей осуществляется между собой с помощью винтов. Блок должен устанавливаться на металлическую плиту, выполняющую роль радиатора.

Масса прибора - не более 3,5 кг;

Габаритные размеры - 227 х 48 х 131 мм

Установочная площадь не более – $3{,}3 \cdot 10^{-2}$ м $^2$.

Структура выходного кадра БКТМ.

Используется фиксированный формат, который в течение передачи не имеет перестановок последовательностей, изменений в структуре кадра, длине или расположении слова и интервале выборки измеряемой величины. В кадре присутствуют как слова данных, так и служебные слова. Длина любого слова составляет 12 бит. Старший бит имеет номер 11. Далее в пределах слова биты нумеруются последовательно в сторону уменьшения значения разряда.

Рис. 2. Внешний вид бортового комплекса телеметрии БКТМ

Данные с выхода БКТМ передаются в формате IRIG 106-96, класс I.

Служебные слова и слова данных объединяются в младшие кадры. Младший кадр определяется как структура данных от начала комбинации синхронизации младшего кадра до начала комбинации синхронизации следующего младшего кадра рис. 3.

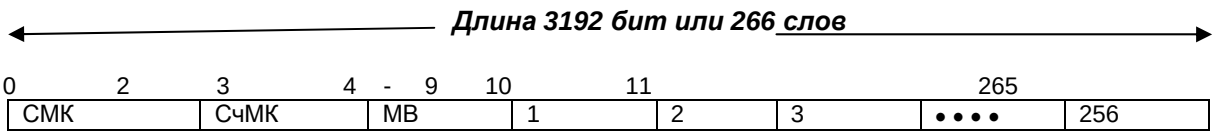



Рис. 3. Структура младшего кадра

СМК – синхронизатор младшего кадра 3 слова);
СчМК – счетчик младших кадров (1 слово);
МВ – метка времени (6 слов);
1...256 – слова данных.

В состав младшего кадра входят:

- синхронизирующая последовательность (0…2-е слова),
- счетчик младших кадров (3-е слово),
- метка времени (4-е...9-е слова),
- слова данных (10-е.....265-е слова).

Слова в пределах младшего кадра нумеруются слева направо от 0 до 265. Синхронизирующая последовательность состоит из трех фиксированных слов.

Счетчик младших кадров представляет собой счетчик, обеспечивающий естественный двоичный счет, соответствующий номеру младшего кадра в пределах старшего кадра.

После достижения максимального значения, СчМК устанавливается в начальное состояние.

Метка времени представлена 3-я словами времени, каждое из которых состоит из двух 12-и разрядных слов младшего кадра. Всего метка времени занимает 6 слов младшего кадра. Слова времени обозначены как "старший разряд", "младший разряд" и "микросекунда". Слово времени "микросекунда" имеет разрешающую способность 1 микросекунду. Слово времени "младший разряд" имеет разрешающую способность 10 миллисекунд. Так же в этом слове передаются разряды, кратные значениям 0,1 секунды, 1 секунда, 10 секунд. Данные в "младшем разряде" передаются в двоично-десятичной форме.

Младшие кадры объединяются в старшие кадры. Количество младших кадров в старшем кадре зависит от информативности БКТМ (табл.1).

Таблица 1

| Информативность<br>изм. слов/сек | Количество младших кадров в старшем кадре |
|---|---|
| 131072 | 128 |
| 65536 | 64 |
| 32768 | 32 |
| 16384 | 16 |

Первый младший кадр в старшем кадре должен иметь номер "ноль". Каждый последующий младший кадр должен нумероваться последовательно в пределах старшего кадра. Для любой информативности длительность старшего кадра равна 0,25 секунды.

Скорость передачи служебной информации определяется по формуле

$$B_{изм} = 4 * N_{слж} * N_{мк},$$

где,

$N_{слж}$ – количество служебных слов в младшем кадре;
$N_{мк}$ – количество младших кадров в старшем кадре.
Для информативности

$$B_{изм} = 4 * 10 * 128 = 5120$$

находим информативность БКТМ

$$I = (5120 + 131072) * 12 = 1634304 \text{ бит/с.}$$

**Прибор ПД (S-TMTR)**

Назначение

Прибор ПД предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов.

Основное назначение прибора– работа в составе бортовой системы телеметрического контроля. Внешний вид прибора ПД показан на рис.4.

Основные технические характеристики прибора ПД

1. Частота несущей сигнала - 2257,5 ±0,045 МГц.

2. Отклонения несущей частоты сигнала от номинального значения - не более ± 0,002%.

3. Прибор выдаёт в нагрузку с сопротивлением $R_н$=50 Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

4. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,54 и сохраняет работоспособность при работоспособность при КСВН не более 2,5.

5. Мощность выходного сигнала прибора (10± 2) В т и (5± 1) Вт. Варианты исполнения прибора предусматривают несущую частоту сигнала (F), мощность и индекс информативности потока в соответствии с шифром.

6. Напряжение внешнего источника питания постоянного тока прибора - $24^{+4}_{-2}$ В.

7. Ток, потребляемый прибором от источника питания ($24^{+4}_{-2}$) В – не более 3 А.

8. Мощность, потребляемая от источника питания ($24^{+4}_{-2}$)В - не более 72 Вт.

9. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:

- при мощности прибора P=5 Вт (минус 62 дБ);
- при мощности прибора P=10 Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБ.

11. Выключение излучения прибора осуществляется соединением между собой цепей «Off Gen +» и «Off Gen –«

12. Прибор соответствует требованиям не более чем через 20 с после подачи на него питания и входных сигналов.

13. Масса прибора - не более (2,2±0,2) кг.

14. Объем прибора - не более 1,8 $дм^3$.

15. Габаритные размеры прибора - (192x159,5x58,5) мм.

17. Прибор соответствует заданным требованиям при непрерывной работе в течение двух часов при условии его установки на теплоотводящую поверхность, обеспечивающую температуру перегрева корпуса прибора не более 15±С.

Рис. 4. Внешний вид прибора ПД

**Прибор ПМ 1 (L-TMTR)**

**Назначение**

Прибор ПМ 1 предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Внешний вид прибора ПМ показан на рис.5.

Основное назначение – работа в составе бортовой системы телеметрического контроля.

Основные технические характеристики прибора ПМ

1. Масса прибора ПМ - не более 1,2 кг.
2. Объем прибора ПМ1- не более 0,73 $дм^3$.
3. Габаритные размеры прибора ПМ1 - (135x135x40) мм.
4. Прибор выдает в нагрузку $R_н$=50 Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

5. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,4 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.

6. Мощность выходного сигнала прибора ПМ (5±1) Вт или (10±2) Вт.

7. Отклонения частоты сигнала от номинального значения - не более ±0,002%.

8. Напряжение внешней питающей сети постоянного тока составляет от 22 до 28 В.

9. Масса прибора ПМ - не более 1,2 кг.

10. Объем прибора ПМ1- не более 0,73 дм$^3$.

11. Габаритные размеры прибора ПМ1 - (135х135х40) мм.

12. Прибор выдает в нагрузку $R_н$=50 Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

13. Прибор обеспечивает требуемые параметры при КСВН не более 1,4 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.

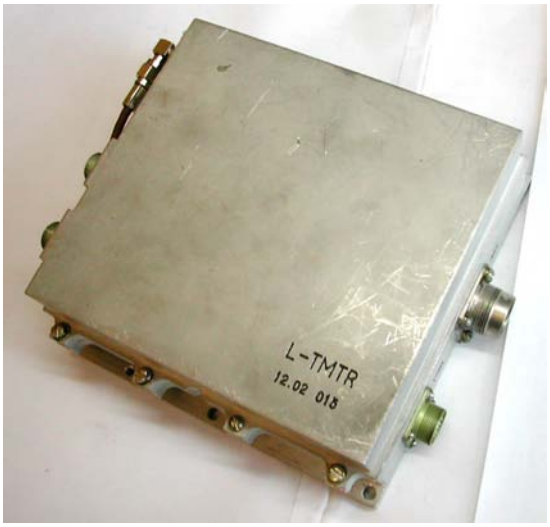



Рис. 5. Внешний вид прибора ПМ

14. Мощность выходного сигнала прибора ПМ (5±1) Вт или (10±2) Вт.

15. Отклонения частоты сигнала от номинального значения - не более ±0,002%.

16. Напряжение внешней питающей сети постоянного тока составляет от 22 до 28 В.

17. Ток, потребляемый прибором от источника питания от 22 до 28 В - не более 2 А.

18. Мощность, потребляемая источником питания - не более 48 Вт.

19. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:

- при мощности передатчика Р=5 Вт (минус 62 дБ);
- при мощности передатчика Р=10 Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБмВт.

20. 99% мощности выходного сигнала сосредоточенно в пределах полосы 9,65 $F_B$ ($F_B$-скорость передачи).

21. Выключение излучения прибора осуществляется соединением сигнала “Off Gen” с минус 24 В.

**Бортовые антенно-фидерные устройства**

Бортовые антенно-фидерные устройства L- и S-диапазонов, рис.6 и рис.7,предназначены для преобразования электрических сигналов бортовых передатчиков ПМ и ПД в электромагнитное поле, излучаемое в эфир.

**Технические данные**

Полоса рабочих частот:

- (385÷405)МГц для L-диапазона;
- (2257,5±3,5)МГц для S-диапазона.

Волновое сопротивление - 50 Ом.

Коэффициент бегущей волны (КБВН) - не менее 0,75.

Коэффициент полезного действия - не менее 0,8.
Устойчивость к механическим и климатическим внешним воздействиям:

- вибрации (10÷2500)Гц;
- линейные перегрузки до 12 g;
- удары, продолжительностью до 10 мс с ускорением до 20g;
- окружающая температура от минус 40 °С до плюс 55 °С;
- атмосферное давление ($1 \cdot 10^{-6}$÷1600) мм рт. ст.

Масса:

- (0,4±0,05) кг для антенны L-диапазона;
- (1,0±0,1) кг с согласующим устройством и кабелями с разъемами для антенны S-диапазона.

Излучение радиосигналов – направленное.
Вероятность безотказной работы - 0,999.

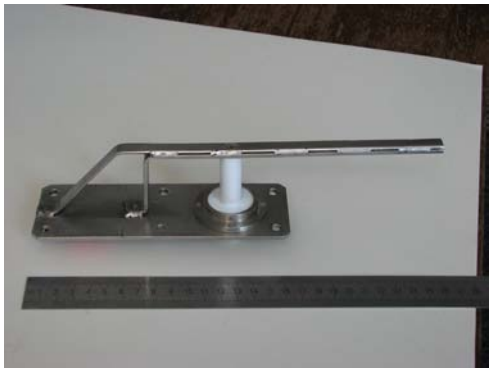


Рис. 6. Внешний вид антенны L-диапазона

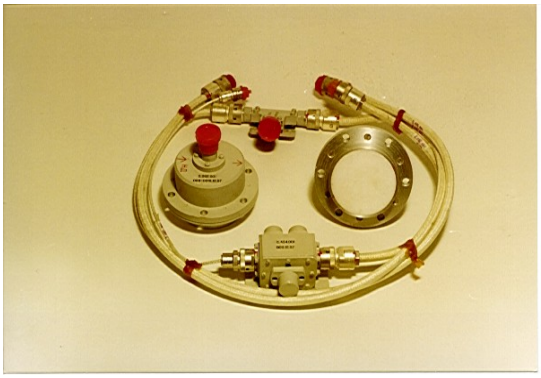


Рис. 7. Внешний вид антенны S- диапазона

**Литература:**

1. Н а з а р о в, А. В., Г. И. К о з ы р е в, И. В. Ш и т о в и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс - Санкт- Петербург. Наука и техника, 2007.- 672 с.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# СИСТЕМА „АКВАПЛАНТ" ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЕКОЛОГИЧНО ЧИСТИ РАСТИТЕЛНИ И АКВАКУЛТУРИ В КОНТРОЛИРАНА СРЕДА

**Иван Григоров[1], Таня Иванова[2], Йордан Найденов[2], Григор Зехиров[3], Георги Атанасов[4]**

*[1]"Ъбгрейд Технолоджис Груп" ООД*
*e-mail: ivan.grigorov@ubgrade.com*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: tivanova@space.bas.bg, yordan.naydenov@space.bas.bg*
*[3]Институт по физиология на растенията и генетика – Българска академия на науките*
*[4]Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания – Българска академия на науките*

***Ключови думи:*** *Акваплант, аквапоник, био храна*

***Резюме:*** *„Акваплант" е интегрирана автоматизирана система от полузатворен тип за производство на екологично чисти растителни и аквакултури в контролирана среда. Тя обезпечава апаратурно една изкуствената екосистема с нейните основни звена: продуценти (висши растения), консументи (риби) и редуценти (бактерии). Всяко звено се поддържа от отделен модул на системата, като между отделните модули се осъществява пренос на органични и минерални вещества в непрекъснат режим. Предвидена е за използване основно в домашни условия, както и в индустрията. Отглежданите аквакултури и растения ще осигуряват домакинствата с прясна, екологично чиста и здравословна храна целогодишно. Системата ще притежава и био-рециклиращи функции – подбраните видове риби ще са всеядни, което ще позволи те да се хранят не само с неизползваната от човека биомаса на отглежданите растения, но и утилизирането на хранителни отпадъци от домакинството. Така „Акваплант" системата ще щади максимално околната среда, оползотворявайки органичните отпадъци. Системата ще управлява автоматично параметрите на културационната среда, осигурявайки оптимален растеж и развитие на биокултурите и максимален добив на биомаса. Предвижда се провеждането на експерименти с около 15 сорта хранителни и 2 вида редки и ценни за медицината растения за установяване на стойностите на тези параметри.*

# "AQUAPLANT" SYSTEM FOR PRODUCTION OF ORGANIC FOOD IN CONTROLLED ENVIRONMENT

**Ivan Grigorov[1], Tania Ivanova[2], Yordan Naydenov[2], Grigor Zehirov[3], Georgy Atanassov[4]**

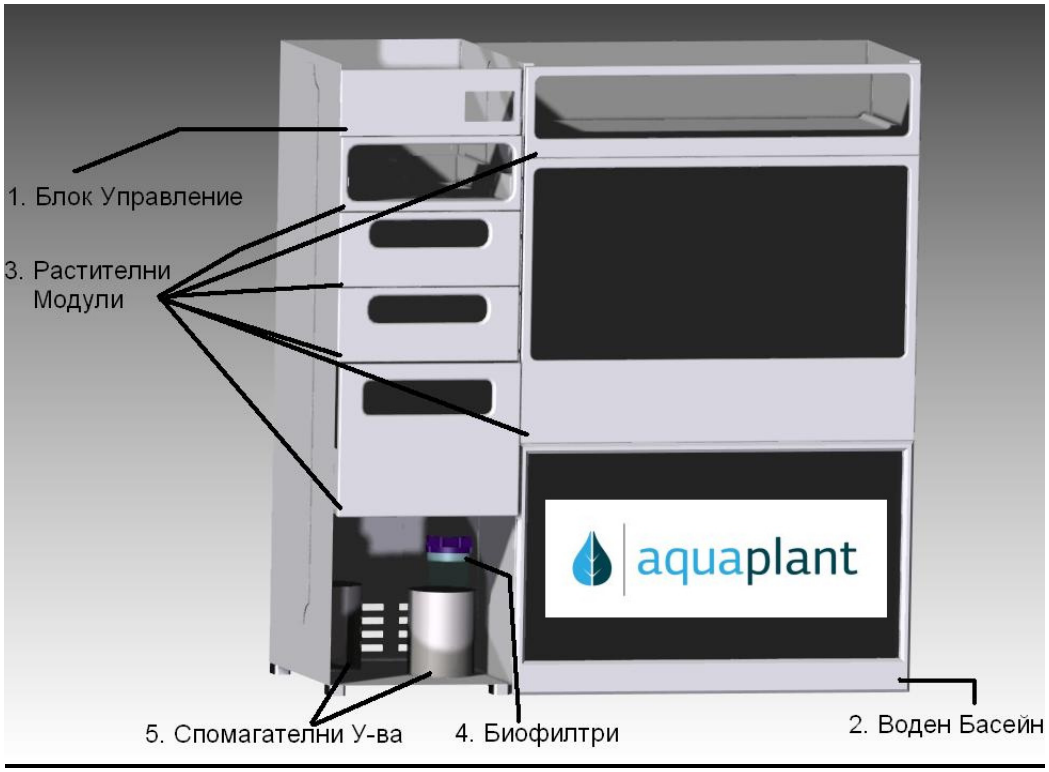
*[1]Ubgrade Technologies Group Ltd.*
*e-mail: ivan.grigorov@ubgrade.com*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: tivanova@space.bas.bg, yordan.naydenov@space.bas.bg*
*[3]Institute of Plant Physiology and Genetics – Bulgarian Academy of Sciences*
*[4]Institute of Biodiversity and Ecosystem Research – Bulgarian Academy of Sciences*

***Keywords:*** *Aquaplant, Aquaponics, Organic Food*

***Abstract:*** *"Aquaplant" is integrated automated semi-closed system for organic food production of plants and aquacultures in controlled environment. It ensures the appliances of an artificial ecosystem with its basic parts: producers (higher plants), consumers (fish) and decomposers (bacteria). Every part is supported by dedicated module of the system, and organic and mineral substances are transmitted between the separate modules. It is designed primarily for domestic use, yet it is applicable to industrial use as well. The production of aquacultures and cultivated plants will provide the household with fresh, organic and health food all of the year. The system will also have bio-recycling capabilities – the selected fish species will be omnivorous, which will allow them to feed on those parts of the plants, which are not used, as well as on the food scrapes from the household. Thus, the "Aquaplant" system will protect the environment by reduction of organic waste. A software control of the system using appropriate values of the cultivation environment parameters stored in a database will ensure optimal growth and development and a greater biomass production. A set of experiments will be carried out, employing about 15 sorts of edible and 2 species of rare and valuable medicinal plants.*

**Автоматизирана система „Акваплант”**

Система „Акваплант” е автоматизирана установка от полузатворен тип за отглеждане и производство на органична храна (растения и аквакултури) в домашни условия. Тя съдържа трите основни трофични звена на една екосистема – продуценти (в случая покритосеменни растения), консументи (сладководни видове риби) и редуценти (бактериални култури). По този начин се осъществява частичен кръговрат на веществата, като същевременно се поддържа статичен баланс между постъпилите в системата и отдадените (използвани от човека) хранителни вещества. Системата има вторична биорециклираща функция с ниски текущи разходи – подбраните видове риби ще са всеядни, което ще позволи те да се хранят не само с неизползваната от човека биомаса на отглежданите растения, но и утилизирането на хранителни отпадъци от домакинството. Основен енергиен източник за системата е електрическата енергия за битови нужди. Предвижда се използване и на слънчева светлина чрез система от колектори и оптични влакна.




Фиг.1. Принципна блокова схема на система „Акваплант”

Система „Акваплант” е проектирана на модулен принцип, който отразява наличието на съответните звена на полузатворената екосистема. Към това се добавят и изискванията на автоматизираното и механизирано управление на параметрите на средата и дейността на системата като цяло. Принципната блокова схема на система „Акваплант” е дадена на Фигура 1, но системата може да се конфигурира по желание:

1) Блок Управление – контролира параметрите на средата и управлява изпълнителните устройства, осъществявайки автоматизираната работа на отделните модули и системата като цяло;
2) Воден Басейн – Модул „Аквакултури”, в който се отглеждат рибите;
3) Растителни Модули – камерите в които се култивират растенията; състоят се от две зони – коренова и листна, в които се поддържа необходимата среда за развитие на кореновата система и надземната част на растителните организми, както и от Блокове за осветление за осъществяване на фотосинтезата; предвиждат се два типа модули – за нискостеблени и високостеблени растения;
4) Биофилтри – бактериални биофилми за редукция на органични вещества до минерални соли и микроелементи;
5) Спомагателни устройства – всички изпълнителни устройства (водни помпи, вентилатори, нагреватели, вентили и др.).

**Растителни модули**

Предвижда се базовата конфигурация на системата да съдържа няколко растителни модули (РМ) с автономно управление на културационната среда в тях. Това ще осигури възможност за едновременно отглеждане на няколко видове/сортове култури, според съответните им изисквания и съобразно със стадия на развитие и текущия физилогичен статус на растенията.

Подобна полузатворена система за следене и поддържане на оптимални условия в средата за отглеждане на растения в безтегловност бе разработена за Космическата оранжерия (КО) СВЕТ [1]. В нея бяха отгледани първите „космически" зеленчуци и в продължение на 10 години бяха осъществени от редица международни екипажи уникални експерименти с различни видове култури на борда на Орбиталната станция МИР [2,3]. Беше доказано, че растенията (дори и зърнените, като пшеницата, с многомесечен вегетационен цикъл) могат да се развиват нормално при липса на гравитация и да бъдат използвани от екипажите за храна и пречистване на въздуха при бъдещите им дългосрочни мисии.

Средата във всеки отделен РМ е разделена по функционален признак на коренова и листна зони. Това разделение се постига и на ниво механична конструкция, което е свързано с начина на управление на параметрите на средите в двете зони:

1) Коренова зона – служи за доставяне на хранителния разтвор до кореновата система на отглежданите растения, като се осигурява постоянен контрол на влажността, температурата и газовия състав (концентрация на кислород и въглероден диоксид).
2) Листна зона – въздушната среда, в която се развиват растенията в условия на поддържани: продължителност на деня и нощта, необходимите светлинни параметри, температурата, влажността и скоростта на въздуха, концентрация на въглеродния диоксид [4,5].

Технологията на отглеждане е аеропоник. Хранителният разтвор ще се доставя до корените посредством тръбна система и ще се впръсква под налягане във вид на аерозолна мъгла в Кореновата зона (КЗ). Източник на хранителния разтвор е водната среда на процесния модул аквакултури. Преди транспортирането на разтвора до КЗ, той преминава през бактериални биофилтри и се анализира за ниво на соленост, киселинност/алкалност (pH) и концентрация на микро- и макроелементи (нитрати, нитрити, амониеви катиони, сулфати и йони на макроелементи). При необходимост, балансът в химичния състав на хранителния разтвор се коригира до оптималните за нуждите на съответния РМ стойности. По време на развойната фаза на проекта и системата ще се проведат редица експерименти при използване на хранителни разтвори с различен състав, за да се получат данни относно оптималните културационни среди за съответните видове и сортове растения, както и за необходимото вариране в състава им през отделните етапи на тяхното вегетативно и репродуктивно развитие.

Листната зона (ЛЗ) ще се осветява с използване на светодиодни Блокове за осветление [6]. Спектралният състав и интензитетът на светлината ще се поддържат в оптимални за съответните растения граници, като в процеса на култивация те ще могат да се изменят динамично. Серия експерименти ще помогне за уточняване на стойностите на тези светлинни параметри. В ЛЗ ще се стремим към определянето на хлорофилно съдържание и растежа (листна площ, височина на надземната част на растенията).

Параметрите на средата в КЗ и ЛЗ ще се следят и управляват в непрекъснат режим, което ще позволи снабдяването на растенията с балансиран хранителен разтвор и постоянни условия на въздушната среда във всеки конкретен момент от процеса на растеж и развитие на култивираните в РМ растения.

**Воден басейн (модул аквакултури)**

Процесът на отглеждане на рибните култури се предхожда от създаване на устойчива среда във Водния басейн (ВБ). Това включва достигане на определено ниво на микрофлора: микроводорасли, цилиати и бактерии, което се осъществява автоматично.

Отпадът от водната среда следва да преминава през биофилтър, където се обработва и обогатява с допълнителни елементи, необходими за пълноценното изхранване на растенията. Полученият разтвор ще минава през процесен модул за растителни култури, в който ще се проверяват и записват всички параметри на веществата, съставящи обогатения хранителен разтвор за растенията. Едва тогава разтворът ще бъде пренасян към модулите КЗ, където изхранването на растенията ще се осъществява чрез впръскване под налягане.

В процесните модули ще бъдат регулиране параметри на разтворите необходими за рибните и растителните култури. Параметрите на средата, които се следят и поддържат в съответните граници са:

- ✓ Процесен модул аквакултури на ВБ – pH, соленост, разтворен кислород, амоняк, нитрити, нитрати, фосфати, йонен състав, температура, осветеност;
- ✓ Процесен модул растителни култури на РМ – pH, амоняк, нитрати/нитрити, фосфати, сулфати, калий, калций, натрий, амониеви и магнезиеви йони.

Ще бъдат подбрани всеядни видове риби, които са налични в България и са на достъпна цена, като рибите ще могат да се хранят с корените на растенията, както и с част от органичните хранителни отпадъци от домакинството.

**Блок управление**

Блокът за управление (БУ) ще контролира по зададени алгоритми параметрите на средата, като периодично ще записва и предава данните за анализ на състоянието към централизиран сървър за обработка и корекция. Благодарение на натрупания опит в разработката на БУ за КО СВЕТ, този блок се оптимизира в съответствие със съвременните технически средства и технологии [7].

Блокът за управление ще следи и поддържа в съответните граници нивата на параметрите в следните гореописани модули:

- ✓ Кореновата зона на РМ
- ✓ Листната зона на РМ
- ✓ Водният басейн
- ✓ Процесните модули

Интерфейсът човек-машина ще предоставя удобни средства за настройване работата на системата от страна на потребителя, както и за обратна връзка с него – сензорен екран ще показва състоянието на всеки един растителен модул и фазата на развитие на съответната култура, като ще има възможност за своевременни корекции. Корекциите ще бъдат изпълнявани съобразно специално зададени нива на достъп според експертизата (напр. аквакултури, растителни култури). В продукта, който ще се разпространява на пазара, също се планира внедряването на нива на достъп, като тази функция ще бъде активирана единствено по желание на клиента. Уеб-базиран интерфейс ще позволява отдалечен достъп и управление на цялата система. Системата ще има и функция „Следене и известяване за инциденти“ по електронна поща (e-mail) и чрез кратки текстови съобщения (sms).

Блокът за управление ще осъществява автоматизиран контрол върху работата на изпълнителните устройства на акваплант системата. Той ще поддържа текущите стойности на параметрите на средите в отделните модули в предварително зададени граници – оптимални за растежа и развитието на съответните организми. В допълнение, ще бъде извършена интеграция на системата с Лабораторията по компютърно моделиране на структури за оптоелектрониката, което ще позволи анализ на състоянието на средата и виртуална симулация на растежа на растенията по зададени алгоритми. Очаква се по този начин да се предвиждат промените в средата и потвърждаването на алгоритмите за управление на база изследване на готовата продукция.

**Експериментални тестове**

След изработването на технологичен образец на система „Акваплант” се предвижда провеждането на редица експерименти с подбраните около 15 сорта хранителни (главно зеленчукови – салати, зеле, лук, репички, грах и др.) и 2 вида редки и ценни за медицината растителни видове. По време на опитите ще бъдат следени и физиологичните параметри на растителните култури.

Диетолог, съвместно със специалист по физиология на растенията, ще определи 15 вида/сорта растения, представители на въглехидратни/нишестени, протеинови и неутрални храни. Предвижда се наличието на поне три вида за всяка отделна хранителна група. По този начин ще бъде осигурена възможност за пълноценно и разнообразно растително меню. Продуктите ще бъдат подбрани измежду най-използваните в потребителската кошница в България.

По време на експериментите по отработване на технологията за отглеждане на растенията ще се извършват и морфометрични измервания (дължина на стъбло, корен, междувъзлия), количество натрупана биомаса, биофизични и биохимични анализи – активност на фотосистемите, интензивност на транспирация, устична пропускливост, хлорофилно и белтъчни съдържание, както и оценка на органолептичните качества. Данните от тези измервания и анализи ще покажат кои са границите на параметрите на средата, в които се наблюдава оптимален растеж и интензивно развитие на подбраните видове растенията.

В резултат, ще бъде разработен софтуер с база данни, който ще позволява автоматизиране на отглеждането на всеки един от избраните по проекта видове. Използвайки данните от сензорната системата, софтуерът ще контролира параметрите на средата динамично, чрез изпълнителните механизми на акваплант системата, за да осигури най-подходящи условия за растеж и развитие на аква- и растителните култури. С цел постигане на максимална адаптивност спрямо непрекъснатото развитие на пазара, проектът предвижда системата за мониторинг да бъде отворена за добавяне на нови сензори, и с възможност за актуализиране на софтуера.

**Приложение**

С цел постигане на максимална гъвкавост спрямо нуждите и възможностите на клиента, освен базовия прототип с всички гореизброени модули, на клиентите ще се предоставя и възможността сами да избират броя и вида на Растителните модули, които предпочитат да бъдат включени към домашната им система. Предвижда се и възможност, по желание на клиента, модулите да се организират така, че да се осигури акцент върху аквакултурите.

Разработеният по проекта софтуер за интензивно отглеждане на аква- и растителни култури ще осигури възможност и за обхващане на допълнителни пазари. По заявка на клиента ще се произвеждат и сглобяват различни по размер и функционалност акваплант-системи – напр. за ресторанти, магазини, ферми и т.н, след съответно конфигуриране на системата съгласно зададените параметри.

Принципът на работа на „Акваплант" системата ще е установен, но самата установка ще може да се мащабира спрямо нуждите на нейните потребители и конкретното й приложение. Системата притежава огромен потенциал и възможности за да отговори на нарастващото търсене на здравословна и екологично чиста храна.

Гореизложеният проект бе оформен като проектно предложение и подаден за разглеждане по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика" 2007-2013 в рамките на схема BG161PO003-1.1.05 „Разработване на иновации от стартиращи предприятия". След провеждането на оценка и предварителен подбор за осигуряване на 90% безвъзмездна финансова помощ е класиран с Решение № ИСП-01-1/17.01.2012 на Изпълнителната агенция за насърчаване на малките и средните предприятия (ИАНМСП) към Министерство на икономиката, транспорта и туризма.

„Ъбгрейд Технолоджис Груп" ООД е компания, подкрепяща инициативите за опазване на околната среда. Тя предвижда да създаде и Програма за рециклиране на продукта с редица преференциални условия, след пускане на системата на пазара. В допълнение, компанията ще осигури гаранция от 15 години за експлоатация на системата.

**Литература:**


1. И в а н о в а, Т. Система осигуряваща развитието на висши растения, функционираща на Орбитална станция "МИР". *Аерокосмически изследвания в България*, 10, 1993, 45-52.
2. I v a n o v a, T. N., Yu. A. B e r c o v i c h, A. L. M a s h i n s k i y, G. I. M e l e s h k o. The First "Space" Vegetables have been grown in the "SVET" Greenhouse Using Controlled Environmental Conditions. *Acta Astronautica*, Vol. 29, No. 8, 1993, pp. 639-644.
3. 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. W. D a n d o l o v, F. B. S a l i s b u r y, G. E. B i n g h a m, V. N. S y c h e v, M. A. L e v i n s k i k h, I. G. P o d o l s k i, D. B. B u b e n h e i m, G. J a h n s. 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. N a y d e n o v, Y., S. N e y c h e v, I. I l i e v a. New Plant Shoot Environment Monitoring System for Third Generation SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety" SENS'2007*, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, 2008, pp. 369-373.
5. N a y d e n o v, Y., T. I v a n o v a, I. D a n d o l o v, I. I l i e v a. 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.
6. I l i e v a, I., T. I v a n o v a, Y. N a y d e n o v, I. D a n d o l o v, D. S t e f a n o v. Plant Experiments with Light-Emitting Diode Module in SVET Space Greenhouse. *Advances in Space Research*, Vol. 46, No. 7, 2010, pp. 840-845.
7. N a y d e n o v, Y., T. I v a n o v a. "SVET" Space Greenhouse Control Unit: Automation of Plant Cultivation in Microgravity. *Journal of the Technical University at Plovdiv "Fundamental Sciences and Applications"*, Vol. 16, Book 1, 2011, pp. 429-434.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# МОРФОМЕТРИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОТОСИНТЕТИЧНА АКТИВНОСТ НА ЛИСТНА ЦИКОРИЯ ПРИ RGB LED ОСВЕТЛЕНИЕ

**Илияна Илиева[1], Йордан Найденов[1], Таня Иванова[1], Иван Дандолов[1], Детелин Стефанов[2], Емилия Гешева[3]**

[1]*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
[2]*Биологически факултет – СУ "Св. Кл.Охридски"*
[3]*Институт по физиология на растенията и генетика – Българска академия на науките*
*e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *LED блок осветление, RGB светлина, интензитет на светлината*

***Абстракт:*** *С цел оптимизиране на светлинните характеристики на блока за осветление (БО) на космическа оранжерия на светодиоди и подбора на подходящите интензитет и спектрален състав са изследвани морфометричните характеристики и фотосинтетичната активност на растението листна цикория. Проведен е експеримент с 2 модификации на БО при светлина с интензитет 144 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (ИС-144) и 288 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (ИС-288) и спектрален състав 50% червена (R), 15% зелена (G) и 35% синя (B) светлина. Получените резултати за морфометричните характеристики показват, че растенията отгледани при ИС-144 се развиват по-бавно, синтезирали са 3 пъти по-малко биомаса и са с 22 % по-ниски в сравнение с растенията отгледани при ИС-288. Влиянието на интензитета на светлината върху фотосинтетичният апарат на растенията е определено чрез показателите $Φ_{PS2}$, NPQ и E. $Φ_{PS2}$ е с 56% по-висока при ИС-288 в сравнение с тази измерена при ИС-144. Този резултат корелира с отчетените по-бърз растеж и развитие. Показателите NPQ и E също показват, че ИС-288 не индуцира фотозащитни и фотоувреждащи реакции.*

# MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS AND PHOTOSYNTETIC ACTIVITY OF RADICCHIO UNDER RGB LED LIGHTING

**Iliana Ilieva[1], Yordan Naydenov[1], Tania Ivanova[1], Ivan Dandolov[1], Detelin Stefanov[2], Emilia Gesheva[3]**

[1]*Space Research and Technologies Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
[2]*Biological Faculty – Sofia University "St. Kl. Ohridsky"*
[3]*Institute of plant physiology and genetics – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg*

***Keywords:*** *LED Light Module, RGB light, light intensity*

***Abstract:*** *Morphometric characteristics and photosynthetic activity of radicchio planst were investigated in order to select the appropriate intensity and spectral composition to optimize the lighting characteristics of the Space greenhouse's Light Module (LM) on Light Emitting Diodes. An experiment was carried out with two modifications of LM at light intensity 144 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (LI-144) and 288 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (LI-288) and spectral composition 50% red (R), 15 % green (G) and 35% blue (B) light. The obtained morphometric characteristics indicate that plants grown at LI-144 developed more slowly, synthesized 3 times less biomass and were 22% lower compared to plants grown in LI-288. The influence of light intensity on the photosynthetic apparatus of plants is determined by $Φ_{PS2}$, NPQ and E indicators. $Φ_{PS2}$ is 56% higher in the LI-288 compared with that measured at LI-144. This result correlates with the observed faster growth and development of radicchio plants at LI-288. NPQ and E indicators also show that LI-288 does not induce photoprotective and photodamaging reactions.*

**Въведение**

Светодиодите (Light emitting diodes - LEDs) се наложиха като перспективен светлинен източник за конструиране на Блокове за осветление (БО) в космическите оранжерии, както за експерименти на борда на Международната космическа станция (МКС) [1], така и за бъдещият полет на човека до Марс [2]. LEDs имат много предимства пред останалите изкуствени източници на осветление – малки размери, продължителен период на експлоатация, надеждност и безопастност при работа, малка консумация на енергия, излъчват светлина във видимата област от спектъра с физиологично значение за растенията [3,4].

БО на светодиоди са конструирани само с червени LEDs [5,6], с червени и сини LEDs [1,7] или с червени, зелени и сини LEDs [8,9]. Следователно излъчената светлината представлява комбинация от една, две или три монохроматични спектрални ивици от видимият спектър, с точно определена дължина на вълната в зависимост от областта на излъчване на използваните светодиоди. Допълнително предимство на БО на светодиоди пред БО на други светлинни източници (флуорисцентни лампи) е възможността всеки цвят светодиоди да бъде управляван отделно, при което чрез вариране на силата на тока преминаващ през тях или времето в което те са включени или изключени може да се постигне конкретен интензитет и спектър на светлината. Различните растения имат различни изисквания към състава на спектъра и интензитета на светлината дори продължителността на фотопериода през отделните фази от своето развитие. В процес на определяне са както минималният, така и максималният интензитет на светлината при съответен спектрален състав, които БО на светодиоди трябва да осигурява.

Разработен беше БО-LED с използването на мощни LEDs, което позволи вариране на спектъра и интензитета на светлината в диапазона 0 - 400 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ [10]. Проведените експерименти с растението листна цикория обаче показаха признаци на фотоинхибиране и понижена фотосинтетична активност при интензитет на светлината 400 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ и спектър 70% червена (R), 10% зелена (G) и 20% синя (B) и нормално развитие при два пъти по-нисък интензитет – 220 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ и същият спектрален състав на светлината [9]. Този резултат доведе до проектирането и изработването на втори блок за осветление на маломощни светодиоди (БО-LED-M) с компактна конструкция и по-малко тегло, ниска потребляема мощност и добри възможности за охлаждане, който лесно може да бъде мултиплициран за вграждане в оранжерии с по-голяма площ. Целта на осъществения синхронен експеримент бе да проведем биотехнологични изпитания на новия блок, като сравним морфометричните показатели и фотосинтетичната активност на растения листна цикория, както и да потърсим оптималните граници на светлинните параметри, в които се осигурява нормалното му развитие.

**Експериментална апаратура и методи на изследване**

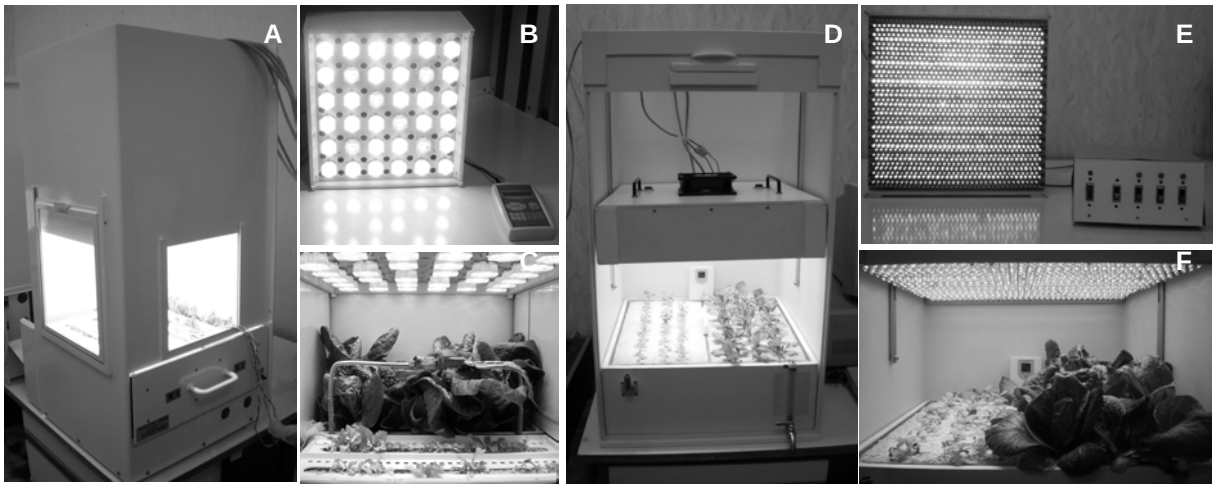
- ***Постановка на експеримента***

Култивирането на растенията листна цикория *Cichorium intybus* L. subsp*. intybus* (Foliosum Group) cv. Bianca di Milano е извършено синхронно в две отделни лабораторни установки - Лабораторният макет на КО СВЕТ-2, летяла на Орбитална станция МИР (Фиг.1-A), в която е разположен БО-LED (Фиг.1-B) осигуряващ интензитет на светлината от 288 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (ИС-288) и новоразработена Камера за отглеждане на растения с размери 40x40 cm (Фиг.1-D), в която е разположен БО-LED-M (Фиг.1-E), осигуряващ съответно интензитет на светлината от 144 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (ИС-144).

БО и в двете установки са позиционирани на 20 cm над посевната повърхност. Изкуствената почва – субстрат, използван за отглеждане на растенията е Балканин – природен зеолит, добиван от находището в Бели пласт, обл. Кърджали, България, обогатен с минерални елементи [11]. Растенията листна цикория са отгледани при температура – 18-20°C, относителна влажност на въздуха – 60-70% и фотопериод – 16h ден / 8h нощ.

Използваните БО-LED и БО-LED-M са разработени съответно на мощни и маломощни LEDs, като характеристиките им са представени в Таблица 1. Спектърът на светлината излъчен от БО-LED може да се променя в диапазона 0 - 400 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ като с помощта на DMX програматор може да се настройва съотношението между червената, зелената и синята светлина [10]. Това позволява получаването на светлина с точно определен спектър и интензитет.

Спектралният състав на светлината на БО-LED-M е фиксиран, като съотношението на червената светлина към зелената и синята, е съответно 50:15:35 %. Този спектър се получава при максималния интензитет на светлината, който БО-LED-M може да излъчи - 144 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$.




Фиг. 1. **A** - Лабораторна установка на КО СВЕТ-2; **B** - БО-LED; **D** – Камера за отглеждане на растения 40x40; **E** - БО-LED-M; **C и F** - Растения листна цикория на 40 ден от развитието си при интензитет на светлината 288 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (отзад) и 144 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (дясно)

Таблица 1. Технически и светлинни характеристики на БО-LED и БО-LED-M

| | **БО-LED** | **БО-LED-M** |
|---|---|---|
| **Размер на БО** | 33 x 33 cm | 40 x 40 cm |
| **Мощност на БО** | 280 W | 80 W |
| **Брой на светодиодите в БО** | 108 | 1260 |
| **Производител на светодиодите** | Cree® | Yi Kais Int. Co. Ltd. |
| **Модел на светодиодите** | XLamp® 7090 XR | 04YK-QH513 |
| **Област на излъчване на B LEDs** | 465-475 nm | 465-470 nm |
| **Област на излъчване на G LEDs** | 520-535 nm | 520-525 nm |
| **Област на излъчване на R LEDs** | 620-635 nm | 620-630 nm |
| **Max интензитет на RGB LEDs** | 1104 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ | 144 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ |
| **Max интензитет на R LEDs** | 880 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ | 73 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ |
| **Max интензитет на G LEDs** | 110 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ | 22 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ |
| **Max интензитет на B LEDs** | 250 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ | 48 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ |

- ***Анализи на растенията***

*Морфометрични характеристики*

Свежото тегло на надземната част на растенията (листата) е измерено на аналитична везна (Sartorius - PT 120, Germany) веднага след вземане на пробата, броят на развитите листа е преброен и височината е измерена с линия.

За определяне на съдържанието на сухо вещество в листата на растенията е взета средна проба от средно 5 растения. 1g свеж материал е поставен в тегловно стъкло и фиксиран в сушилня при 105°C за 4 h, след което е сушен при 60°C до постоянно тегло.

*Съдържание на пигменти*

Анализът за съдържанието на пигменти в листата на цикорията е проведен по метода на Arnon [12]. Анализът е проведен на трети лист взет от средно 5 растения.

Получените резултати за морфометричните характеристики и съдържанието на пигменти са обработени статистически с one-way ANOVA test при P = 0.05.

*Измерване на хлорофилна флуоресценция*

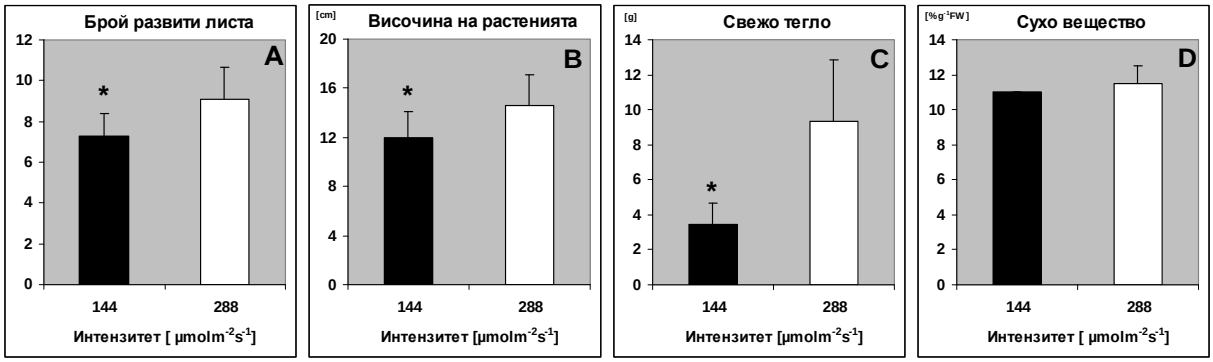
Хлорофилната флуоресценция е измерена на листни дискове взети от трети лист на растенията листна цикория при стайна температура с импулсно амплитудно модулиран флуориметър (PAM 101-103, Waltz, Effeltrich, Germany). За осветяване и обработката е използвана фиброоптична система с пет разклонения (Waltz). Камерата за пробата също е произведена от Waltz, Germany. Минималната флуоресценция $F_0$ е измерена при подаване на измерващ лъч с много нисък светлинен интензитет, подаван от LED емитер (PAM 101 ED). Максималната флуоресценция Fm от затворените реакционни центрове (РЦ) на фотосистема II (ФС2) е измерена по време на едносекунден импулс с интензитет 3000 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ PFD (photon

flux density) след тъмнинна адаптация за 5 min. Максималната флуоресценция в присъствие на актинична светлина (светлината индуцираща фотосинтезата) Fm′ е измерена като флуоресцентен пик, индуцирани едносекундни импулси с интензитет 3000 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ PFD през интервали от 20 sec на фона на актинична светлина. Измерванията са проведени до достигане на стационарното ниво на флуоресценция F за съответния интензитет на актиничната светлина. Актиничната светлина и насищащите импулси се подават от два еднакви светлинни източника (Scott KL 1500), филтрирани през неутрални филтри. Данните за флуоресценцията са записани и обработени с програма FIP 4.1, QA Data, Turcu, Finland [13]. От получените данни са изчислени следните показатели: Активност на Фотосистема II – $\Phi_{PS2}$=(Fm'-F)\F, Нефотохимично гасене – NPQ=(Fm-Fm')/Fm' и excess E (част от светлинна енерия, която не се използва нито за фотохимична активност, нито за фотозащита, т.е. за нефотохимично гасене и е свързана с нивото на увреждания във фотосинтетичния апарат) – E=(F-$F_0$')/Fm'.

**Резултати**

- ***Влияние на интензитета върху морфометричните характеристики на растенията***

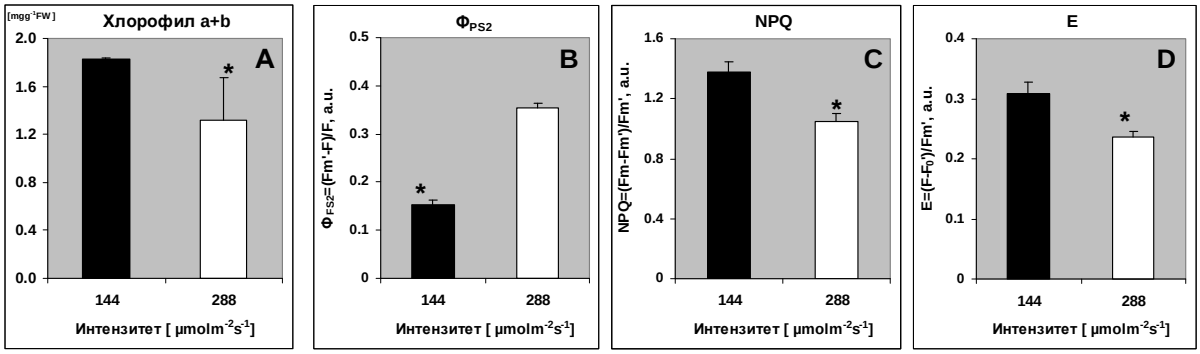
Растенията отгледани при ИС-144 достигат седми лист на развитие в сравнение с цикориите отгледани при ИС-288, които са на девети лист от своето развитие (Фиг. 2-A). Височината на растенията също силно се повлиява от интензитета на светлината като при по-ниският интензитет растенията са средно с 2.6 cm по-ниски от растенията отгледани при висок интензитет светлина или съответно 12.0 cm и 14.6 cm (Фиг. 2-B). При ИС-144 растенията синтезират 3 пъти по-малко биомаса като средното измерено тегло на едно растение е 3.469 g в сравнение с 9.324 g при цикориите отгледани на ИС-288 (Фиг. 2-C). Сухото вещество натрупано и при двата интензитета светлина е едно и също – 11% от 1g свежа биомаса (Фиг. 2-D).




Фиг. 2. Морфометрични характеристики на растения листна цикория отгледани при интензитет на светлината 144 и 288 μmol$m^{-2}s^{-1}$ и спектър 50:15:35 % RGB светлина.
*****Получените резултати са статистически различни при P=0.05.

- ***Влияние на интензитета върху фотосинтетичната активност на растенията***

Съдържанието на хлорофил ***a+b*** в листата на цикориите е по-високо при ИС-144 (Фиг.3-A). Отчетената е обаче два пъти по-ниска активност на фотосистема II – $\Phi_{PS2}$ при този интензитет на светлината (Фиг.3-B). $\Phi_{PS2}$ дава точна за фотосинтетичната активност, тъй като отчита светлината погълната от хлорофила асоцииран с Фотосистема II и използвана във фотохимичните реакции и дава точна представа за темпа на електронният пренос и следователно за скоростта на фотосинтезата [14]. Показателите NPQ и E, които отчитат съответно индукцията на фотозащита и на фотоувреждане, са понижени при ИС-288 (Фиг. 3-C,D) и показват липса на фотозащита, а следователно и фотоувреждане.




Фиг. 3. **A** - Съдържание на хлорофил ***a+b***, **B** - Активност на Фотосистема II, **C** - Показател NPQ и D - Показател E на растения листна цикория отгледани при интензитет на светлината 144 и 288 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ и спектър 50:15:35 % RGB светлина.
*****Получените резултати са статистически различни при P=0.05

**Дискусия**

Интензитет на светлината от 144 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ и спектър 50:15:35 % RGB не е достатъчен за развитието на растението листна цикория. Измерената два пъти по-ниска активност на Фотосистема II води до понижена фотосинтетична активност като цяло и корелира с отчетените по-бавен растеж, по-ниски и с по-малко синтезирана биомаса растения. От друга страна дали светлина с интензитет от 288 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ не индуцира фотоувреждане в растенията листна цикория? Резултатите от предишен експеримент със същото растение проведен при 400 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ интензитет на светлината и спектрален състав 70:20:10 % RGB показаха, че растенията проявяват признаци на фотоинхибиране [9]. При ИС-288 показателите NPQ и E са понижени, което показва липса на фотозащита, и следователно фотоувреждане. От друга страна $\Phi_{FS2}$ е с 56% по-висока в сравнение с тази при ИС-144, което допълнително показва че растенията се развиват добре при 288 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ интензитет на светлината със спектър 50:15:35 % RGB. При 220 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ и спектрален състав 70:20:10 % RGB растения също показаха по-добра фотосинтетична активност [9].

В заключение можем да кажем,че интензитет на светлината в диапазона 200 - 300 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ е подходящ за развитие на листна цикория при спектър състоящ се от 50-70% червена, 15-20% зелена и 10-30% синя светлина.

Получените резултати задават границите, в които трябва да се търси оптималният спектър и интензитет на светлината необходими за развитието на растението листна цикория. Тези резултати ще бъдат използвани при разработването на БО на светодиоди и по-точно при баланса, който трябва да се намери между себестойността и ефективността на БО на светодиоди.

Ефективността на конструираните БО зависи от отношението на консумираната мощност към емитираната фотосинтетично активна светлина за растенията. На пазара са налични както мощни и скъпоструващи светодиоди така и евтини, маломощни светодиоди. Изработването на БО с използването на вторите е многократно по-икономично, енергоспестяващо, а енергията е ресурс, който е ограничен на борда на МКС и ще бъде ограничен при бъдещата мисия на човека до Марс. Възниква въпроса дали полученият интензитет светлина ще е достатъчен за развитието на растенията, какъв ще е спектралният състав и дали ще има възможност за тяхното вариране. Съществен недостатък на конструирания БО-LED-М на нискоенергийните светодиоди е, че е с фиксиран спектрален състав при максимален интензитет на светлината, като възможноста за вариране на спектъра и интензитета е значително ограничена. От друга страна конструирането на БО-LED с мощни светодиоди е скъпоструващо, тъй като те консумират повече енергия и изискват системи за охлаждане, което е свързано с допълнителен обем и маса при конструирането на БО за космическата оранжерия. Но използването на мощни светодиоди позволява варирането на спектралният състав и интензитета на светлината в широк диапазон, което значително разширява възможностите за изследвания с различни култури.

Икономическата ефективност, както и минималният, и максималният интензитет на светлината при съответен спектрален състав, които БО на светодиоди трябва да осигурява са все още в процес на определяне.

**Литература:**


1. Link, B. M., S. J. Durst, W. Zhou, B. Stanković. Seed-to-seed growth of Arabidopsis thaliana on the International Space Station, *Advances in space research*, 2003, Vol.31, No. 10, pp. 2237-2243.
2. Ivanova, T. N., I. I. Ilieva, Y. N. Naydenov, V. N. Sychev, M. A. Levinskikh. "Greenhouse-Mars" Project: New Light-Emitting Diode Module Tests. *Proceedings of the International Conference "Fundamental Space Research"*, 23-28 September 2008, Sunny Beach, Bulgaria, 2008, pp. 291-294.
3. Barta, D. J., T. W. Tibbitts, R. J. Bula and R. C. Morrow. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source, *Advances in Space Research*, 1992, Vol. 12, No. 5, pp. 141-149.
4. Bula, R. J., D. J. Tennessen, R .C. Morrow, T. W. Tibbitts, Light emitting diodes as a plant lighting source, *International Lighting in Controlled Environments Workshop*, NASA-CP-95-3309, 1994, pp. 255–267.
5. Goins, G. D., N. C. Yorio, M. M. Sanwo, C. S. Brown. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, 1997, Vol. 48, pp.1407–1413.
6. Goins, G. D., L. M. Ruffe, N. A. Cranston, N. C. Yorio, R. M. Wheeler, J. C. Sager. Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes (LEDs), SAE Technical Papers 2001-01-2422, *31st International Conference on Environmental Systems*, Orlando, FL, USA, July 2001.
7. Bula, R. J., R. W. Ignatius. Providing controlled environments for plant growth in space, *International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems*, Narita Japan, August 26–29, 1996.
8. Folta, K. M., L. L. Koss, R. McMorrow, H. Kim, J. D. Kenitz, R. Wheeler, J. C. Sager. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research, *BMC Plant Biology*, 2005, Vol. 5, doi:10.1186/1471-2229-5-17.
9. 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*, 2010, Vol. 46, No. 7, pp. 840-845.
10. Ivanova, T., I. Dandolov, I. Ilieva, Y. Naydenov, M. Levinskih, V. Sychev. New Leds Light Module Developed on "Greenhouse-Mars" Project, *Aerospace Research in Bulgaria (ISSN 1313 - 0927)*, 2009, Vol.23, pp.85-102.
11. Ivanova, T., I. Stoyanov, G. Stoilov, P. Kostov, S. Sapunova. Zeolite gardens in space, *Natural Zeolites Sofia'95*, Pensoft Publishers, Sofia–Moscow, 1997, pp. 3–10.
12. Arnon, D. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidases in Beta vulgaris, *Plant Physiology*, 1969, Vol.24, pp.1-15.
13. Tyystjärvi, E., J. Karunen. A microcomputer program and fast analog to digital converter card for the analysis of fluorescence induction transients, *Photosynthesis Research*, 1990, Vol. 26, pp. 127–132.
14. Genty, B., J. M. Briantais, N. R. Baker. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, Vol. 990, pp. 87–92.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# КАПИЛЯРНО ПРИДВИЖВАНЕ НА ВОДА ВЪВ ВЪЗДУШНО-СУХ ЗЕОЛИТЕН СУБСТРАТ „*БАЛКАНИН*": АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ КОСМИЧЕСКИ И ЛАБОРАТОРНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ

**Пламен Костов**

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

***Ключови думи:*** *космически експеримент „Субстрат", орбитална станция „Салют-7", въздушно-сух зеолитен субстрат „Балканин", капилярно придвижване на вода, воден резервоар.*

***Резюме:*** *Субстрат „Балканин" беше използван като заместител на естествените Земни почви в космическа оранжерия (КО) „Свет". През 1985 г. беше изучено поведението на вода, впръскана във въздушно-сух субстратен обем в условия на микрогравитация (0-g). Особеност на този субстрат е, че пори с диаметър до 3 μm заемат 2/3 от обема на порите на отделните частици. Това предполага съществено преобладаване на капилярните сили над хидростатичните при издигането на водата в субстратен слой с височина до 0,1 m. Издигната е хипотеза, че височините на капилярно издигнатата вода в субстрата на Земята (1-g) и при 0-g, са равни. Изказано е предположение, че височината на начално впръсканата вода при 1-g непрекъснато намалява под действие на Земната гравитация, докато при 0-g тази вода се просмуква в порите на околните частици, без да променя своята височина. Проведените допълнителни лабораторни изследвания показват, че едновременното регистриране на текущите височини на капилярно издигнатата вода чрез порите на частиците и на водния резервоар дава информация, с помощта на която може да се предвиди динамиката на капилярно издигане на водата при 0-g и еднакви други експериментални условия. Докладвани са резултатите от космически, контролен (наземен) и серия лабораторни експерименти.*

# CAPILLARY MOVEMENT OF WATER IN AIR-DRY *BALKANINE* ZEOLITE SUBSTRATE: ANALYSIS OF THE RESULTS FROM SPACE AND LABORATORY EXPERIMENTS

**Plamen Kostov**

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

***Key words:*** *„Substrate" space experiment, Salyut-7 orbital station, Balkanine zeolite-based air-dry substrate, capillary water movement, water reservoir.*

***Abstract****: Balkanine zeolite-based substrate was used as a root growth medium in the Svet space greenhouse (SG). The behavior of water injected in air-dry substrate was investigated in 1985 onboard the Salyut-7 orbital station ("Substrate" space experiment). A terrestrial study of the same substrate shows that the 3 microns in diameter pores occupy 2/3 of the pore volume of each particle. That suggests considerable prevalence of the capillary forces over the hydrostatic ones during particle imbibition with water in a substrate layer up to 0,1 m in height. A hypothesis was put forward that the levels of capillary water rise in the substrate on Earth (1-g) and at microgravity (0-g) are equal. It is suggested that the initial level of the injected water at 1-g continuously decreases as a result of gravity, while at 0-g this water soaks in the surrounding particle pores, without changing its height. Followed up examinations show, that the simultaneous recording of the current capillary water level and the water height in the "tank" gives information through which it is possible to predict the dynamics of the capillary water movement at 0-g and the same other experimental conditions. The results from the space and ground-based experiments, as well as from a series of laboratory experiments are reported.*

**Въведение**

Едно изследване на разпространението на вода в пореста среда (субстрат „Балканин") беше проведено на борда на орбиталната станция „Салют-7" на 26-27.08.1985 г. Друг експеримент с аналогична апаратура беше проведен в Москва, Русия, на 26-27.09.1985 г. [1].

Основна цел на изследването на хидродинамичните свойства на субстрат „Балканин" в условия на безтегловност беше да се подбере оптимален фракционен състав на субстрата за използване в космическа оранжерия (КО) „Свет". Две основни задачи бяха поставени пред този 24-часов експеримент: 1) Изследване на вертикалното и хоризонталното разпространение на вода в четири фракции на субстрат „Балканин", 2) Определяне на скоростта на придвижване на водния фронт.

За целите на проекта КО „Свет", Славчев [2] подготвя теоретичен модел на физическите процеси, протичащи в системата въздух-вода-субстрат за условия на безтегловност (0-g), при отсъствие на биологични образци. Моделиране на същите процеси за Земни условия (1-g), обаче, не е правено. Славчев предлага да бъде използвана следната зависимост на капилярното издигане $h$ от времето $t$ -

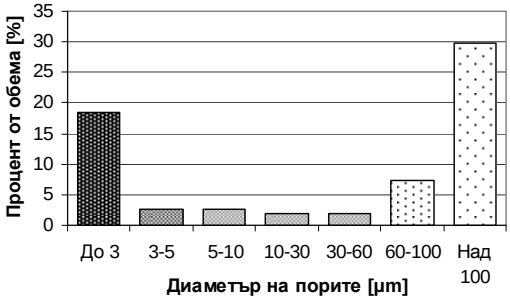
(1) $$h = \sqrt{\frac{r_e \sigma(\cos\Theta)}{2\eta} t} = \sqrt{Kt}$$ , където: $$K = \frac{r_e \sigma(\cos\Theta)}{2\eta}$$ , $r_e$ - ефективен радиус на капиляра, $\sigma$ - повърхностно напрежение на водата, $\Theta$ - ъгъл на омокряне, $\eta$ - динамичен вискозитет на водата.

Когато впръсканата доза вода заеме начален обем с височина $h_0$, уравнение (1) придобива вида -

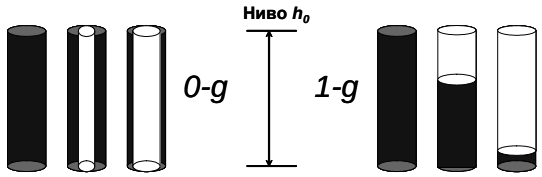
(2) $$(h - h_0)^2 = Kt$$

Захаров [3] определя обемното разпределение на порите в субстрат „Балканин", в зависимост от техния размер (фигура 1). Порите с диаметър над 60 μm определят обема на порите между частиците (макропори) - около 35-37% от обема на субстрата. Останалото порово пространство 27-30% представлява обема на порите в частиците (микропори), като 2/3 от техния обем е съсредоточен в пори с диаметър до 3 μm. Това означава, че височината, на която може да се издигне вода по капилярен път, е над 10 m, съгласно формулата на Жюрен. Следователно, в субстратен слой с височина 0,1 m преобладаващите сили са капилярните, така както е в безтегловност.

Когато в среда с двойна порестост е впръскано определено количество вода, макропорите на средата служат за резервоар, от който микропорите изтеглят водата и я издигат по капилярен път. На Земята, под действие на Земното ускорение, водата в "резервоара" непрекъснато намалява своето ниво от $h_0$ до 0. В микрогравитация водата в макропорите практически не се придвижва по тяхната дължина и вероятно запазва първоначално достигнатата височина $h_0$ през цялото време на капилярно издигане на водата от микропорите. Плътния стълб вода с височина $h_0$ постепенно се попива от микропорите на околните стени на макропората, водата в резервоара намалява, но височината $h_0$ остава относително постоянна (фигура 2). Текущата височина $h_0(t)$ на водното ниво в резервоара е тази, от което би трябвало да се отчита височината на капилярно издигане $h$ и в двата случая.




Фиг. 1. Обемно разпределение на порите на субстрата в зависимост от техния диаметър




Фиг. 2. Поведение на водата, запълнила макропорите на субстрата след началното впръскване на вода до височина $h_0$

Тези особености, илюстрирани на фигури 1 и 2, дават основание да се издигне хипотеза, че фронтът на капилярната вода в субстрат „Балканин" трябва да се издигне на една и съща височина над текущото ниво $h_0$ на впръсканата вода в безтегловност и на Земята.

Цел на представеното изследване е да се провери издигнатата хипотеза чрез допълнителни лабораторни експерименти. Изследването е проведено съгласно техническите условия на експеримент „Субстрат".

Задачи на изследването са: 1) Да се подготви математически апарат, описващ процесите на начално омокряне на пореста среда за условията на 0-g и 1-g; 2) Да се приложат моделите към данните от експеримент „Субстрат"; 3) Да се проведат допълнителни лабораторни експерименти за определяне на поведението на водата в порестата среда.

Предмет на изследването са данните от космическия и контролния експерименти „Субстрат" (К1, СIII), съдържащи регистрираното придвижване на водния фронт в субстрата във функция от времето [4], както и резултатите от допълнителните експерименти за измерване на капилярното издигане и на гравитационното спадане на водата в макропорите на субстрата.

**Методи и материали**

За условията на 0-g в настоящото изследване ще бъде използван предложения от Славчев математически апарат, чиито финални формули (1) и (2) са дадени по-горе.

Когато капилярите се намират в условия 1-g и са вертикално разположени, един удобен за интерпретация израз е предложен от Peiris и Tennakone [5] -

(3) $$l = l_{max}\left[1 - e^{\left(-\frac{l}{l_{max}} - \frac{t}{t_0}\right)}\right]$$, където: $l_{max} = \frac{2\sigma(\cos\Theta)}{r_e \rho g}$ (Журен) и $t_0 = \frac{16\eta\sigma(\cos\Theta)}{r_e^3 \rho^2 g^2}$,

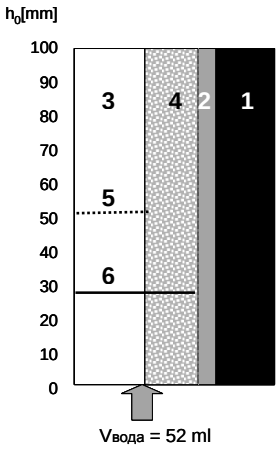
$r_e$ - ефективен радиус на капиляра, $\sigma$ - повърхностно напрежение на водата, $\Theta$ - ъгъл на омокряне, $\eta$ - динамичен вискозитет на водата, $\rho$ - плътност на водата, $g$ - Земното ускорение.

При по-нататъшното използване на изразите (1), (2) и (3) се приема, че стойностите на параметрите са еднакви при експериментите при 0-g и 1-g.

Резултатите от космическия (0-g) и контролния (1-g) експерименти „Субстрат" могат да бъдат намерени в [4]. Допълнително космонавтите са записали своите наблюдения за свободно движение на частиците на субстрата във всяка от секциите - най-ронлив е субстратът в СII, по-малко ронлив е в СIV, слабо ронлив е в СI; а в СIII обемът е запълнен плътно. Това ограничава надеждността на данните от експеримента и в това изследване са използвани данните само за секция СIII.

*Подготовка на лабораторни експерименти*

1. За целите на лабораторните експерименти е използвана цилиндрична мерна чаша с обем 300 ml и размери ØxH = 65x90 mm.
2. Скоростта на впръскване е важен начален параметър, който определя височината на водния резервоар $h_0$, от която започва чистото капилярно издигане на водата в субстрата. На фигура 3 е представено определянето на $h_0$ в зависимост от скоростта на впръскване.




a.

| Секция СIII, субстрат „Балканин" , 2,5÷3,2 mm |
|---|
| $V_{общ}$ = 300 $cm^3$ |
| ❶ $V_{твърда\ фаза}$ = 35%.$V_{общ}$ = 105 $cm^3$ |
| ❷ $V_{хигроскопична\ вода}$ = 5%.$V_{общ}$ = 15 $cm^3$ |
| $V_{пори}$ = 0,65.$V_{общ}$ = 195 $cm^3$ * |
| ❸ $V_{макропори}$ = (37-3)%.$V_{общ}$ = 102 $cm^3$ |
| ❹ $V_{микропори}$ = (28-2)%.$V_{общ}$ = 78 $cm^3$ |
| ❺ $h_0$ (*бързо*) = (52/102).100 mm = 51 mm |
| ❻ $h_0$ (*бавно*) = (52/180).100 mm = 29 mm |
| $h_0$ летателен експеримент = 30 mm |

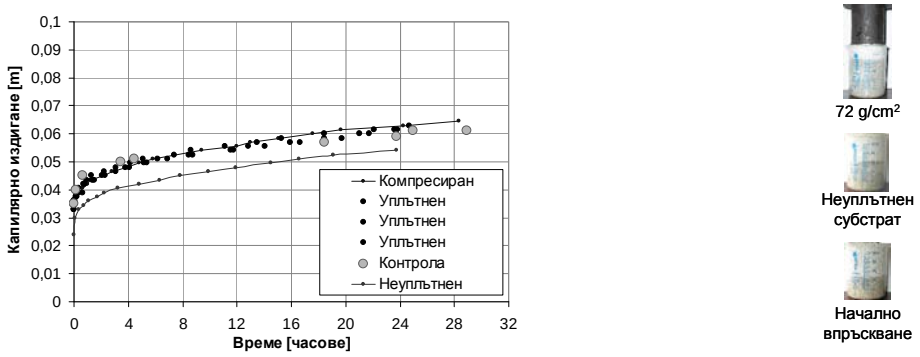
* Съгласно Захаров

b.

Фиг. 3. (а) Обемът на субстрата в СIII е представен в удобен вид за онагледяване на височината $h_0$.; б) Изчисления за $h_0$ при *бързо* впръскване на вода в секцията (водата заема само макропорите) и *бавно* впръскване на вода в секцията (водата заема макро- и микропорите)

В резултат на изчисленията е определено, че водата не е впръсквана бързо (теоретически моментално).

3. Определяне на плътността на субстрата, постигната при провеждане на контролния експеримент при 1-g (Фигура 4).




a. b.

Фиг. 4. (а) Графични резултати от серия експерименти за определяне на влиянието на плътността на субстрата върху капилярното издигане; (б) Височина на водния фронт при начално впръскване на вода $h_0$, крайно ниво при неуплътнен субстрат и крайно ниво при допълнителна тежест 72 g/m$^2$

4. За отчитане на текущата височина на гравитационната вода в макропорите на субстрата е избран метод за отчитане на нивото на водата в прозрачна тръбичка с опитно избран диаметър. Критерий при избора на вътрешния диаметър на тръбичката е равното ниво на свободната вода в макропорите и на водата в тръбичката.
5. Цифров фотоапарат Konica Q-M100 и камера Creative Vf0070 регистрират капилярното издигане и гравитационното спадане на водата във времето.

*Лабораторен експеримент 2011 г.*

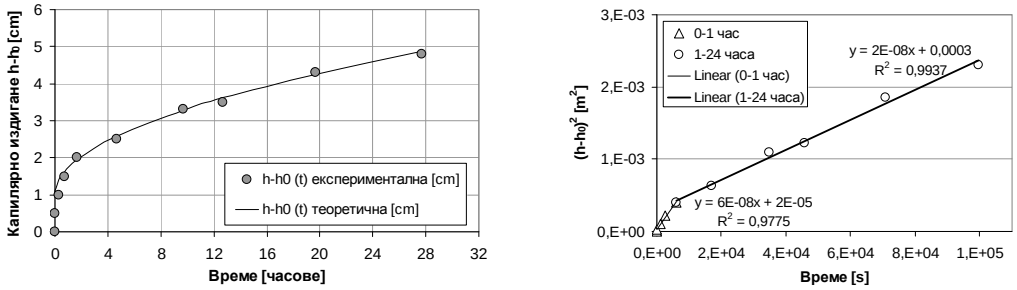
Експерименталната постановка включва: лабораторна чаша, в която е насипан и уплътнен субстрат „Балканин", фракция 2,5-3,2 mm; капилярна тръбичка, поставена зад мерната линийка на чашата; водоснабдителна система за подаване на вода с коригирано количество от 57 ml за достигане на начално ниво на отчет $h_0$ = 35 mm. След подаване на водата в продължение на около 15 s, започва едновременен отчет на нивото на капилярно издигане и на гравитационно спадащото ниво на свободната вода в капилярната тръбичка. Видеокамерата прави покадрови записи на двете нива с подходяща скорост. Общото времетраене на записите е около 24-28 часа. Всеки записан кадър се обработва за по-голям контраст на изображението и за по-точен отчет на достигнатите нива на водата.

От снетите данни се изчислява текущата разлика между нивото на капилярното издигане и на гравитационното спадане на водата за всяко отчетно време. Тази разлика се добавя към началното ниво $h_0$ и се построява прогнозната крива на капилярно издигане за 0-g. Получената крива се сравнява с данните за секция CIII на космическия експеримент „Субстрат".

**Резултати**

*Резултати от експеримент „Субстрат" (0-g и 1-g) 1985 г.*

След прилагане на математическия модел (уравнения 1 и 2) към резултатите от космическия експеримент, е проверена приложимостта на избрания модел, точността на визуалния отчет, направен от космонавтите и е определен коефициентът *K* (фигура 5) –




a. b.

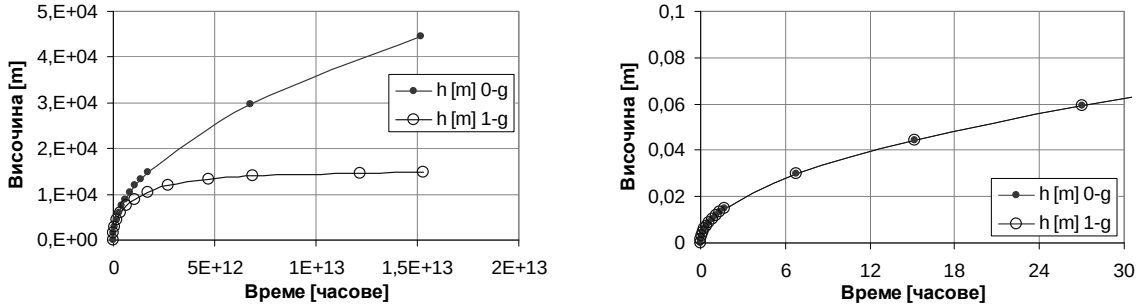
Фиг. 5. (а) Прилагане на модела h-$h_0$ = f(t) за K = 1,5.10$^{-8}$ m$^2$/s към данните от космическия експеримент от 1985 г.; (б) Проверка на приложимостта на модела (h-$h_0$)$^2$ = K.t за същите данни

След прилагане на уравнение (3) към данните от контролния експеримент се констатира, че при равни други параметри ($\sigma$, $\Theta$, $\eta$, $\rho$, $g$), еквивалентният радиус на капилярите е над 1 порядък по-малък от еквивалентния радиус, определен за космическия експеримент.

*Резултати от изчисления, съгласно теоретичния модел*

С помощта на уравнения (1), (2) и (3) са изчислени и построени кривите на капилярно издигане на вода в еквивалентен капиляр за 0-g и 1-g и еднакви стойности на параметрите $\sigma$=0,0728 N/m, $\eta$=0,001002 N.s/m$^2$, cos$\Theta$=1 и $r_e$=10$^{-9}$ m. Избраният еквивалентен радиус $r_e$ за тези изчисления е 1-2 порядъка по-голям от определените за горните два експериментални случая, което гарантира приложимост на резултатите при промяна на другите параметри (Фигура 6.а).

Двете теоретични криви, представени на фигура 6.б, съвпадат напълно при началните условия на експеримент „Субстрат" - височина на субстратния слой до 0,1 m и време до 30 часа. Този резултат показва, че съобщеното в [4] капилярно издигане при контролния експеримент от 1985 г. вероятно не отговаря на действителното.

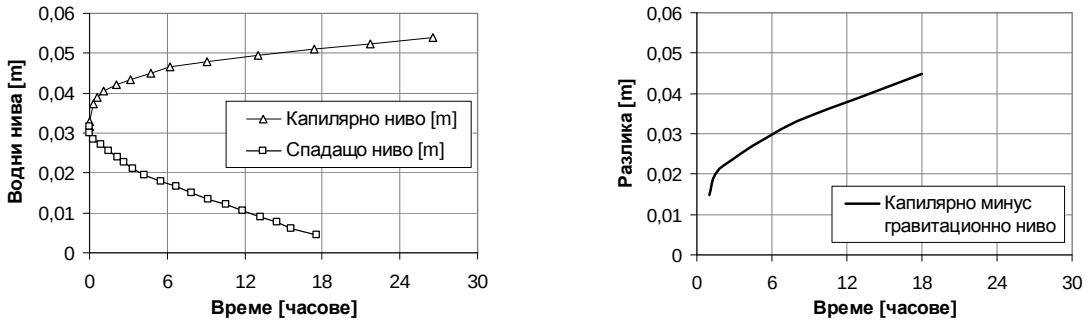



a. b.

Фиг. 6. Теоретични криви на капилярно издигане, изчислени с изразите (1), (2) и (3) при параметри: $\sigma$=0,0728 N/m, $\eta$=0,001002 N.s/m$^2$, cos$\Theta$=1 и $r_e$=10$^{-9}$ m; (а) Вид на кривите при неизчерпаем източник на вода и достигане на $h_{max}$ при 1-g; (б) Съвпадение на двете криви за време около 30 часа

*Резултати от лабораторните експерименти 2011 г.*

Новата функция при това измерване „Спадащо ниво на гравитационната вода във функция от времето" дава информация за текущата промяна на нивото $h_0$ по време на експеримента. Капилярните сили, които издигат водата в микропорите, трябва да преодоляват и текущото спадане на водата в „резервоара" [$h_0(t)$] и в резултат, реалното капилярно издигане представлява сумата между регистрираните височини на капилярно издигане и гравитационно спадане на водата от началното ниво $h_0$. Данните са представени на фигура 7.




a. b.

Фиг. 7. (а) Данни от лабораторния експеримент за динамиката на капилярното издигане на водата и на гравитационното спадане на нивото на свободната вода;
(б) Крива на реалното капилярно издигане на водата в субстрата

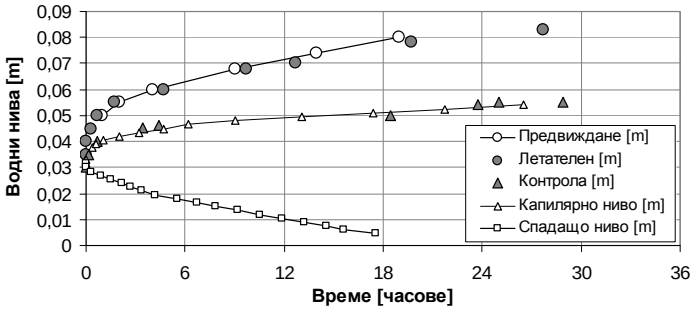
На фигура 8 са представени всички резултати от експерименти през 1985 и 2011 г. Както при оригиналния експеримент „Субстрат", така и при лабораторния експеримент не е правено повторение на проведените измервания за статистическа достоверност.

**Анализ на резултатите**

Славчев [2] коментира получените данни от двата експеримента 1985 г. и прави предположения за влиянието на повърхностното напрежение и на ъгъла на омокряне на водата върху зависимостта "дължина на капилярното придвижване на водата $h$ във функция от

времето *t*". По-малката височина на капилярното издигане на водата в Земния експеримент, спрямо космическия, е обяснена с влиянието на Земното ускорение.

Докладваните положителни резултати от допълнителните лабораторни експерименти представляват една проверка на издигнатата хипотеза и са стимул за продължаване на това изследване.




Фиг. 8. На една графика са представени резултатите от: космическия експеримент 1985 г. (Летателен), контролния експеримент в Москва 1985 г. (Контрола), лабораторния експеримент 2011 г. (Капилярно ниво, Спадащо ниво) и прогнозния резултат от 2011 г. за поведението на водата в безтегловност (Предвиждане)

Данните, представени на фигура 8, показват, че след допълнителни проверки на хипотезата, ще може да се предвижда поведението на вода при 0-g в порести среди, подобни на субстрат „Балканин", само от резултатите от аналогични измервания при 1-g. Такава възможност е достатъчно основание да се продължат изследванията в следните посоки:

1. Математическо описание на едновременните процеси на капилярно издигане и гравитационно спадане на водата.
2. Допълнителни повторения на лабораторния експеримент с тази фракция за получаване на статистическа достоверност.
3. Използване на по-точни методи и средства за достоверна регистрация на водните нива.
4. Проверка на хипотезата с помощта на данните за друга фракция (1,0-1,5 mm) на субстрат „Балканин" от експеримент „Субстрат" или с данни от други експерименти, проведени при 0-g.

**Заключение**

Въз основа на резултатите от един космически и Земен експерименти за определяне на динамиката на капилярно издигане на вода в пореста среда (субстрат „Балканин") и направените изчисленията с помощта на уравнения (1), (2) и (3) е издигната и проверена хипотеза за преобладаващо влияние на капилярните сили при издигането на вода в микропори с радиус до 1-2 μm и дебелина субстратния слой до 0,1 m. Получените данни и резултати от проведен допълнителен лабораторен експеримент показват добро съвпадение на предвиденото поведение на водата в безтегловност с данните от космическия експеримент „Субстрат" от 1985 г.

**Благодарност**

Авторът изказва благодарност на Диана Антонова от ИКСИ-БАН, Георги Василев от ИМ-БАН и Светлана Сапунова за тяхната ценна помощ при провеждането на лабораторните експерименти, обработката на информацията и критичния коментар на тази деликатна материя.

**Литература:**

1. Иванова, Т. Н., П. Т. Костов, Н. А. Кынчев, С. Г. Славчев, Исследование Гидродинамических Свойств Субстрата для Выращивания Растений в Условиях Невесомости, XX совещание ПДРГ по КБМ программы "Интеркосмос", Берлин, ГДР, 18-22.05.1987, стр. 191.
2. Slavchev, Sl., M. Gerdzhikova, Mathematical Modelling of the Moisture Transfer in a Substrate Medium under Conditions of Weightlessness, CLSR Space Physics Department, Preprint № CLSR-85-03, 1985.
3. Zakharov, S.B., Some Agro-physical Properties of the Balkanine Substrate for the Svet Greenhouse Regarding the Ground Stage of the Studies, Proc. Second Micro-Symposium "Svet-90", Varna, Bulgaria, October 5-11, 1990, pp. 56-66.
4. Иванова, Т., П. Костов, М. Герджикова, Н. Кынчев, И. Стоянов, Ю. Шайдоров, Г. Мелешко, Результаты исследования характеристик субстрата "Балканин" в условиях невесомасти, Доклад XIX-го Совещания ПДРГ по КБМ программы "Интеркосмос", Гавана, Куба, 5-12 апреля 1986, стр. 26.
5. Peiris, Tennakone, Rate of rise of a liquid in a capillary tube, Am. J. Phys. 48 (5), 1980, p. 415.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ПОВЕДЕНИЕ НА ДАТЧИКА ЗА ОТНОСИТЕЛНА ВЛАЖНОСТ НА ВЪЗДУХА В КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ „СВЕТ" ПО ВРЕМЕ НА 54 ДНЕВЕН ЕКСПЕРИМЕНТ В МИКРОГРАВИТАЦИЯ

**Пламен Костов**

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

***Ключови думи:*** *космическа оранжерия „Свет", орбитална станция „Мир", технологичен модул „Кристал", относителна влажност на въздуха, датчик, локално прегряване, преовлажняване.*

***Резюме:*** *Основна задача на първия етап от експлоатацията на космическа оранжерия „Свет", разработена в Института за космически изследвания - БАН, София, беше, да се потвърди нейната работоспособност на борда на орбиталната станция (ОС) „Мир". Някои особености от работата на апаратурата не са публикувани и обсъждани досега. Цел на това изследване е да се оцени поведението на датчика за относителна влажност на въздуха (ВВ) в условия на микрогравитация. Налични документи, проведени измервания и изчисления доказват, че датчикът ВВ е работил нормално през цялото време на космическия експеримент от 1990 г. Изчислено е, че в условията на принудителна вентилация (0,25 м/сек) в оранжерията, влажността на въздуха в зоната на растенията е практически равна на влажността на въздуха в ОС. За първи път се докладват данни от датчиците за температура ТВ2 и за влажност ВВ, които са регистрирали явленията „локално прегряване" (до 35ºС) и „локално преовлажняване" (до 90%) на въздуха в зоната на растенията в периода 41-43 ден от експеримента. Анализирани са условията за поява на тези явления. Констатирано е, че поради безотказната работа на по-голямата част от апаратурата, могат да бъдат изяснени някои детайли от работата на оранжерията, на поддържащия екип и на екипажа на ОС „Мир" по време на експеримента. Направен е извод, че при изработването и комплектуването на бъдещи изделия е необходим входящ контрол на всеки възел по предварително съгласувана методика.*

# AIR HUMIDITY SENSOR BEHAVIOR IN THE SVET SPACE GREENHOUSE DURING A 54-DAY MICROGRAVITY EXPERIMENT

**Plamen Kostov**

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

***Key words:*** *Svet space greenhouse, relative air humidity, sensor, Mir orbital station, Kristall technology module, local overheating and over humidity.*

***Abstract:*** *A primary goal of the first exploitation stage of the Svet Space Greenhouse, developed in the Space Research Institute – BAS, Sofia, was to verify the equipment operating efficiency onboard the Mir Orbital Station. Some special features of the hardware operation have not been published and discussed till now. The objective of this work is to assess the relative humidity (RH) sensor behavior under microgravity. Available documents, measurements and calculations suggest that the RH sensor functioned normally all the time during the 1990 space experiment. It was calculated that under the forced ventilation conditions in Svet (0,25 m/sec) the air humidity in the plant area was practically at the same level as in the Orbital Station environment. Experimental data from the temperature (AT2) and RH sensors, recording "local overheating" (up to 35ºC) and "local over humidity" (up to 90%) in the plant area at the 41-43rd day of the experiment are reported for the first time. The conditions in which these phenomena appear are analyzed. It was ascertained that because of the flawless equipment functioning some details in the hardware operation and the actions of the experiment supporting team and Mir space crew during the experiment can be explained. The conclusion was made that when such equipment is produced and assembled in the future input control of each assembly according to preliminary coordinated methods will be necessary.*

**Използвани съкращения**

| | |
|---|---|
| КО „Свет” | космическа оранжерия „Свет” |
| ОС „Мир” | орбитална станция „Мир” |
| ТМ „Кристал” | технологичен модул „Кристал” |
| МКС | Международна космическа станция |
| *ИМБП - МЗ, Москва | Институт медико-биологических проблем - Министерство здравоохранения |
| *ИФР - БАН, София | Институт по физиология на растенията - Българска академия на науките |
| *ИКИ - БАН, София | Институт за космически изследвания - Българска академия на науките |
| *ЦЛФХМ - БАН, София | Централна лаборатория по физикохимична механика - Българска академия на науките |
| ЛО-1, ЛО-2 | летателни образци № 1 и № 2 на КО „Свет”; № 2 е летял на ОС „Мир” |
| БУ | блок за управление на КО „Свет” |
| БВР | блок за развитие на растенията на КО „Свет” |
| БО | блок за осветление на растенията в КО „Свет” |
| ВС | вегетационен съд за развитие на корените на растенията |
| параметър „ВВ” | относителна влажност на въздуха в БВР |
| параметър „ТВ1” | температура на входящия въздух в КО „Свет” |
| параметър „ТВ2” | температура на въздуха в БВР на КО „Свет” |
| параметър „ППО” | продължителност на периода на осветление на растенията |
| АЦП | аналогово-цифров преобразувател в състава на БУ |

* Отбелязаните имена на институции се отнасят за 80-те години на XX век.

**Въведение**

През 80-те години на XX век беше извършена научноизследователска и проектно-конструкторска работа по създаването на КО „Свет”. Бяха произведени няколко пълни комплекта апаратура. През 1990 г. един от двата летателни комплекта (ЛО-2) беше монтиран на борда на ТМ „Кристал”, който беше изведен в орбита на 31 Май 1990 г. и присъединен към ОС „Мир” на 10 Юни 1990 г. Първият космически експеримент с КО „Свет” беше проведен в периода 15.06÷08.08 1990 г. Резултати от работата на КО „Свет” са докладвани в [1, 2].

Основна задача на първия етап от експлоатацията на КО „Свет” беше да се получи потвърждение за нейната работоспособност в космически условия и да бъдат оценени продуктивността и особеностите на онтогенезата и морфогенезата на растенията, отгледани в микрогравитация.

Данни за някои измервани параметри на околната среда в КО „Свет” не са съобщавани и анализирани в публикации. Например, поведението на датчика ВВ и данните, получени от него, не са обсъждани. Участниците в експеримента са приели, че данните от този датчик са неадекватни и вероятно той е повреден.

Цел на изследването е да се направи оценка на поведението на датчика ВВ в условия на микрогравитация, както и на останалите блокове на КО „Свет”, имащи влияние върху работата на този датчик. Публикуването на резултатите от това изследване е насочено към повишаване на качеството на работа при една бъдеща разработка.

Предмет на това изследване са телеметричните данни от първия космически експеримент с КО „Свет” през 1990 г., публикации за резултатите от експеримента, техническата документация на ЛО-1, ЛО-2 [3], прототипите на използваните в КО „Свет” възли и др., които съдържат информация за работата на датчик ВВ на Земята и в микрогравитация.

**Материали и методи**

Относителната влажност на въздуха в БВР е един от климатичните параметри в зоната на листата на растенията, който е наблюдаван и регистриран. Датчикът ВВ, заедно с датчик за температура ТВ2 и с датчик за осветление ППО, са монтирани в цилиндричен блок, който е съединен БО с висяща щанга (Фиг. 1). Вентилатор, разположен в БО, създава принудителен въздушен поток със скорост 0,2-0,3 м/сек през целия обем на оранжерията в посока отдолу нагоре. Блокът с датчиците е обдухван непрекъснато от влизащия в оранжерията въздух от ТМ „Кристал”, освен в случаите на първоначално зареждане на ВС с вода (Програма 2).

Датчикът ВВ е изцяло българска разработка и е проектиран от Христо Добрев, физикохимик в ЦЛФХМ при БАН. По-подробно описание може да бъде намерено в [4]. Датчикът е от потенциометричен тип. Той представлява две галванични клетки, едната от които е херметически капсулована при влажност 40%, а другата има пряк контакт с околния въздух. Двете клетки са свързани последователно и противофазно за температурна компенсация на изходния сигнал. Датчикът е покрит с въздухопропусклива хидрофобна материя. Неговите размери са - диаметър 6 мм и височина 12 мм.

а.

б.

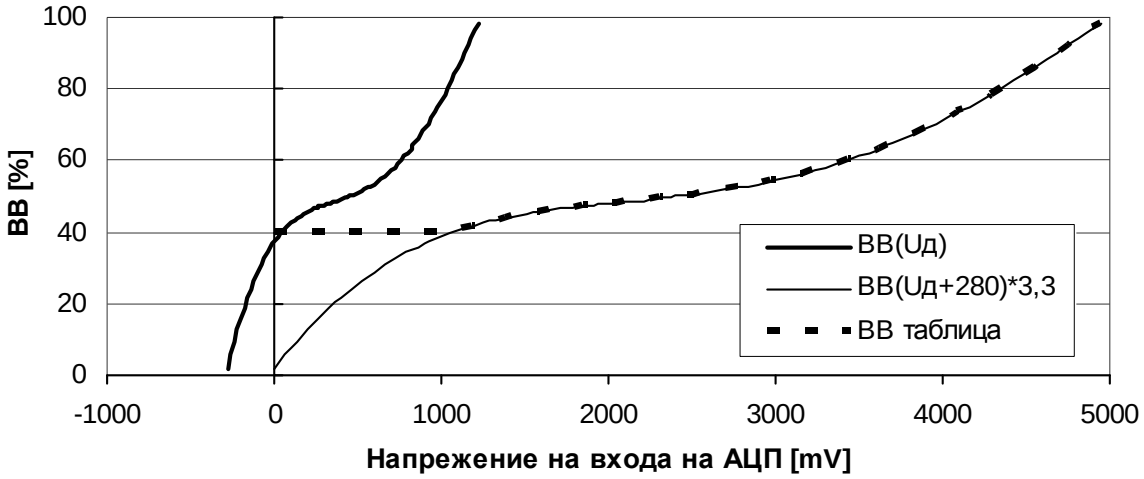
Фиг. 1. (а.) Поглед в камерата за развитие на листата в БВР и (б.) външен вид на блока с датчици ВВ, ТВ2 и ППО, монтиран на висяща щанга от БО, по време на бордовия експеримент

За снемане на градуировъчната характеристика на датчика беше проектиран уред за поддържане на постоянна относителна влажност на въздуха в една измервателна камера при различни температури на въздуха. С негова помощ беше определена преобразувателната характеристика на датчика ВВ = f($U_Д$), [5], която се описва с уравнението:

$$ВВ = B_0 + B_1.U_Д + B_2.(U_Д)^2 + B_3.(U_Д)^3 + B_4.(U_Д)^4,$$

където: $B_0$ = 37,2189266564; $B_1$ = 0,066654491889; $B_2$ = -1,583873690E-04;
$B_3$ = 1,88311E-07; $B_4$ = -5,7E-11; $U_Д$ - изходно напрежение на датчика в mV.

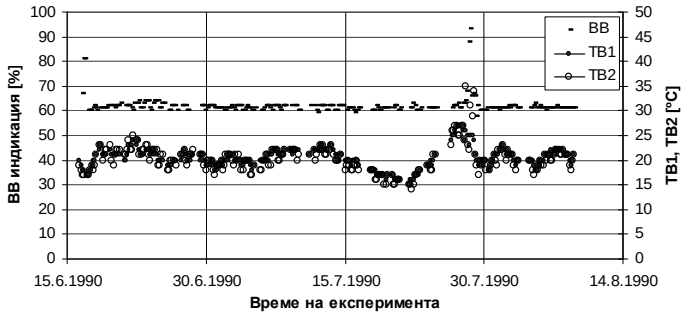
Стойностите на ВВ за всяка стъпка на $U_Д$ от 20 mV са записани в EPROM R.9.1. на БУ като електронна таблица за преобразуване на $U_Д$ в проценти ВВ (40-99%), фиг. 2 [ВВ($U_Д$)]. В процеса на лабораторните изпитания беше направено електронно отместване на $U_Д$ с +280 mV и последващо усилване 3,3 пъти, фиг. 2 [ВВ($U_Д$+280)*3,3]. Това нормиране на $U_Д$ се наложи поради факта, че част от характеристиката на датчика има отрицателни стойности на $U_Д$, а използуваният АЦП работи само с положителни входни напрежения в диапазона 0÷+5 V. Допълнително беше поставено изискване, входните напрежения $U_{вх-АЦП}$ от 0 до 1120 mV да се изобразяват и регистрират като 40% ВВ. Новата преобразувателна характеристика е показана на фиг. 2 [$ВВ_{таблица}$ ], а новата таблица замени първоначално записаната в EPROM R.9.1.




Фиг. 2. Развитие на калибровъчната характеристика на датчика ВВ

Оперативен контрол на летателния експеримент от 1990 г. е осъществен от екип руски учени, под ръководството на А. Л. Машинский в ИМБП, Москва, който анализира получената телеметрична информация от предходните 24 часа и предава команди до космонавтите с помощта на радиограми. Закъснението във времето, от възникване на извънредна ситуация до извършване на исканите промени в работата на КО „Свет", е 24-48 часа.

**Резултати от летателния експеримент 1990 г.**




Фиг. 3. Телеметрични данни на параметрите BB и TB2 в зоната на листата и на TB1 на входящия въздух в КО „Свет" от ТМ „Кристал" по време на летателния експеримент от 1990 г.

На фигура 3 е начертана графика на параметрите BB, TB1 и TB2 по получените телеметричните данни от КО „Свет" за целия космически експеримент - 16.06.÷08.08. 1990 г.

Данните за BB показват едно монотонно поведение със средна стойност 62% и малка динамика. Температурният датчик TB1 измерва температурата на въздуха в ТМ „Кристал" и ОС „Мир", която е поддържана около 20±3ºC, и регистрира една по-голяма динамика в периода 20-29 Юли, когато температурата в ТМ „Кристал" се понижава до 15ºC със скорост 1ºC/денонощие, след което бързо се повишава до 27ºC със скорост 2,4ºC/денонощие. Температурният датчик TB2 отчита сходни стойности с TB1, а в периода 27-28 юли регистрира локално прегряване на въздуха 35ºC в зоната на листата на растенията на КО „Свет".

**Анализ на резултатите и дискусия**

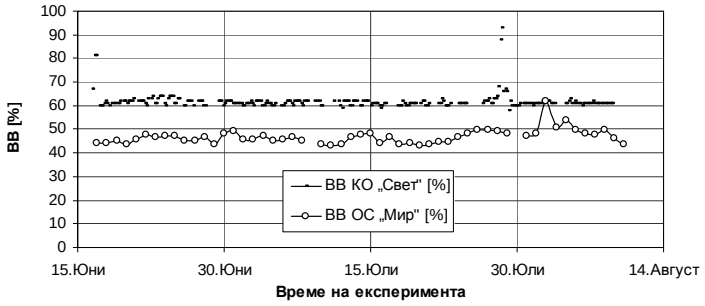
За проведеното изследване са използвани оригиналните телеметрични данни от КО „Свет" за летателния експеримент от 1990 г., научни публикации, протоколи от съвещания, от ПСИ и лична кореспонденция и др.

Данни за поведението на датчиците BB, монтирани в няколко комплекта КО „Свет", бяха потърсени в протоколите от изпитания ПСИ-1, ПСИ-2, актове за ремонтни дейности, електрически схеми на блоковете, обслужващи датчик BB, реалната макетна платка на нормиращия усилвател на датчика, която служи за еталон при изработването на летателните бройки. Изследваните документи показаха, че електронните елементи, монтирани на макетната платка съответстват на електрическите схеми, приложени в документацията на изделието. В документите на едно от изпитанията ПСИ-1 на ЛО-1 е записано разминаване в показанията на датчика BB и на еталонен психрометър над допустимото, което е наложило пренастройка на нормиращия усилвател на датчика.

Съществуват две независими информации за това, че на борда на руските орбитални станции от това време („Салют" и „Мир") е поддържана ниска влажност на въздуха. На съвещание в Москва през 1983 г. Машинский информира, че на станциите „Салют 6, 7" е поддържана влажност около 40%, неподходяща за развитието на висши растения. През 2001 г. д-р Новикова от ИМБП съобщи в разговор, че на обитаеми обекти (ОС „Мир", МКС) се поддържа ниска влажност с цел максимално забавяне на развитието на плесени и микроби.

С любезното съдействие на д.б.н. В. Н. Сычёв от ИМБП, Москва, бяха получени данни за влажността на въздуха на ОС „Мир" за времето на експеримента. Влажността е регистрирана в базовия модул на ОС „Мир", но специалистите са изразили увереност, че данните могат де се осреднят за целия комплекс.

На фигура 4.а. са представени данните за BB, регистрирани от служебната система на ОС „Мир" и от КО „Свет" за времето на експеримента. Може да се отбележи, че средната стойност на BB, поддържана на ОС „Мир", е била 46%±3%, с изключение на периода 2-4 август 1990 г., когато към ОС „Мир" е присъединен транспортният кораб ТМ-10 на следващата експедиция ЭО-7. Присъединяването е извършено от страната на модула „Квант-1", намиращ се на противоположния край на ОС „Мир" спрямо ТМ „Кристал". Вероятните вариации на BB в района на КО „Свет" са били по-малки от отчетените на ОС „Мир" в този кратък период от време. Освен това, за времето на експеримента не са провеждани експерименти с допълнителни източници на влага в ТМ „Кристал", а само експерименти с електрически пещи.

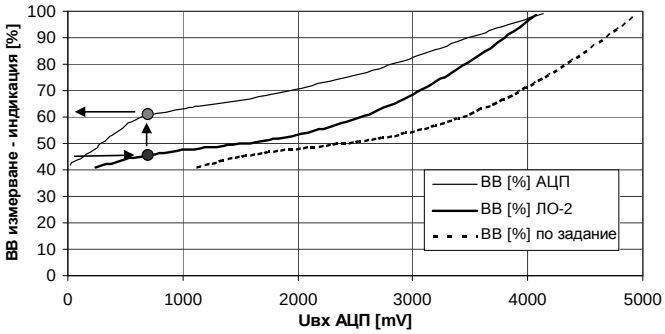



а. б.

Фиг. 4. (а) - Сравнение на данните за ВВ, регистрирани от КО „Свет" и от служебната система на ОС „Мир" и (б) - Оценка на влиянието на транспирацията и на евапорацията (Т,Е) върху повишаването на ВВ в зоната на растенията

За да се оцени влиянието на транспирацията от растенията и на евапорацията от ВС (Т,Е) върху повишаването на ВВ, са направени изчисления за водния баланс във въздуха в зоната на датчика (фигура 4.б.). Началните условия са: обем на зоната - 0,0225 $m^3$; скорост на въздушния поток - 0,25 m/s; влажност на входящия въздух в КО „Свет" $ВВ_{ВХ}$ - 46% при температура на въздуха ТВ1 - 21ºС; среден разход на вода (РВ) - 0,2 л/денонощие. Изчисленията показват, че ВВ се повишава с 0,5% вследствие на допълнително внесените водни пари от транспирация и евапорация в зоната на датчика. Следователно, показанията на датчика представляват стойностите на ВВ в ТМ „Кристал", освен в случаите, когато вентилаторът на КО „Свет" е изключен (фиг. 6).

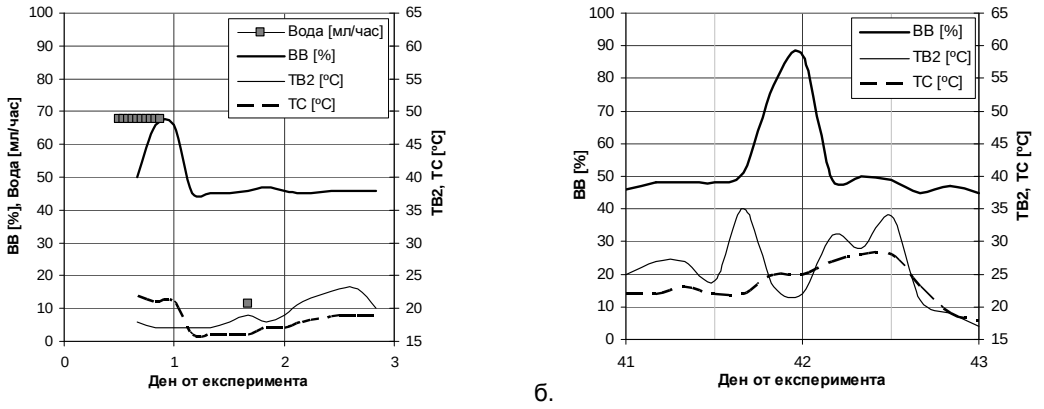
Анализът на резултатите от направените проучвания показва, че регистрираната ВВ от датчика на КО „Свет" е нереално висока и следва да се потърси причината за това. За целта беше проверен записът на електронната таблица за преобразуване на $U_Д$ [mV] във ВВ [%], съгласно фигура 2, направен в EPROM R.9.1. на БУ. Резултатите от измерването са представени на фигура 5. Получената крива [ВВ [%] АЦП] съществено се различава от необходимата [ВВ [%] по задание]. Това разминаване на двете таблици вероятно е наложило на някакъв етап от изпитанията на ЛО-2, електрическият сигнал от датчика да бъде отместен с около 1000 mV наляво, [ВВ [%] ЛО-2]. Само в такъв случай, реални стойности на ВВ около 46% могат да бъдат регистрирани от КО „Свет" като 62%. Стрелките на фигура 5 показват пътя на тази трансформация.




Фиг. 5. Съвместна графика на електронната таблица на преобразуване [ВВ [%] АЦП], записана в EPROM R.9.1., на калибровъчната крива на [ВВ [%] по задание], и на вероятно отместената характеристика [ВВ [%] ЛО-2] на датчика с около 1 V, наляво от необходимата по задание

Записът на неточни стойности за калибровъчната характеристика в EPROM R.9.1. на БУ е най-вероятната документирана причина за несъответствието между реално измерената и регистрираната стойности на ВВ. Това може да обяснени и други случаи по време на разработката, при които, предварително нормираното изходно напрежение на всеки датчик се е налагало да бъде променяно, за да се сближат показанията на контролен психрометър с тези на датчика. Такива корекции са създали впечатление за неточна работа на датчика ВВ, но причината за това не е била потърсена.

Резултатът от направената оценка дава увереност, че телеметричните данни за ВВ могат да бъдат преизчислени съгласно кривите от фигура 5, а така получената информацията от датчика ВВ на КО „Свет" да бъде приета за достоверна. Част от преизчислените стойности на ВВ са представени графично на фигура 6.




Фиг. 6. (а) - Повишаване на ВВ по време на начално овлажняване на субстрат „Балканин" с 68 мл/час вода в продължение на 10 часа; (б) - Явленията „локално прегряване и преовлажняване" на въздуха в зоната на растенията, регистрирани от датчиците ТВ2 и ВВ по време на температурна инверсия

Графиката на фигура 6.а. представя ВВ по време на изпълнение на „Програма 2" за първоначално овлажняване на субстрата. Тази програма се характеризира с инжектиране на 680 мл вода в обема на субстрат „Балканин" (среда за развитие на корените на растенията във ВС), в продължение на 10 часа. Характерно за субстрат „Балканин" е повишаването на неговата температура по време на първоначално овлажняване, вследствие на химически реакции от взаимодействието на химическите вещества, с които и обогатен субстрата, с инжектираната вода. По време на изпълнението на тази програма, вентилаторът на КО „Свет" е изключен. Така, въздухът в БВР остава изолиран от средата на ТМ „Кристал" и се създават условия за получаване на локална температурна инверсия - температурата на влажния субстрат ТС става по-висока от температурата на въздуха ТВ2 в зоната на листата над ВС. ВВ се е повишила с 20-25% за около 12 часа по данните от датчика ВВ. Това поведение на ВВ в микрогравитация е сходно с всички измервания на ВВ при първоначално зареждане на субстрат „Балканин" с вода, документирани при изпитанията ПСИ на КО „Свет" на Земята.

Графиката на фигура 6.б. показва регистрираното от датчика ВВ явление „локално преовлажняване" в зоната на листата на растенията. При една подадена неточна команда от наземния екип, обслужващ експеримента, и последвалото неправилно изпълнение на тази команда, космонавтите изключват всички изпълнителни механизми на КО „Свет", с изключение на осветлението. При отсъствие на принудителна вентилация в КО „Свет", осветлението от БО повишава температурата ТВ2 в зоната на листата над допустимата +32ºС и автоматика изключва БО. Осветлението отново се включва при понижаване на температурата ТВ2 до +29ºС. Това се повтаря няколкократно. В същото време, температурата на мокрия субстрат ТС във ВС с обем 10 $дм^3$ непрекъснато се повишава и в определен момент тя превишава температурата на въздуха ТВ2. При получената температурна инверсия започва интензивно изпарение на вода от мокрия субстрат през всички отвори на ВС. Този пик във влажността (до 90%) е отчетен от датчика ВВ. Явлението е регистрирано по време на едно критично съвпадение на технически и организационни проблеми на борда на ОС „Мир", благодарение на датчика ВВ.

Условията за появата на плесен върху повърхността на ВС, [6], наблюдаваната от космонавтите веднага след описаните по-горе локално прегряване (35ºС) и преовлажняване (89%) с продължителност около 30 часа, сега могат да бъдат обяснени по-добре.

Намерената техническа причина за неточната регистрация на данните от датчика ВВ, дава основание да се допусне, че са съществували и други подобни обстоятелства, които да обяснят понижената динамика в показанията на датчика в областта на ниска влажност (под 45%). За това, обаче, не бяха намерени документирани факти.

**Заключение**

Въз основа на документи, проведени измервания и изчисления може да се твърди, че са намерени доказателства, които да потвърдят нормалната работа на датчик ВВ за цялото време на космическия експеримент от 1990 г. Благодарение на безотказната работа на датчиците ТВ1, ТВ2, ТС, ВВ и ППО могат да бъдат изяснени някои детайли от работата на КО „Свет", поддържащия екип и екипажа на ОС „Мир". Регистрирани са явленията „локално прегряване и преовлажняване" на 42-ия ден от експеримента и са анализирани условията за тяхната поява.

Може да се направи извода, че при изработването и комплектуването на бъдещи изделия е необходимо да се осъществява задължителен входящ контрол на всеки възел от апаратурата по предварително съгласувана методика.

**Благодарност**

Авторът изказва благодарност на Владимир Н. Сычёв от ИМБП, Москва, Георги Василев от ИМ-БАН, Диана Антонова и Светлана Сапунова от ИКСИ-БАН, за тяхната ценната помощ и подкрепа при издирването и анализа на голям обем информация, част от която е представена в тази публикация.

**Литература:**

1. Berkovich, Y. A., T. A. Derendyaeva, I. E. Ivanova, A. L. Mashinskiy, G. I. Meleshko, T. N. Ivanova, Preliminary Results at the First Stage of the Svet Space Greenhouse Exploitation in Space Flight, Second Micro-Symposium „Svet-90", Varna, Bulgaria, October 5-11, pp. 25-36, 1990.
2. Ivanova, T. N., I. W. Dandolov, First Telemetric Data Processing and Brief Analysis of Svet Greenhouse Operations on Board Mir Space Station, Second Micro-Symposium „Svet-90", Varna, Bulgaria, October 5-11, pp. 37-46, 1990.
3. Техническое задание КМ 01.010.00.00 ТЗ, (редакция 4), Аппаратура Оранжерея „Свет", 16.05.1989 г, архив на секция „Космически биотехнологии" (КБ).
4. Ivanova, T. N., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, H. S. Dobrev, I. W. Dandolov, Sensors and Methods for Measurements of the Environment Parameters in Svet Space Greenhouse, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, Tome 45, № 11, pp. 55-58, 1992.
5. Техническо задание за разработка на микропроцесорна система за КО „Свет", архив на секция „КБ".
6. Обсъждане на резултатите от летателния експеримент с КО „Свет", Втори микро симпозиум „Свет-90", Варна, 5-11.10.1990, архив на секция „КБ".

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# FROM TECHNOLOGIES TO SERVICES: THE TELEHEALTH SERVICES CODE OF PRACTICE FOR EUROPE

**Malina Jordanova**

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

***Keywords:*** *Telemedicine, European Project, Best Practices*

***Abstract:*** *The presentation outlines the progress of the TeleSCoPE project (Telehealth Services Code of Practice for Europe).*

*The project reflects the desirability of defining the standards and a "Code of Practice" at European level that can coordinate the many devices and services that already allow a good application of telemedicine and remote monitoring, in particular for patients with chronic disease.*

*In this respect, the Telehealth Services Code of Practice for Europe that will be published in 2013, will provide a clarity of definitions, references to standards, some guidelines, good practices, the ability to test and relative test levels as well as respond to requests for training and education, and explicitly support the development of eHealth in all EU member states.*

# ОТ ТЕХНОЛОГИИТЕ КЪМ УСЛУГИТЕ: КОДЕКС НА ДОБРИТЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИ ПРАКТИКИ В ЕВРОПА

**Малина Йорданова**

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

***Ключови думи:*** *Телемедицината, европейски проект, добри практики*

***Резюме:*** *Докладът очертава напредъка на проекта TeleSCoPE (Telehealth Services Code of Practice for Europe).*

*Проектът отразява необходимостта от определяне на стандарти и "Кодекс на добрите практики" на европейско ниво, за да могат да се координират множеството устройства, които вече са налични и позволяват едно по-добро прилагане на телемедицината и дистанционно мониториране, особено на пациенти с хронични заболявания.*

*В това отношение, "Кодексът на добрите практики" на проекта TeleSCoPE, който ще бъде публикувана през 2013 г., е от изключително значение, защото ще осигури яснота на терминологията и стандартите, ще включва редица насоки и примери за добри практики, начините за тестването им и относителните нива на изпитване, както и ще отговаря на исканията за обучение и квалификация, и ще спомогне за развитието на електронното здравеопазване в държавите-членки на ЕС.*

## Introduction: Telehealth and Related Terms

Telehealth is “the means by which technologies and related services at a distance are accessed by or provided for people and/or their careers at home or in the wider community, in order to facilitate their empowerment, assessment or the provision of care and/or support in relation to needs associated with their health (including clinical health) and well-being. Telehealth always involves and includes the service user or client. It includes also remote patient management” (TeleSCoPE, 2011). This term has been used recently in addition to the two other phrases - telemedicine and eHealth.

“Telemedicine” is used to describe the application of information and communication technologies (ICT) in healthcare. Defined as an application of ICT to provide and support healthcare and exchange healthcare information when a distance separates the participants, it is a combination of two Greek words τήλε = tele - meaning “at a distance” and “medicina” or “ars medicina” meaning

“healing”. The introduction of the word telemedicine is ascribed to Thomas Bird, who in late 1960’s had used it in order to illustrate health care delivery, where physicians examine patients at a distance through the use of telecommunications technologies. In 1980’s and 1990’s multiple working definitions of telemedicine were introduced. Some of them are very wide such as “something to do with computers, people and health”, others – extremely narrow e.g. “the healthcare industry’s component of business over the Internet”.

With more involvement of the electronic communication systems, the major International Organizations - (WHO), European Union (EU), International Telecommunication Union (ITU) and European Space Agency (ESA) - have officially adopted the denomination "eHealth". "eHealth refers to the use of modern information and communication technologies to meet the needs of citizens, patients, healthcare professionals, healthcare providers, as well as policy makers“ (EU, 2003).

In 2005, the World Health Assembly recognized eHealth as the way to achieve cost-effective and secure use of ICTs for health and related fields, and urged its Member States to consider drawing up long-term strategic plans for developing and implementing eHealth services and infrastructure in their health sectors.

What is the accurate terminology? Unfortunately, to this very moment, the terminology has neither been agreed in Europe nor at worldwide level. Paradoxically even between and within the countries from EU different terms are used to describe one and the same service. Positions differ and the preferences are usually influenced by individual experience, personal and professional viewpoints. Thus for some authors telemedicine and eHealth are synonyms. Others accept that eHealth is a broader term and includes telemedicine. A third group separate the terms, accepting that telemedicine incorporates telecardiology, teleradiology, telepathology, tele-ophthalmology, teledermatology, telesurgery, tele-nursing, etc, while eHealth comprises of e-Santé, Information and Communication Technologies in health (ICT-Health), all types of health communication services, PACS, patient information systems, e-education, e-prescription, etc.

No doubt, telehealth is the broadest possible expression when the support of users/citizens is concerned.

**The TeleSCoPE Project**

*Consistency with EU policy*

“Telehealth Services Code of Practice for Europe” or shortly TeleSCoPE is the title of an ongoing project, funded under the European Commission (EC) “Program of Community Action in the Field of Health”. This is EC main instrument for implementing the EU health strategy and is focused on improving citizens’ health security; promoting health, including the reduction of health inequalities and generating and disseminating health information and knowledge throughout the Community.

TeleSCOPE directly responds to the EC Action Point (in COM2008:689) to “improve confidence in and acceptance of telemedicine” as well as to EC and national agendas (i2020). It also contributes to the Action Points to collect “good practice on deployment of telemedicine services” and the addressing of issues (requiring for member states) around accreditation, privacy and data protection.

The project also fits with European Union initiatives promoting healthy lifestyles, healthy workforce and healthy life-years, social inclusion and engagement, economic and social development, information and communication technology application and the co-ordination of policies and programmes within member states. The context includes i2020, the Ageing Well platform, the eHealth Action Plan, the Green Paper COM2008:725 on a European Workforce for Health, to list some.

In addition, the project supports EU strategy of “moving EU towards a “European eHealth Area” by coordinating actions and promoting synergies between related policies and stakeholders, so as to develop better solutions, prevent market fragmentation and disseminate best practices” and more specifically the EU strategy in:

- Setting up health information networks between points of care to coordinate reactions to health threats;
- Ensuring online health services such as information on healthy living and illness prevention and
- Developing teleconsultation, eReferral and eReimbursement capabilities.

*Project objectives are:*

- To analyze the existing terms in the field of Telehealth and its nearby areas and to present to experts an arrangement of concepts and a basis for taxonomy of subsequent activities;
- To identify potential users, user groups and other stakeholders of Telehealth applications;

- To gather information regarding the effectiveness, costs benefits and financial aspects of different forms of Telehealth;
- To identify the technological solutions;
- To analyze the decisions and results that are advertised as examples of good practice;
- To review existing standards and their application;
- To identify legal and ethical principles for applying any forms of Telehealth.

The project relates to an understanding of telehealth services addressing five areas:

- Response and event recognition (using social alarms, fall and seizure detectors),
- Medication compliance (using pill dispensers, pagers, automated prompting),
- Care management (activity monitoring and assessing),
- Disease management (vital signs monitors),
- Health and fitness / Lifestyle (telephone and video consultations).

The context is one where telehealth is seen as facilitating delivery of health related care and support services in people's homes.

The primary objective of TeleSCoPE is to develop a comprehensive Code of Practice for Telehealth Services.

The reason to choose such a goal is that the need for telehealth responds to most people's wish to stay at home. Telehealth contributes to the growing needs of people with chronic and long-term conditions (by for example making sure that hospital or institutionally based services are better targeted); and to the preventative health agenda (by helping people to better manage their own health).

The aims of the project are to influence European-wide confidence and acceptance by influencing common approach on political level (harmonization), semantic level (agreeing common priorities), level of education and awareness raising (evaluation, monitoring and analysis and reflection on good practice). In more general terms, TeleSCoPE will, through establishing service standards, help establish relationships of trust between patients and providers and contribute to overall health and well-being. The standards will provide a quality benchmark for service regulation in EU member states.

**Material and Method**

A robust, but simple, methodology is proposed. The main components of the methodology relate explicitly to project objectives and are as follows:

- Drawing together the evidence base;
- Developing the Code;
- Validating the Code;
- Publishing the Code and
- Establishing the prerequisites for mainstreaming the Code.

**The Outcomes**

A precondition of developing the European Telehealth Service Code of Practice is the shared understandings of the sometimes confusing terms as telemedicine, telehealth, eHealth, now extending to telecare, mHealth (mobile) and uHealth (ubiquitous health) (Fisk, 2010). The task is already achieved and the results are the following documents (Foundation papers) (Fig. 1):

- Foundation paper 1: Glossary of Terms;
- Foundation paper 2: Ethics and Good Practice;
- Foundation paper 3: Overview of Literature.

They all are available for free at the project website.

The preliminary draft of the Code is also ready and available on the website http://www.telehealthcode.eu/component/content/article/70. This Code of Practice provides a framework by which service providers in all 27 member states of the European Union can aspire to or ensure the maintenance of minimum standards for telehealth services. It also gives the bases for regulation of telehealth services through appropriate monitoring and auditing. Thus the Code helps to nurture trust in a context of high quality telehealth service provision.

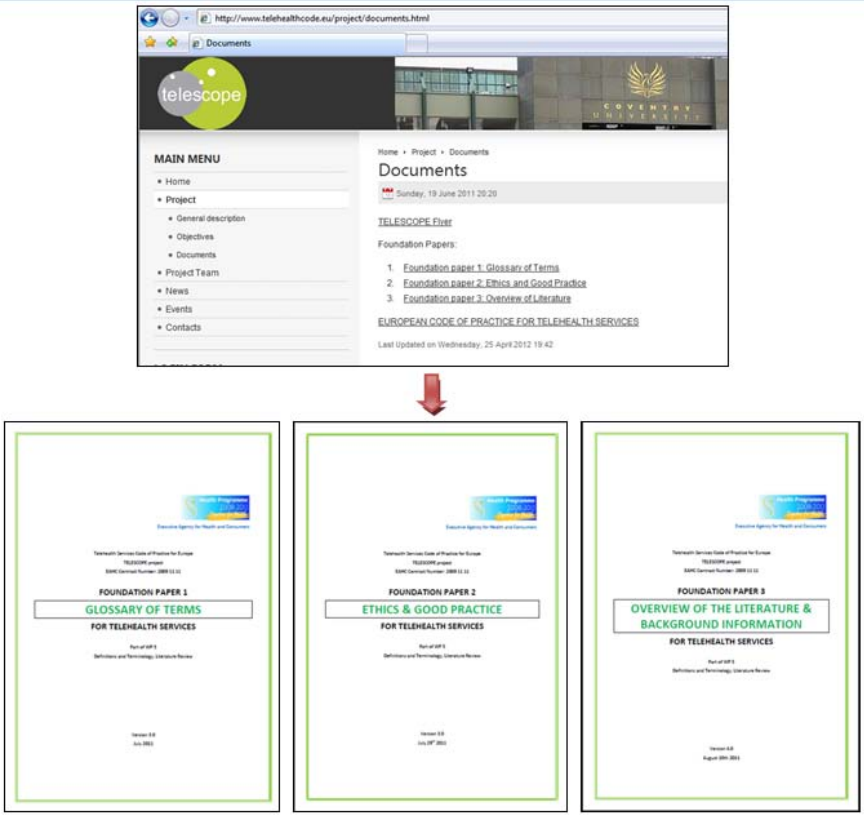



Fig. 1. Foundation papers available at www.telehealthcode.eu/project/documents.html

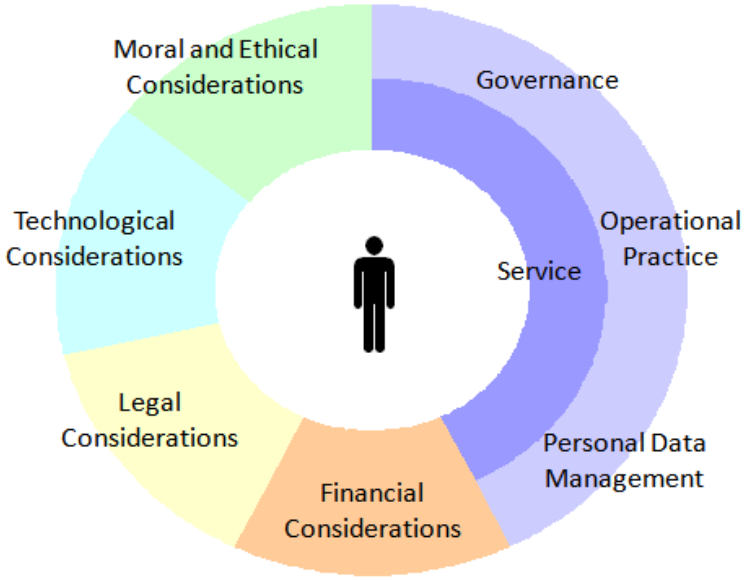



Fig. 2. Scheme of the Code (Fisk, Roze, 2011)

The critical areas that the Code is focusing on are outlined on Fig. 2. The person who accesses telehealth services is represented by the figure at the centre. This position symbolizes the paramount importance of service users. Codes items are grouped in the following subdivisions:

**Technology consideration** – these includes from open source solutions to hybrid decisions. The main questions to be answered within this area are:

Is the chosen technology adequate for the purposes? Is it safety? What about its configuration? Are the range of choice and the personal control satisfactory? Is the interoperability a reality? Are the consumer choices and needs considered?

**Data management** is the next section. This is extremely sensitive problem as all data related to health issues are in fact personal data and have to be managed rather carefully. The security and confidentiality of personal data are of top priority. General rules for access and management of data as well as of the level of technology expertise of the staff dealing with personal data are proposed.

**Regulatory challenges** are treated in a separate part. Regulations are important as despite of wide discussions and decades of investment in Telemedicine/eHealth European Union has not yet adopted specific eHealth regulations valid for the entire community. On the other hand, the increasing mobility of EU citizens makes it a must to ensure quality medical care beyond national borders. That's why EU-27 and the members of the European Economic Area (30 countries) adopted, on 19 April 2007, a common declaration on their commitment to pursue structured co-operation on cross-border electronic health services across Europe. Telemedicine/eHealth/Telehealth services are partially included in two important documents – the European Innovation Partnership announced in October 2010 and especially in Digital Agenda for Europe, adopted in May 2010 by the European Communication. Developing the Telehealth Service Code of Practice, the project is facilitating the development of pan European regulations in telehealth.

The code is also focusing on the **Governance** and more specific on:

- Clear and adequate management structure: How determined it? What components in must include?
- Business continuity plan and considerations of any requirements for the plan content;
- Sustainability of the telehealth service.

Last but not least the Code discussed the main regulations for the **Operational Practice,** including:

- Sufficiency and number of qualified staff;
- Qualifications, training, skills of the staff;
- Attitudes and Ethos, customer skills, etc.
- Timely action on receipt of information;
- Record keeping, protocols for informed consent, etc.

The draft of the Code is opened to public. Everyone who is interested may read it and post his/her remarks or suggestions using the online questionnaire at https://www.surveymonkey.com/s/9KQ6MSM.

Till the end of 2012 it will undergo a validation in several EU countries. After reduction and adaptation, based on the validation results and received recommendations, the final version will be ready and has to be published in April 2013.

## Conclusion

The Telehealth Services Code of Practice for Europe seeks to support the development and recognition of good practice in telehealth services. That is why it has a 'dual focus' and embraces services that are concerned with, on the one hand, personal wellness (well-being), lifestyles and preventative health; and with, on the other hand, health in its more clinical sense.

The development of the Code will help in building trust and establish quality standards within EU, will offer a framework on basis of which auditing and certification can take place and will support the wider application of telehealth services for the benefits of all members of the European society.


## Acknowledgements

This project is supported by Grant No. 20091111 awarded by the EC "Executive Agency for Health and Consumers".


## References:


1. EU Ministerial Declaration, eHealth 2003, High Level Conference, Brussels 22 May 2003, Retrieved May 21, 2011 from http://europa.eu.int/information_society/eeurope/ehealth/conference/2003/index_en.htm.
2. Fisk, M. Telecare and Telehealth: Social Change and Service Developments in UK and the European Union, Global Telehealth 2010 - GT2010, 15th International Conference ISfTeH and 1st National Conference ATHS, Perth, Australia, 10-12.11.2010.
3. Fisk, M. J., R. Roze. TeleSCoPE, Telehealth Workshop, TSA Conference, London, UK, 16.11.2011.
4. TeleSCoPE Foundation paper 1: Glossary of terms for telehealth services, 2011, Retrieved September 9, 2011 from http://telehealthcode.eu/images/stories/telehea/pdf/fp1_glossary_of_terms_v3_final.pdf.

# CEREBRAL PATHOLOGY AND SOLAR ACTIVITY

**Malina Jordanova[1], Tanya Zenchenko[2,3], Irina Stoilova, Tamara Breus[2], Yuri Gurfinkel[2, 4], Dimitar Maslarov[5]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Space Research Institute – Russian Academy of Sciences*
*[3]Institute of Theoretical and Experimental Biophysics – Russian Academy of Sciences*
*[4]Central Clinical Hospital, GSC Russian Railways Moscow*
*[5]First Municipality Hospital, Sofia*
*e-mails: mjordan@bas.bg; zench@mail.ru*

***Key words:*** *cerebro-vascular pathology, ischemic cerebral stroke, cerebral hemorrhages, transient cerebral cardiovascular conditions, geomagnetic activity*

***Abstract:*** *The paper describes the strategic goals as well as first results of an ongoing project designated as "Heliobiology". The latter has started at the beginning of 2011 and will end in fall 2015. The project reflects the intense interest towards the influence of solar activity and meteorology on the activity of human brain. The project aims to study:*

- *The putative relationships between some solar activity indexes and meteorology factors on the one hand and the changes in several psycho-physiological parameters in healthy volunteers as well as the occurrence of cerebral pathology on the other;*
- *The possible lag between the time of manifestation of cerebrovascular accidents, if any, and the geomagnetic indexes;*
- *The relation between the cerebral vascular pathology (ischemic or hemorrhagic cerebral infarction) and the stages of magnetic storms as there are data that during geomagnetic disturbances the microcirculation parameters undergo rapid changes from increased coagulation.*

# ВЛИЯНИЕТО НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ НА ЧОВЕШКИЯ МОЗЪК

**Малина Йорданова[1], Таня Зенченко[2,3], Ирина Стоилова, Тамара Бреус[2], Юри Гурфинкел[2,4], Димитар Масларов[5]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт за космически изследвания – Руска академия на науките*
*[3]Института по теоретична и експериментална биофизика - Руска академия на науките*
*[4]Централна клинична болница – Руски железници в Москва*
*[5]Първа градска болница, София*
*e-mails:mjordan@bas.bg; zench@mail.ru*

***Ключови думи:*** *мозъчно-съдова патология, исхемичен и хеморагичен инфаркт, преходни нарушенич на мозъчното кръвообращение, геомагнитна активност*

***Резюме:*** *Статията представя целите и първите резултати от текущ проект, с краткото название "Хелиобиология". Проектът започна през 2011 г., ще приключи в края на 2015 г. и отразява интересът към влиянието на слънчевата активност и метеорологичните фактори върху дейността на човешкия мозък. Проектът има за цел да проучи:*

*• Вероятната връзка между някои индекси на геомагнитната активност и метеорологични фактори, от една страна и промените в редица психо-физиологични параметри при здрави доброволци, както и поява на церебрална патология, от друга;*

*• Възможното забавяне между времето на проявление на мозъчно-съдови инциденти, ако има такива, и геомагнитните индекси;*

*• Връзката между мозъчната съдова патология (исхемичен или хеморагичен мозъчен инфаркт), както и етапите на магнитни бури, тъй като има данни, че по време геомагнитни смущения микроциркулаторните параметри биват подложени на бързи промени от увеличената коагулация.*

## Introduction

Acute cerebro-vascular disease put significant pressure on society, medical systems and family budgets. This has led to the study of a broad range of possible physiological and environmental links in the hope of finding and developing better prevention measures against the disease.

It may seem rather unusual to suggest a possible links between cerebral functions and cerebral pathology at one hand and events in the heavens on the other, as for example between cerebral accidents and solar and/or geomagnetic activity, but a number of publications reveal that such link may exist although we still do not know the exact mechanisms of these relationships. One of the first known works on the topic was published in 1934 by Dull and Dull (after Mishlove, 1997). The paper showed a striking correlation between incidents of human illness and death during periods of sharp geomagnetic disturbances.

In brief, it is already accepted that extremely high as well as extremely low values of geomagnetic activity seem to have adverse health effects (Gurfinkel 2004, Persinger 1988, 2004). When brain function is concerned both animal studies and research on humans support the hypothesis for a possible correlation between mental health and solar activity. While it is easier to perform experiments on animals, observations on humans are not so many. The main reason is that in order to demonstrate the potential correlations a large scale research, including hundreds or even thousands of subjects, has to be performed. Despite of the constrictions, available data revealed that:

- A subset of the human population (10-15%) is a bona fide hypersensitive and predisposed to adverse health problems due to geomagnetic variations (Palmer et al., 2006; Lipnicki 2009; Mulligan et al. 2010; 2012) ;

- A positive correlation between days of geomagnetic intensity and the number of persons admitted to a psychiatric hospital was demonstrated based on years research at the Veterans Administration Hospital in Syracuse, New York (Friedman et al. 1963, Becker 1969);

- A 36.2% increase in the number of men admitted into hospital for depression in the second week after geomagnetic storms was revealed in another study (Royaume-Uni, 1994);

- A correlation between peaks in suicide numbers and geomagnetic activity (Ap index) was found in an Australian study. The correlation was gender dependant (Berk et al. 2006) and confirmed by a review of 13 years suicide rates in South African. The latter also suggested a link between suicides and magnetic storms (Gordon & Berk, 2006);

- Heliogeophysical factors are considered as possible triggers of suicide terroristic acts, too (Grigoryev et al. 2009);

- Larcan et al. (1982) revealed correlations between climatic parameters, the parameters of geomagnetic activity and the occurrence of acute neurological vascular accidents (thrombosis, hemorrhages);

- Several publications on a large scale studies (Stoupel et al. 1994; Mikulecky & Střeštнk 2007) disclosed that the periodicities of cerebral infarction, cerebral hemorrhage and subarachnoid hemorrhage episodes, resembled the periodicities found in the solar and geomagnetic activity. The authors reported that the increased intensity of the geomagnetic parameters appeared to be significantly connected with decreased occurrence of cerebral infarctions, and vice versa.

The aim of this paper is to describe in brief the first data obtained as part of an ongoing project. The project has started in 2011 and will end in fall 2015 and reflects the intense interest towards the influence of solar activity and meteorology on human brain. The project is a continuation of previous efforts of the partners to study the relationship between geomagnetic activity and human physiology.

## The Project

The project aims to study:

- The putative relationships between some solar activity indexes (Sunspot numbers, F10.7 index, Ap index, etc) and meteorology factors and the occurrence of cerebral pathology;
- The possible lag between the time of manifestation of cerebrovascular accidents, if any, and the geomagnetic indexes;
- The relation between the cerebral vascular pathology (ischemic or hemorrhagic cerebral infarction) and the stages of magnetic storms as there are data that during geomagnetic disturbances the microcirculation parameters undergo rapid changes from increased coagulation (i.e. increased probability of thromboses) to decreased viscosity (i.e. increased probability of hemorrhages) (Gurfinkel 2004);
- The partners also plan to follow the changes in cerebro-vascular morbidity based on daily changes of solar activity and meteorology data at the time of analyses.

Project partners are:

- Space and Solar-Terrestrial Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria;
- First Municipality Hospital, Sofia, Bulgaria;
- Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
- Institute for Population and Human Studies, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria and
- Central Clinical Hospital GSC Russian Railways Moscow, Russia.

**Material and Method**

The focus during the first stage of the project, that is reported here, is to reveal whether there is a similarity in the pattern of changes in geomagnetic activity and cerebral vascular disturbances. If a similarity is observed any further research on the project topic will be justified. If such similarity does not exist, project goals have to be revised.

The attention of partners during the first year was on patients admitted to the neurological department of the First Municipality Hospital, Sofia. This hospital exists for more than 60 years and serves about 1/5 of the population of the capital and its surroundings.

As the aim of the project is to study at least 15 years time period, we have started the research from the beginning of year 2001. The goal for the first project period was to start creating a database describing all cerebro-vascular patients t6reated in the hospital. Data for a 9 year period are included in this paper.

Out of over 60000 patients admitted to the Department of Neurology of the First Municipality Hospital, for a period of 9 years, i.e. from 1.1.2001 till 31.12.2009, 18000 were hospitalized and 42000 patients were discharged for home treatment with appropriate medication. From those hospitalized only patients diagnosed for ischemic or hemorrhagic cerebral infarction, transient cerebral ischemia and dizziness were selected. The diagnosis was confirmed with up-to-date imaging procedures, such as brain computed tomography and magnetic resonance imaging. The number of patients is 6255. Collection of cases continues. The overall distribution of patients is presented in Table 1.

Table 1: Distribution of patients per year, gender and diagnosis

| | Ischemic Cerebral Infarction | | Hemorrhagic Cerebral Infarction | | Transient Cerebral Ischemia | | Dizziness | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Men | Women | Men | Women | Men | Women | Men | Women |
| 2001-2009 | 2253 | 2715 | 319 | 318 | 104 | 119 | 143 | 284 |

As a first step, in addition to the cases of cerebral pathology the daily sunspot number (SN) and daily F10.7 index were included in the analysis.

The daily Sunspot Number provides the longest available record of Solar activity since 1818 and is the main reference Solar index. SN represents the recurrence of intense magnetic loops visible on the Sun surface. Presently, the estimated International SN is distributed by the Solar Influences Data Center (SIDC) and is based on statistical processing of the data of a worldwide network of 86 stations from 29 countries.

The daily F10.7 index is also used to observe solar activity. This index is derived from solar radio flux at a frequency of 2800 MHz (a wavelength of 10.7 cm) and is measured in solar flux units (sfu, 1 sfu=10−22W/m2/Hz). The daily F10.7 index is observed by the Dominion Radio Astrophysical Observatory in Canada and is available for a long period dating back to the 1940s with high reliability while being nearly free of instrumental degradation (Tapping, Charrois, 1994).

**Results and Discussion**

The authors have to answer of the question whether the changes of geomagnetic activity, sunspot numbers and daily F10.7 index in this specific case from one hand, and cerebral pathology, from the other, follow more or less the same pattern or are totally different. Only if the pattern is similar it is worth dedicating efforts and time in the years to come to study in details the potential correlation between human cerebral pathology and geomagnetic activity.

As our database includes such details as gender, day of admission to the hospital, precise diagnosis, it gives the possibility to compare the cerebro-vascular pathology and daily geomagnetic indexes. The results are presented graphically at Figure 1.

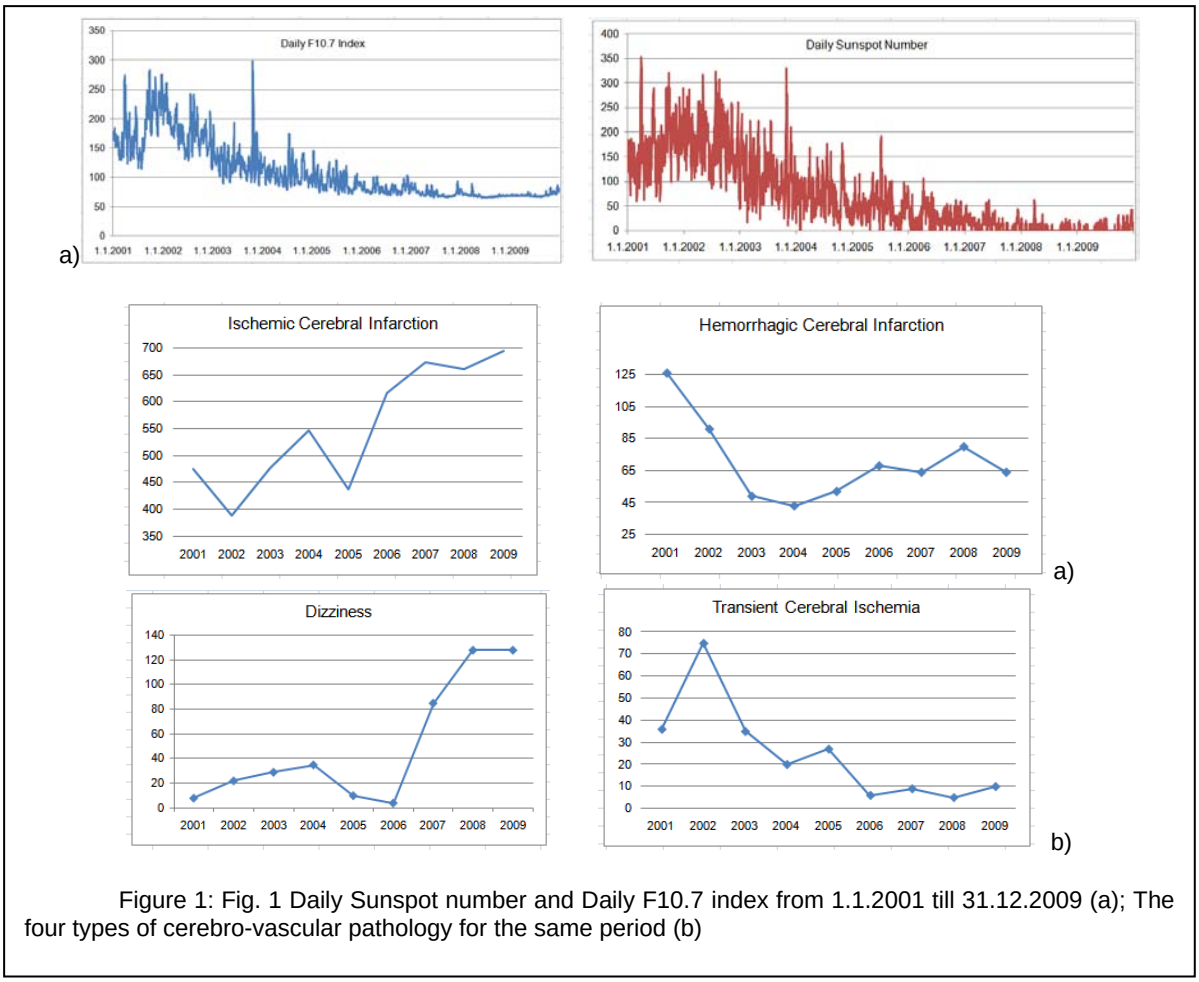



Figure 1: Fig. 1 Daily Sunspot number and Daily F10.7 index from 1.1.2001 till 31.12.2009 (a); The four types of cerebro-vascular pathology for the same period (b)

Figure 1 a) presents the daily distributions of F10.7 index and daily sunspot numbers and thus illustrates solar activity. The data used are available for free at the National Weather Service, Space Weather Prediction center website (http://www.swpc.noaa.gov/index.html). Figure 1 b) reveals the distribution of the four types of cerebro-vascular pathology.

Despite of the fact that the available data are not so many, i.e. coved only 9 years period, two opposite trends are revealed:

- A negative correlation is observed between the solar activity from one hand and the occurrence of ischemic cerebral infarction and dizziness, i.e. the decrease of the daily F10.7 indexes and daily sunspot numbers correspond with the increase of ischemic cerebral infarction and dizziness morbidity.
- The relationship between the geomagnetic activity and the accidence of hemorrhagic cerebral infections and transient cerebral ischemia is just the opposite – with the decrease of the geomagnetic activity, the morbidity of hemorrhagic cerebral infections and transient cerebral ischemia also decreases.

Having in mind that these are just the first results from the project and data collection is still in progress, any firm conclusions will be preliminary. Nevertheless the partners believe that these preliminary trends will be confirmed when the data collection is finalize as the aim is to have data of cerebro-vascular morbidity for at least 15 years period.

Even at this introductory stage the partners are confident that the preliminary results will be validated. The reciprocal relationship between geomagnetic activity and cerbro-vascular morbidity has been observed in 1989-2004 by (Kováč, Mikulecký 2005). The authors revealed a significantly decreased morbidity of cerebral infarction in two periods – once in the years 1989–1992 and again in the period 2002–2003, i.e., around the peaks of the solar activity in cycles 22 and 23. Just the opposites were the results at the time of the solar minimum between cycles 22 and 23, i.e. 1996-1997 – a significant increase of cerebral infarctions was registered. Similar results were published also by Larcan et al. (1982) and Stoupel et al. (1994).

In sum: Based on the results presented above, it is worth continuing the research on the connections between cerebral vascular pathology and geomagnetic activity. There is no need to revise project goals.

## Conclusions

The possible connection between geomagnetic activity and cerebro-vascular pathology needs further extensive studies and verifications based on large scale samples as well as longer time of observations. As data are gradually pilling up, it is rather possible that the correlations between some of the geomagnetic indexes and cerebral pathology will be confirmed, i.e. negative for such diseases as ischemic cerebral infarction and positive for others as hemorrhagic cerebral infraction. Once this is ultimately done, the mechanisms should be elucidated and should then be applied in medical practice for predicting the development of morbidity.

## References:


1. Becker, R. O. The effect of magnetic fields upon the central nervous system. In M. F. Barnothy (Ed.) *Biological Effects of Magnetic Fields,* Volume 2, New York, NY: Plenum Press, 1969, pp. 207-214.
2. Berk, M., S. Dodd, M. Henry. Do ambient electromagnetic fields affect behaviour? A demonstration of the relationship between geomagnetic storm activity and suicide, *Bioelectromagnetics*, 27, 2, 2006, pp. 151-155.
3. Friedman, H., R. O. Becker, C. Bachman. Geomagnetic Parameters and Psychiatric Hospital Admissions, *Nature*, 200, November 16, 1963, pp. 620-628.
4. Gordon, C., M. Berk. The effect of geomagnetic storms on Suicide, *South African Psychiatry Review*, 6, 2003, pp. 24-27.
5. Grigoryev, P., V. Rozanov, A. Vaiserman, B. Vladimirskiy. Heliogeophysical factors as possible triggers of suicide terroristic acts; *Health,* Vol. 1, 4, 2009, pp. 294-297 (2009 doi:10.4236/health.2009.14048 SciRes Copyright © 2009 Openly accessible at http://www.scirp.org/journal/HEALTH/9).
6. Gurfinkel, Y. Ischemic cardiac disease and solar activity, Publ. IIKC “Elf 3”, Moscow, Russia, 2004 (in Russian).
7. Kovac, M., M. S. Mikulecky. Secular rhythms and Halberg's paraseasonality in the time occurrence of cerebral stroke. *Bratisl Lek Listy*, 106 (12), 2005, pp. 423-427, (www.bmj.sk).
8. Larcan, A., H. Lambert, J. F. Stoltz, M. C. Laprevote-Heilly, J. B. Kempf, J. Lambert. Climatologic parameters and risk of acute vascular, neurologic and cardiac incidents. *Rev Epidemiol Sante Pub*, 30, 1982, pp. 343–54.
9. Lipnicki, D. M. An association between geomagnetic activity and dream bizarreness, *Medical Hypotheses*, Volume 73, 1, 2009, pp. 115-117.
10. Mikulecky, M., J. Stříštнk. Cerebral Infarction vs. Solar and Geomagnetic Activity, *IMAJ,* 9, 2007, pp. 835–838.
11. Mishlove, J. The Roots of Consciousness: The Classic Encyclopedia of Consciousness Studies, Publisher Marlowe &co., 1997.
12. Mulligan, B.P., M. D. Hunter, M. A. Persinger. Effects of geomagnetic activity and atmospheric power variations on quantitative measures of brain activity: replication of the Azerbaijani studies. Advances in Space Research 45, 2010, pp. 940-948.
13. Mulligan, B. P., M. A. Persinger. Experimental simulation of the effects of sudden increases in geomagnetic activity upon quantitative measures of human brain activity: validation of correlational studies. *Neuroscience Letters* 516, 2012, pp. 54-56, doi: 10.1016/j.neulet.2012.03.054.
14. Palmer, S., M. Rycroft, M. Cermack. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surveys in Geophysics*, 27, 5, 2006, pp. 557-595.
15. Persinger, M. A. Weak-To-Moderate correlations between global geomagnetic activity and reports of diminished pleasantness: A nonspecific source for multiple behavioral correlates? *Perceptual and Motor Skills,* Volume 98, 2004, pp. 78-80.
16. Persinger, M. A. Increased geomagnetic activity and the occurrence of bereavement hallucinations: Evidence for melatonin-mediated inicroseizuring in the temporal lobe? *Neuroscience Letters*, 7 1988, pp. 271-274.
17. Royaume-Uni, F. Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission, *British Journal of Psychiatry*, 164, 1994, pp. 403-409.
18. Stoupel, E., J. N. Martfel, Z. Rotenberg. Paroxysmal atrial fibrillation and stroke (cerebrovascular accidents) in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity level. *J Basic Clin Physiol Pharmacol,* 5, 1994; pp. 315–319.
19. Tapping, K. F., D. P. Charrois. Limits to the accuracy of the10.7 cm flux, *Sol. Phys.,* 150, 1994, pp. 305–315.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ПРИНЦИПЪТ НА ИНВАРИАНТНОСТТА ЗА КОМПЕНСАЦИЯ НА НЕЛИНЕЙНИЯ ЕФЕКТ ПРИ ПРЕДАВАНЕ НА СИГНАЛИ

**Антонио Андонов, Мариана Михова, Петър Димкин**

*ВТУ "Т. Каблешков"*
*e-mail: andonov@vtu.bg; marianndimi@abv.bg; p_dimkin@abv.bg*

***Ключови думи:*** *инвариантност, шумоустойчивост, нелинейност, комуникационни канали.*

***Резюме:*** *Целта на предложената работа е добре разработените методи в теорията на инвариантността, ориентирани към системи за управление, да бъдат приложени и в комуникационната теория. Обосновават се и се развиват общи подходи за синтез на широк клас комуникационни канали с контролируеми нелинейни свойства, базирани на фундаменталния принцип на инвариантността. Въвеждат и се обосновават два подхода: единият, основан на принципа на сигналната инвариантност, реализиран чрез използване на широколентови шумоподобни сигнали и вторият, основан на параметрическата инвариантност, предполагащ независимост на координатите от параметрите на звената, формиращи комуникационния канал.*

# PRINCIPLE OF INVARIANCE FOR THE COMPENSATION OF NONLINEAR EFFECTS IN THE SIGNALS TRANSMISSION

**Antonio Andonov, Mariana Mihova, Petar Dimkin**

*University of Transport Todor Kableshkov*
*e-mail: andonov@vtu.bg; marianna_mihova@abv.bg; p_dimkin@abv.bg*

***Keywords****: invariance, noise stability, nonlinearity, communication channels.*

***Abstract:*** *The proposed work is well developed methods of invariance theory, oriented to management systems, to be applied in communication theory. Justifying and developing common approaches for the synthesis of a wide class of communication channels with controllable nonlinear properties based on the fundamental principle of invariance. Introduced and justified are two approaches: one based on the principle of invariance signal generated by the use of broadband signals with spread spectrum and the second based on parametric invariance, implying independence of the coordinates of the parameters of the units forming the communication channel.*

Проблемът за инвариантността е широко разработен в теорията на автоматичното управление. Там под инвариантност се разбира свойството на системата да се противопоставя на произволни смущения, като напълно или частично ги компенсира. Това е възможно , тъй като в системите за управление управляващите въздействия и смущенията са пространствено разделени и те могат да бъдат оценявани поотделно. В комуникациите това е принципно е невъзможно, тъй като полезният сигнал и смущенията въздействат в една и съща точка на приемане, като формират сместа сигнал – шум. Ако това не беше така, то и проблемът за шумоустойчивостта на комуникационните системи не би съществувал. Независимо от това фундаменталният принцип за инвариантността, както ще бъде показано по – долу, може да се използва за компенсиране на нелинейните ефекти в предавателния тракт на радиокомуникационни системи.

В теорията на автоматичното управление се доказва, че принципът на инвариантността се основава на физическата компенсация на въздействащото смущение. За случай на въздействие на едно смущение да разгледаме системата с изходна величина $y(t)$ и смущаващото въздействие $f(t)$, за които е изпълнено:

(1) $$y(t) = K_0(p) f(t)$$

(2) $$K_0(p) = K_1(p) - K_2(p) ,$$

където $K_1(p)$ и $K_2(p)$ са линейни коефициенти на предаване на съответните канали.

Това условие трябва да е изпълнено в тази честотна лента, където енергията $f(t)$ на изхода на системата е пренебрежимо малка.

Ако в синтезирания канал се включи нелинейно звено с оператор на предаване "вход – изход" $z = L[x_a]$, тогава изходната координата може да се представи като състояща се от две съставящи:

(3) $$z(t) = K(p) + F(t) ,$$

където K(p) е оператор на линейно предаване на звеното, а $x_a(t)$ е входна величина на нелинейното звено.

Съгласно принципа на инвариантността, за да няма нелинеен ефект на изхода на радиоканала, трябва да бъде изпълнено условието:

(4) $$y = invar\ f(t) \text{ при } F(S) = 0 ,$$

където $F$ е допълнителна система уравнения за вектора на параметрите $S$ на синтезирания канал, които трябва да удовлетворяват условията за устойчивост и физическа реализуемост.

Възможни са два вида общи методи за защита на канала от нелинейни свойства: едните изключват появата на $f(t)$ на изхода на канала, макар че в изходната координата на нелинейното звено $f(t) \neq 0$, а другите изключват появата на $f(t)$ на изхода на нелинейното звено. Вторият метод се състои в ограничаване на входното ниво на сигнала за нелинейното звено:

(5) $$\|x_a(t)\| \le E_0 ,$$

където $E_0$ е праг на смущенията на нелинейното звено, превишаването на който води до поява на нелинейни ефекти. Подобна защита на входа на нелинейното звено може да се осъществи чрез линеен пасивен атенюатор, селективна верига, ограничаваща нивото на загубите и т.н.

Появата на $f(t)$ на изхода на канала може да бъде изключена или ограничена чрез използване на принципа на двуканалността. При тази задача обаче смущението $f(t)$ в координатата $z(t)$ не принадлежи на автономния източник, а големината и характерът му зависят от входното за нелинейното звено въздействие $x_a(t)$, което изисква да се осъществи допълнителна операция по отделянето на $f(t)$. Условието за линейност на операторите на двата канала $K_1(p)$ и $K_2(p)$ в синтезираната структура могат да не се изпълняват строго, което изисква контрол на линейността на тези канали. В много случаи е необходимо да се отчитат техните шумове, нестабилност и др.

Определянето на $f(t)$ може да стане чрез отделяне от входното линейно въздействие $b(p)x(p)$ на координата $z(t)$ със съответния коефициент на предаване $\beta$. Тогава:

(6) $$\varepsilon(t) = b(p)x(t) - \beta(p)z(t) = A(p)x(t) - \beta(p)f(t) ,$$

където:

(7) $$A(p) = b(p) - \beta(p)a(p)K(p) ,$$

като $a(p)$ – коефициент на предаване от входа на канала до входа на нелинейното звено, т. е.:

(8) $$x_a(t) = a(p)x(t)$$

Вижда се, че $\varepsilon(t)$ се състои от две съставящи:преобразувания линеен сигнал $A(p)x(t)$ и трансформираната съставяща на изкривяванията $\beta(p)f(t)$.

При $A(p) \equiv 0$ се получава:

(9) $$\varepsilon(t) = -\beta(p) f(t) ,$$

което съдържа информация за нелинейния ефект в нелинейното звено.

Да определим условието за инвариантност $y(t)$ y(t) относно $f(t)$.

(10) $$y(t) = c(p) z(t) + K'(p) e(t) = inv\, ar\ f(t) ,$$

където $c(p)$ е коефициент на предаване от изхода на нелинейното звено до изхода на канала; $K'(p)$ е коефициент на предаване от координата $\varepsilon(t)$ до изхода на канала.

Тогава:

(11) $$y(T) = [a(p)K(p)c(p) + b(p)K'(p) - K'(p)\beta(p)a(p)K(p)]\, x(t) + \\ + [c(p) - K'(p)\beta(p)]\, f(t).$$

Така условието за инвариантност става:

(12) $$c(p) - K'(p)\beta(p) \equiv 0$$

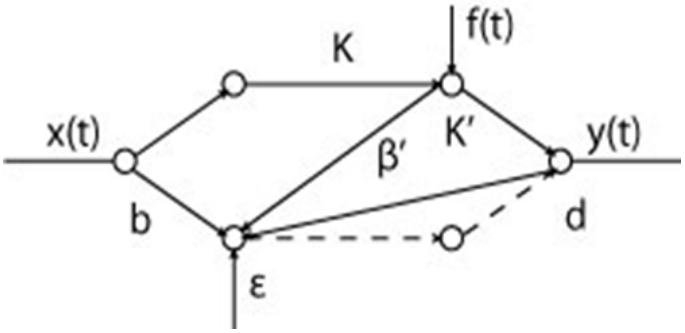
(13) $$y(t) = b(p)K'(p)x(t) = T(p)x(t) ,$$

където $T(p) = b(p)K'(p)$ е линеен коефициент на предаване на канала.

Структурата на графа на синтезирания канал е дадена на фиг. 1.

От изложението следва, че инвариантността $y(t)$ относно $f(t)$ изисква в синтезираната структура наличието на два канала: един с изход от нелинейното звено $K_1(p) = c(p)$ и втори от координатата $\varepsilon(t) = -\beta(p) f(t)$ до изхода на канала $K_2(p) = K'(p)$. При това е необходимо да бъде изпълнено условието:

(14) $$K_1(p) f(t) + K_2(p)\varepsilon(t) \equiv 0$$




Фиг. 1.

За да се избегне появата на допълнителни нелинейни и други нежелателни ефекти в $y(t)$, всички спомагателни съединителни звена в структурата на фиг. 1, са линейни, т.е. пасивни, което обезпечава точното изпълнение на условието за инвариантност.

За да се удовлетвори условието за усилване на сигнала в синтезираната структура, трябва да се осигури $T(p) > 1$, следователно и $b(p)K'(p) > 1$b(p), което ще доведе до наличието на още едно усилващо звено в графа на фиг. 1.

Ако отделим допълнителна пасивна съединителна верига $d(p) \le 1$ и означим коефициента на предаване на усилващото звено с $K''(p)$, то условието за усилване добива вида:

(15) $$T(p) = K''(p)b(p)d(p)$$

Нелинейността на звеното $K''$ изисква ограничаване на входния сигнал:

(16) $$\|x_b(t)\| \le E_{02} \ ,$$

където $E_{02}$ е праг на смущение за $K''$.

Принципът на инвариантност в структурата на канала от фиг. 1 може да се реализира при произволна форма на входното въздействие, следователно на $f(t)$. Колкото е по-голямо $E_{02}$, толкова по-голямо ниво на входно въздействие може да се усили от канала, без проява на нелинейни ефекти.

За да се намали $|x_b(t)|$, трябва напълно да се компенсира неизкривения сигнал, съдържащ се в $\varepsilon(t)$, т.е. да се осигури:

(17) $$A(p) \equiv 0$$

(18) $$b(p) - \beta(p)a(p)K(p) \equiv 0$$

Тогава:

(19) $$min\|x_b(t)\| = min\|\varepsilon(t)\| = \|\beta(p)f(t)\|$$

Удовлетворяването на това условие осигурява инвариантност относно нелинейните свойства на нелинейното звено при максимално входно въздействие. Тогава:

(20) $$\frac{K'(p)}{K(p)} = \frac{a(p)c(p)}{b(p)}.$$

Като се вземе предвид, че:

(21) $$K'(p) = K''(p)d(p)$$

се получава:

(22) $$\frac{K'(p)}{K(p)} = \frac{a(p)c(p)}{d(p)b(p)} \ ,$$

т.е. между стойностите на коефициентите на предаване на усилващите звена $K(p)$ и $K''(p)$ трябва да има връзка както при $a(p) = c(p)d(p) = b(p) = 1$, звената са идентични:

(23) $$K(p) = K''(p)$$

При изпълнение на разгледаните условия се осъществява компенсация и на други нежелателни ефекти, възникващи в нелинейното звено като шумове, нестабилност на предаването и др. Шумовете обаче, които възникват във веригата на допълнителното звено не се компенсират и отношението “сигнал-шум“ на изхода на целия канал ще се определя само от звеното.

Отношението „сигнал-шум“ на изхода на канала ще бъде толкова по-голямо, колкото по-голяма е стойността на $b \le 1$, т.е. за $b \approx 1$.

За разширяване на областта на $|x(t)|$, където става компенсация на нелинейните ефекти, може да се въведе допълнителна защита на звено $K''$. Това може да стане, например чрез линеен атенюатор на входа или чрез намаляване на предаването на звено $b \le 1$, но това ще доведе до намаляване на съотношението сигнал-шум, т.е. до намаляване на реалната чувствителност на канала.

Ако каналът на фиг. 1. се приеме за ново нелинейно звено, то към него може да се разшири областта $\|x(t)\|$, където каналът е линеен. По този начин чрез принципа на инвариантността се синтезират итерационни структури с ненарастване на прага на смущения.

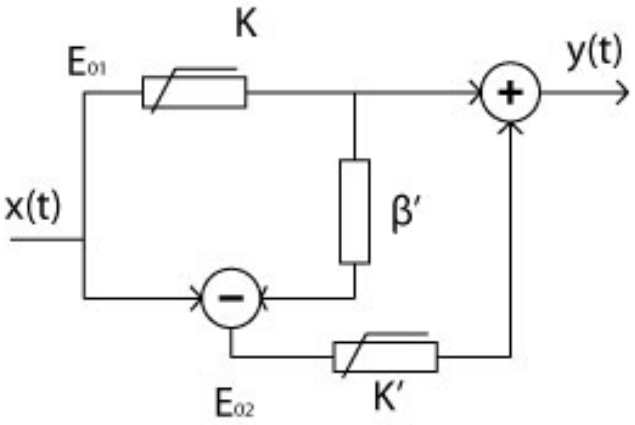
Освен описаният принцип на сигнална инвариантност, се използва и принципът на параметричната инвариантност, който предполага независимост на координатите от параметрите на звената на канала. По този начин могат да се синтезират високолинейни канали с произволен брой нелинейни звена.

Ако се разгледа случая $a = b = c = d = 1$, се преминава към по-простата структура на канала, дадена на фиг. 2.

Общият праг на смущенията за тази структура

(24) $$E_0 = E_{01} + E_{02} \ ,$$

където $E_{01}$ и $E_{02}$ са праговете на смущения на двете звена.

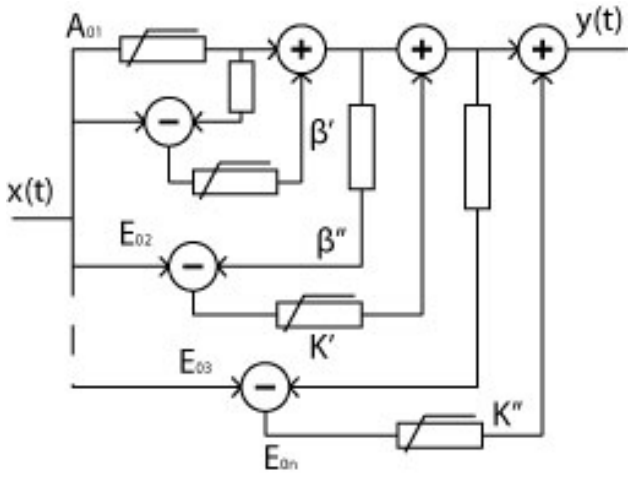



Фиг. 2.

Прилагайки към структурата на фиг. 2 последователно принципът на инвариантност, се получава итерационната структура, дадена на фиг. 3. За нея прагът на смущенията се определя като:

(25) $$E_0 = \sum_{i-o}^{n} E_{0i} \ ,$$

а шумовете се определят от шума на последното в структурата $n$-то нелинейно звено.




Фиг. 3.

Принципът на инвариантността позволява да се синтезира канал за предаване на сигнали с компенсирани нелинейни и други характеристики, в частност предавателни и собствени шумове. За разлика от проблема за компенсиране на външните смущения в теорията на автоматичното управление, реализацията на принципа на инвариантността в радиокомуникационната техника има специфични особености, които основно се изразяват в начина на образуване на двуканалната компенсационна структура, а също и в ограниченията по отношение на нивото на входното въздействие и пределно достижимите характеристики.

**Литература:**


1. А н д о н о в, А. Шумоустойчивост и ефективност на системата за ВДРВ, София, ВТУ 2003.
2. Теория инвариантности автоматических систем. Под ред. Б. Н. Петров, М., РАН, 2001.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ФОРМИРАНЕ НА БАЗОВИ МЕНТАЛНИ МОДЕЛИ НА ОПЕРАТОРСКА ДЕЙНОСТ В СЛОЖНИ ЕРГАТИЧНИ СИСТЕМИ

**Зоя Хубенова**

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

***Ключови думи:*** *човек-оператор, информационно взаимодействие, ментални модели, ергатична система*

***Резюме:*** *В статията се предлага експериментална методология за разработване на концептуален модел и изследване на базови ментални модели на човека като управляваща система при възприемане, натрупване и обработка на информация и знания, вземане на решения и извършване на управляваща дейност в екстремални условия. Целта е да се покажат такива механизми на човека-оператор, посредством които е възможно осъществяване на управление от човек в случаи на отклонения от оптималните му режими на работа и жизнена среда. В контекста на когнитивната проблематика, отнасяща се към процесите на преработка на информацията (получаване, преработка, структуриране) е предложен комплексен модел на формиране на метални модели на оператора, съответстващи на различните етапи от неговата дейност.*

# FORMATION OF BASE MENTAL MODELS OF OPERATOR'S ACTIVITY WITHIN COMPLEX ERGATIC SYSTEMS

**Zoya Hubenova**

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

***Keywords:*** *man-operator, information interaction, ergadic system.*

***Abstract:*** *The article proposes an experimental methodology for developing a conceptual model and studying basic human mental models as a control system in case of perception, storage and processing of information and knowledge, making decisions and performing control activities under extreme conditions. The aim is manifesting such mechanisms of human operator, through which it is possible to carry out management of a person in case of deviations from optimal modes and environment. In the context of cognitive problems related to the processes of information processing (receiving, processing, structuring) a comprehensive model of the operator's mental models formation has been proposed corresponding to the different stages of its activities.*

## Въведение. Задачите на ЧО в компютъризираните системи за управление.

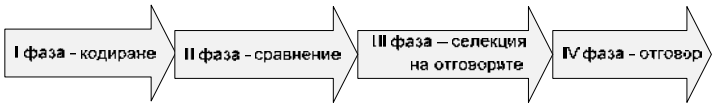
Поради повсеместното прилагане на компютъризираните системи за управление практически полето за възприемане на оператора се стеснява до екрана на монитора(ите) (промяна на числови стойности, цветове и форми, пулсации на изображението), както и аудио съобщения и нарушения [4]. Управляващите въздействия на оператора се осъществяват по пътя на избора на зададени елементи от екраните или клавишите на клавиатурата и бутоните на функционалните устройства (джойстик, трекбол, таблети и пр.), което лишава моторните действия на оператора от значителен двигателен компонент. Отчитайки особеностите на специфичната дейност на човека-оператор (ЧО) на безпилотните летателни апарати (БЛА) като сложна динамика по наблюдение на непрекъснати параметри и логически елементи, може да се каже, че значение преобладават интелектуалните задачи пред перцептивните и моторните. Известно е, че определянето на задачите на оператора в такъв род автоматизирани системи за управление се свежда практически до следното: своевременно да открие неспособността на автоматизираната система да се справи с възникващите нарушения в хода на процеса, да определи причините за неизправността и да компенсира последствията от тях [3]. Необходимо е, да се подчертае важната разлика между оператора на безпилотните летателни апарати

(БЛА) (в смисъл на компютъризирана система за управление) от дейността на авио- и автомобилни пилоти, космонавти, оператори на кораби и пр., за които от съществено значение са неинструменталната информация (тактилна, вестибуларна, кинетична и др.), а при управляващите въздействия принципно е важен физическия отклик (усилията върху органите за управление) [1].

Дейността на оператора на БЛА може да се разгледа като непрекъсната верига от вземане на решения, т.е. на избор от алтернативи в условия на стимулна неопределеност (подробно обяснение на такъв подход за анализ на процесите за вземане на решения в контекста на компютъризираните системи за управление е дал Rouse W. B. [8]). Всеки единичен процес за вземане на решение се разпада на три последователни стадии – откриване на събитие, диагностиране на причините и компенсация от нежелани последствия. Указаните етапи са специфични както по съдържание на операторските действия, така и по характера на психическите процеси, актуални при тяхното изпълнение, а следователно, и по типа навици, необходими на оператора за успешна работа. Съвременния подход се основава на разпознаване на образи и предполага, че операторът при откриване на събитието определя, кога поведението на обекта започва да се отклонява от зададеното.

Съвременните компютъризирани системи за управление напълно потапят оператора в света на знаконосителите, опосредствайки техническия обект чрез структурата на компютърно представяне, без пълното владеене, на което е невъзможна никоя дейност. Освобождавайки операторът от многото рутинни действия, тези системи за управление поставят пред тях строги структурни ограничения, определяйки необходимостта от придобиване на навици за работа с различни операторски интерфейси. Преодоляването на това положение в бъдеще изследователите виждат в създаването на т.н. «екологични» (естествени) интерфейси или интерфейси на базата на т.н. «мисловни модели» («ментални модели») [2,10].

През седемдесетте години на миналия век основна парадигма в познавателната психология характеризира хората като информативни процесори – всичко, което се усеща (зрение, чуване, докосване, мирис, вкус) се смята за информация, която съзнанието процесира. Основната идея е, че информацията влиза и излиза от човешкото съзнание през серия от разпределени процесиращи стадии [5]. В такъв модел се приема, че информацията е еднопосочна, секвенцирана и че във всяка от фазите има определено време, което най-общо зависи от комплексността на представяната операция (фиг.1). Първата фаза закодира информация от околната среда в някаква форма на вътрешно представяне; втора фаза е вътрешното представяне на стимула, като се сравнява със запомнено представяне, което се складира в мозъка; трета фаза създава отговор към закодираното и когато има подходящо съчетание, се преминава във четвърта фаза, която е свързана с организацията на отговора и необходимото действие.




Фиг. 1. Човешки информативен процесинг

Двете главни разширения на модела за човешки информативен процесинг включват когнитивните компоненти внимание и памет. Моделът за човешкият процесор се състои от три взаимодействащи си системи: перцептуална система, моторна система и познавателна система. Всяка от тях си има своя памет и процесор и се представя като серия от етапи , които са в основата на изграждането на семейство от модели, които да водят до възможността за качествено описание и количествени измервания.

**Ментални модели в процеса на управление на БЛА**

С отчитане на системния подход структурата на организационно –техническата система на безпилотната авиация може да се представи като йерархия от три нива [5]: първото (най-ниско) ниво са различните технически системи с БЛА; второто – безпилотния авиационен комплекс (БАК), а на третото – техническото звено се обединява в ергатично. Освен БЛА, в състава на БАК влизат средствата за: връзка и управление, наземно обслужване, стартиране, кацане, спасяване, транспортиране и съхранение. Това представяне дава основание да се разглежда системата „БЛА- оператор/и” като клас ергатична система. Именно в такива системи е допустимо да се изследват практически всички форми на взаимодействие между обектите и субектите, като в дадения случай се разглежда на информационно ниво.

При оператора на БЛА става дума за сложни комплексни навици, които в съвкупност с вече придобитите в хода трудовата дейност и в тренировки, образуват професионалните умения, като при това се анализират дейността и функционалното състояние на човека. Под

дейност се разбира целенасочена активност, свързана с решаването на професионалните задачи: целеполагане, мотивация, преработка на информация, вземане на решения, планиране, и прогнозиране, изпълнителни дейности. Функционалното състояние е свързано с действието на неблагоприятни или екстремни фактори и условия, водещи до стрес, напрегнатост, умора емоционални прояви (раздразнение, страх, и пр.) [3].

Известно е, че колкото по-сложен е обектът за управление, толкова по-голямо значение придобиват процесите за преработка на информация, касаещи приема на информацията, постъпваща от обекта и реакцията на тази информация с отчитане на нейното целесъобразно въздействие върху обекта. Преди да реагира на постъпващия сигнал човекът-оператор преди всичко трябва да създаде мисловен образ на ситуацията, да провери адекватността на образа с реалната обстановка и тогава, на основата на създадения образ да вземе решение по управлението.

Известни са четири основни групи ментални модели (ММ): модел за действия над обектите - операторът има представа за обектите в системата и за възможните действия над тях; модел за изменение на състоянието – съответстват системи, които моделират текущото състояние на програмите и модифицират представянето на модела при неговото изменение; модел за изобразяване – когато необходимата за предаване информация се изразява в последователност от действия, обикновено повтарящи се; модел на аналогиите – метафора на модели по аналогия се използват в случаите, когато операторът се среща със система, която наподобява на някоя, с която вече е работил.

**Формиране на базови операторски ММ**

В приетия модел на човекакато управляваща система (ЧУС) [2] основен принцип на работа е “вътрешен стимул–действие», а не принципа “стимул–реакция”, типичен за техническите системи и низшите организми. В по-сложните случаи и ситуации на управление човекът е звено, вземащо решение, променящо поведението си, генериращо информация, предприемащо нещатни, непредвидени и нетренирани действия. От казаното до тук правим предположението за следните необходими базови ММ на оператора: ориентиране в системата от знаконосители; изпълнение на типови процедури; разпознаване отклоненията от нормата; търсене на причините за неизправностите и прогнозиране последствията от въздействията.

Във фазата на формиране на ММ става опознаване и овладяване на процесите на управление; изследва се набора и последователността на отделните елементи и етапи на задачите; аферентните сигнали (стимули) и съответстващите ги ефекторни команди (реакции), натрупване на списък-библиотека от такива съответствия. Тази фаза изразява една от основите концепции на предлагания модел – непрекъснато постъпващата сензорна информация се класифицира и разпределя пространствено и времево – тя служи от една страна за реализиране на управлението, но в същото време избрани „отрязъци” от нея се натрупват като данни и знания в кратковременната и дълговременна памет като оценка за качеството (резултатите) от извършваната дейност [11].

Способите за показване на символите в устройствата за изобразяване на информацията, независимо от типа екрани, на които е представена информацията, може да се осъществи по три способа за формиране на символите или знаците [7]: знакомоделиране; знакогенериране; знакосинтезиране.

*ММ за ориентиране в системата от знаконосители.* Дейността на оператора на стадия откриване на събития има две съставящи — операторът осъществява постоянен контрол на системата от знаконосители, а също разпознава отклоненията от нормите, т.е. съпоставя наблюдаемото състояние на обекта с вече съществуващия еталонен образец на норма и фиксира съществуващите различия между тях като настъпващо събитие.

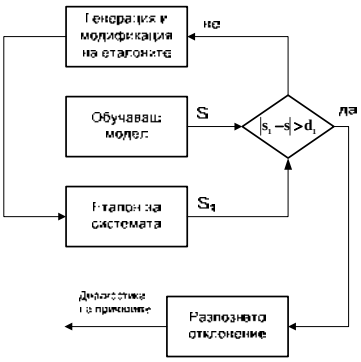
Такъв ММ модел е необходим за осъществяване на контрол на етапа на откриване на събитията и предполага всестранно познаване на обекта посредством операторския интерфейс на системата за управление. Формират се когнитивни структури, съдържащи устойчиви връзки, т.е операторът започва да се ориентира в системата от знаконосители. Това е фазата на първоначалното обучение (трениране), в който ЧО усвоява характеристиките на обекта, структурата и типа на информационните елементи и на информационния модел, както и правилата на работа.

Постепенно се формират когнитивни структури, съдържащи устойчиви връзки между елементите на системата от знаконосители и техните перцептивни аспекти. Операторът се ориентира в системата от знаконосители като не фиксира в съзнанието си нейната структура, което води практически до прозрачност на интерфейса Това е особено важно при непредвидени нарушения, когато дефицита на време не позволява да се замисляш за устройството на интерфейса и правилата за манипулиране с него.

*ММ за разпознаване на отклоненията от нормите.* Тези ММ се утвърждават и достигат при продължително сравняване на наблюдаемите симптоми и на еталоните-образци (оперативни образи) на нормалното поведение на управляемия обект. За норма се приема не само регламентирания режим на работа, но и всички допустими. Предполага се, че началните еталони са достатъчно адекватни и достъпни за оператора в резултат на предходно изучаване и опит. При това умението да се откриват отклоненията от задания режим се намира в пряка зависимост от качеството на сформиращия се от оператора ММ [9].

В механизма на това формиране (рис. 2) като задаваш блок е „Обучаващия Модел" генерираш наблюдаваните симптоми S. Идеята е, че ако разликата между тях и еталонните сигнали $S_1$ превишат даден праг на разпознаване, операторът ще фиксира нарушение в хода на процеса, което създава база за по-нататъшна диагностика за причините. В противен случай наблюдаваната симптоматика се висва в нормата, като по определен начин и модифицира еталона.

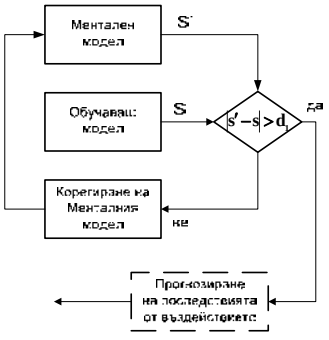
При формирането на ММ голяма роля имат мнемическите процеси – операторът запомня, възстановява и възпроизвежда еталоните образци за състоянието на отделните знаконоси-тели и съотношенията на показателите на свързаните групи знаконосители. Компютърния тренинг дава възможност за създаване на подходящ обучаващ модел за предварително създаване на набор от еталонни състояния на обекта, което води и до снижаването на необходимия праг на разпознаване на събитията.




Фиг. 2. Формирование ММ при ориентиране и разпознаване на отклоненията:
S — наблюдавани сигнали; $S_1$ — еталони сигнали - норми; $d_1$ — праг на разпознаваните отклонения

*ММ за прогнозиране на последствията при въздействията.* Този базов ММ е в основата на двете основни действия на оператора в процеса на вземане на решения – генериране и проверки на хипотезите на стадия на диагностика и планиране на процедурите на стадия на компенсация.

Същността на тези ММ се състои в мисленото въздействие на оператора върху съществуващия субективен ментален модел на обекта на управление (СМУ) и на субективния ментален модел на управлението на обекта (СМДУ) с цел оценка на предполагаемите изменения. Качество на прогнозирането се определя при това, доколко е пълен и адекватен самия ММ (фиг. 3). Отклонение $S'$ за ММ, което може да се разглежда и като оперативен образ-прогноза, се сравнява (съпоставя) с наблюдаваните изходи на обучаващия модел S. Ако разликата се окаже по-голяма от прага на коректност на прогнозата, следва модификация на менталните модели; в противен случай прогнозата се счита за приемлива.



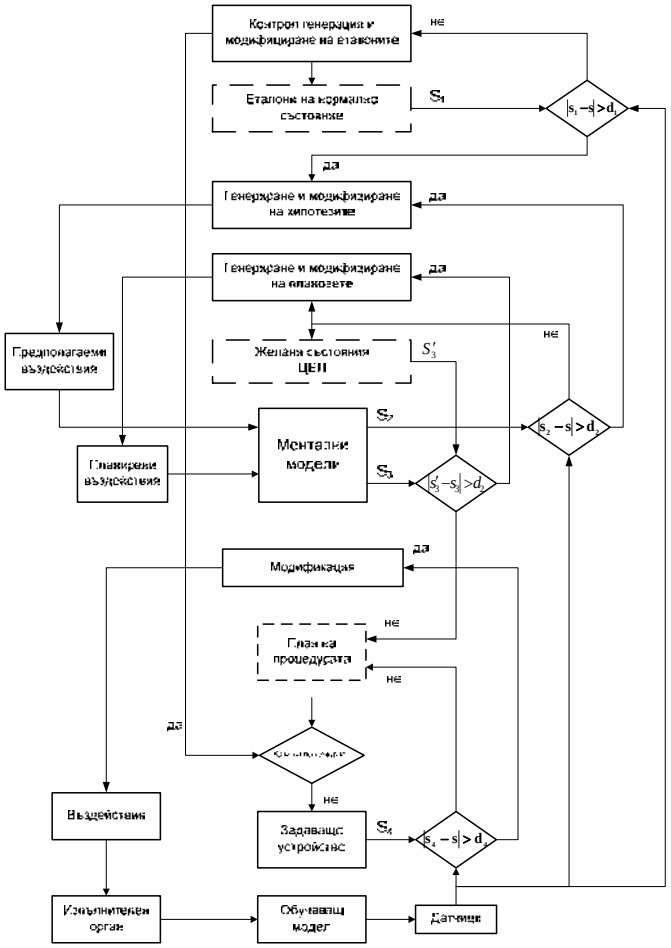

Фиг. 3. Формиране на ММ за прогнозиране последствията от въздействията:
S — наблюдаеми сигнали; S' — прогнозирани сигнали; d - праг на коректност на прогнозата

*ММ при генериране и проверка на хипотезите.* Това е сложен интелектуален процес, който е в основата на диагностиката за причините за настъпващите събития. При това операторът излиза («надхвърля») системата на знаконосителите, в което е открито отклонението от нормите и търси причините за наблюдаваните събития в самия обект на управление. Механизмът за формиране на ММ в този случай предвижда избор на хипотези, сравнение на наблюдаваните симптоми S с отклонението на мисловния модел на хипотетичното въздействие $S_2$ (фиг. 4). Ако разликата не е голяма, хипотезата се счита за приемлива, в противен случай тя се подлага на модификация. Важно е, че операторът се научава не толкова на конкретни правилни въздействия по ММ (т.е. идентифициране на причините и прогнозиране на последствията), отколкото на ефективна процедура за генериране на хипотези и техните оценки.

Принципно конкретните задачи по диагностиката са твърде разнообразни, както са и разнообразни възможните състояния на процеса, наблюдаемите симптоми и варианти на въздействие. Решаващо значение има опита на ЧО, при който се научава не само правилно да моделира ММ (като да идентифицира причините и прогнозира последствията), но и ефективно да генерира хипотези и да ги оценява. Така след натрупване на „библиотека" от ММ се придобива висока степен на готовност за справяне с широк спектър от конкретни задачи на диагностични проблеми в широк диапазон от различни условия.

*Планиране на процедури.* Етапа на планиране във вземането на решения настъпва след като причината за отклонението в поведението на обекта е открита и операторът пристъпва към компенсиране (ликвидиране) на нейните нежелателни последствия. При това един от резултатите на етапа на диагностиката е представата му за състоянието на обекта, което той би искал да достигне за сметка на компенсацията. Такъв ММ (оперативен образ-цел) може да се използва като мярка на изпреварващ бъдещ резултат.

Планирането е подобно с генерирането и проверката на хипотезите и може да бъде определено като генериране и модификация на планове. Механизмът на формиране също използва прогнозирането на последствията от въздействието и предугажда избора на плана за действие, сравнявайки отклика на мисловния модел $S_3$ (фиг. 4) на планираните въздействия с желаните.




Фиг. 4. Комплексни ММ за вземане на решения:
S — наблюдавани сигнали;
$S_1$ — еталонни сигнали при нормално състояние;
$S_2$, $S_3$ — изходни сигнали за ММ;
$S'_3$— желани състояния на обекта;
$S_4$ — зададен (настройки);
$d_1$, $d_2$, $d_3$, $d_4$ — прагове на разпознаване, съответно на отклоненията, на адекватността на хипотезата, на адекватността на плана и на разсъгласуваността при изпълнение

*ММ за изпълнения на типови процедури.* Операторът наново се връща на ниво система на знаконосителите, посредством която се осъществяват конкретните въздействия в системата за управление.

На фиг. 4 е показан взаимовръзката на базовите менталните модели, необходими на оператора за успешно управление на техническия обект. Механизмът на формиране на ММ включват базовите ММ (разпознаване на отклоненията, търсене на причините за неизправностите и планиране и изпълнение на процедурите), като в тях в неявен вид се включват тези от по-високото ниво – разпознаване на отклоненията търсене на причините за неизправностите, планиране и изпълнение на процедурите.

**Заключение**

В статията се предлага експериментална методология за разработване на концептуален модел и изследване на базови ментални модели на човека като управляваща система (ЧУС) при възприемане, натрупване и обработка на информация и знания, вземане на решения и извършване на управляваща дейност в екстремални условия. Основната цел е да се покажат такива механизми на човека-оператор, посредством които е възможно осъществяване на управление от човек в случаи на отклонения от оптималните му режими на работа и жизнена среда. Дейността (управлението) се разглежда като системообразуващ фактор, обединяващ поведенческите и психофизиологични подсистеми в една система, насочена за достигане поставените пред оператора резултати.

На база на когнитивния подход, отнасящ се към процесите на преработка на информацията (получаване, преработка, структуриране) е предложен комплексен модел на формиране на метални модели на оператора, съответстващи на различните етапи от неговата дейност. Целта е изследването и анализа на психофизиологическите характеристики на оператора и създаване на методика за показване на информационните показатели на функционалното състояние, ефективното управление, надеждността на вземаните решения и индивидуалното обучение на операторите.

*Благодарност:* тази разработка е подкрепена финансово по научноизследователски проект № ДТК 02-59 (2009-2013) в конкурс „Насърчаване на научните изследвания в приоритетни области” на Фонд ”Научни изследвания”.

**Литература:**

1. Йорданов, Д., П. Гецов, БЕЗПИЛОТЕН САМОЛЕТ- МОДЕЛИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ, Third Scientific Conference “SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY” with International Participation, June 2007, Varna, p.137-142. ISSN 1313-3888
2. Попов, В., П. Гецов, Кр. Стоянов, Човекът като управляваща система - системологичен анализ, Юбилейна научна сесия “30 години Институт за космически изследвания”, стр. 256-258,1999
3. Бодров, В. А., Орлов В. Я. Психология и надежность: человек в системе управления техникой. М.: ИП РАН. 1998.
4. Дозорцев, В. М. Оператор в компьютеризированной системе управления: к проблеме построения человеко-машинного интерфейса // Приборы и системы управления. 1998. № 3. С. 39–47.
5. Коутс, Р., Влейминг И. Интерфейс человек-компьютер. М Мир 1990г. 502 с
6. Павлушенко, М., Г. Евстафьев. Макаренко И., Беспилотные летательные аппараты, И-во «Права человека», М, 2005.
7. Савчук, В. Л. Электронные средства сбора, обработки и отображения информации http://www.ie.tusur.ru/books/COI/index.htm
8. Andrew, P. Sage, William B. Rouse, Handbook of Systems Engineering and Management, 2nd Edition Hardcover, 1476 pages, May 2009
9. Johnson-Laird, P.N. Mental models and probabilistic thinking. Cognition, N50, .1994, p. 189-209
10. Preece, J.; Rogers, Y.; Sharp, H.; Benyon, D.; Holland, S. Human-Computer Interaction. Wokingham (GB): Addison-Wesley, & Carey, T., 1994.
11. SolsoRobert, L.,COGNITIVE PSYCHOLOGY, 6-th edition, Allyn and Bacon, 2006

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# COMPARING RESEARCH ON THE VOLUME DEPENDENCE OF THE GRÜNEISEN RATIO WITH REGARD TO ITS USE IN SHOCK PHYSICS

**Valentin Gospodinov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: v.gospodinov@gmail.com*

***Key words:*** *Grüneisen ratio, volume dependence, complete equation of state.*

***Abstract:*** *To determine the functional dependence of the Grüneisen ratio on volume is a key problem in dynamic high-pressure physics. This dependence is of crucial importance for the construction of a complete equation of state (EOS) for solids from shock-wave data. The inaccuracies that semiempirical formulas for $\gamma$ might contain affect the determination of the zero isotherm. The high-temperature corrections to the EOS at high pressures are affected even to a greater extent. In order to obtain the complete EOS from shock-wave data it is necessary to choose the form of $\gamma$ independently of the shock adiabat. There are several standalone formulations of the Grüneisen ratio in use in shock physics which predict a varying dependence of $\gamma$ as a function of volume (or pressure). In the present paper these formulations are assessed and applied to substances with diverse chemical bonds. The theoretical predictions are compared with experimental results. The equation, proposed by Al'tshuler et al fits best experimental results. It could be used in the construction of a complete EOS for solids from shock-wave data.*

# СРАВНИТЕЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА УРАВНЕНИЯТА ЗА ОБЕМНАТА ЗАВИСИМОСТ НА ПАРАМЕТЪРА НА ГРЮНАЙЗЕН, ИЗПОЛЗВАНИ ВЪВ ФИЗИКАТА НА ВЗРИВНИТЕ ПРОЦЕСИ

**Валентин Господинов**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: v.gospodinov@gmail.com*

***Ключови думи****: параметър на Грюнайзен, обемна зависимост, динамично налягане*

***Резюме****: Определянето на функционалната зависимост на параметъра на Грюнайзен γ от обема е един от основните проблеми на физиката на високите динамични налягания. Тази зависимост е от решаващо значение за получаване на пълното уравнение на състоянието на твърди тела по резултати от динамични експерименти. Неточностите, които се съдържат в полуемпиричните изрази за $\gamma$ оказват влияние при определяне на нулевата изотерма. Това влияние е още по-голямо при високотемпературните поправки към уравнението на състоянието. За да се получи пълното уравнение на състоянието по резултати от динамични експерименти е нужен израз за $\gamma$, който не зависи от ударната адиабата. Във физиката на високите динамични налягания съществуват няколко такива формулировки. В настоящата работа те са приложени към материали с различна химична връзка и получените резултати са сравнени с наличните експериментални данни. Извършеният регресионен анализ показва, че уравнението на Алтшулер най-добре описва експерименталните резултати. То би могло да се използва при получаването на пълното уравнение на състоянието на твърди тела по резултати от динамични експерименти.*

## 1. Introduction

To determine the functional dependence of the Grüneisen ratio on volume is a key problem in shock physics. This dependence is of crucial importance for the construction of a complete equation of state (EOS) for solids from shock wave experiments. The Grüneisen ratio has both a microscopic and a macroscopic definition. The former relates it to the vibrational frequencies of the atoms in the crystal lattice of a material

(1) $$\gamma_i = -\frac{V}{\nu_i}\left(\frac{\partial \nu_i}{\partial V}\right)_T = -\left(\frac{\partial \ln \nu_i}{\partial \ln V}\right)_T.$$

The volume dependence of all lattice vibrational frequencies is assumed one and the same [1], so

(2) $$\gamma = -\left(\frac{\partial \ln \nu}{\partial \ln V}\right)_T.$$

The latter represents it in terms of several well-known thermodynamic properties - specific heat, thermal expansion, and bulk modulus

(3) $$\gamma = V\left(\frac{\partial P}{\partial E}\right)_V = \frac{\alpha V B_T}{C_V} = \frac{\alpha V B_S}{C_P}.$$

The experimental determination of the Grüneisen ratio, based on its macroscopic definition implies the concurrent measurement of these thermodynamic properties at high pressures. Such experiments have been performed by Birch [2].

The experimental determination of the Grüneisen ratio from its microscopic definition is extremely difficult, since it requires a detailed knowledge of the phonon dispersion spectrum of a material [3].

Because of the scarce experimental results and the lack of first-principle analytic equation, numerous approximate expressions have been reported in literature. Most of them are analyzed in two extensive reviews - by Knopoff and Shapiro [4], and by Anderson [5]. Their accuracies are also compared in a recent work by X. Peng *et al*. [6] and by Srivastava and Sinha [7]. All of these papers are in the field of geophysics. The expressions for the Grüneisen ratio treated in them are derived from diverse isotherms $P_T = P_T(V)$ and are used to justify them.

The relationship which is experimentally determined in shock physics is the shock Hugoniot. It is the lokus of all states in the $(P,V,E)$ space that can be reached by single shock waves with different amplitudes starting from one and the same initial state. Here $P$ is the pressure, $V$ --- the volume, and $E$ --- the internal energy.

A single shock Hugoniot is not enough to derive an EOS. One more independently derived relation is necessary. In the case of solids such relation could be the volume dependence of the Grüneisen ratio $\gamma = \gamma(V)$. Possible inaccuracies that semiempirical formulas for $\gamma$ might contain affect the determination of the zero isotherm. The high-temperature corrections to the EOS at high pressures are affected even to a greater extent.

In order to obtain a complete EOS from shock wave experiments it is important to choose the form of $\gamma$ independently of the shock adiabat. There are several formulations of the Grüneisen ratio in use in shock physics which predict a varying dependence of $\gamma$ as a function of volume.

It has been observed from shock wave analyses that for small compressions, $\gamma$ is nearly inversely proportional to density (i.e. $\gamma_0\rho_0 = \gamma\rho = const$). Theoretical arguments in support of this approximation are given by Anderson [9]. Many authors have combined this result with the fact that at large compressions, the limiting value of $\gamma$ for all materials is $\frac{2}{3}$ to write down interpolation formulas for the volume variation of $\gamma$. Some of these are

(4) $$\gamma = \gamma_0\rho_0/\rho + \gamma_\infty(1-\rho_0/\rho), \ [Bennet\ \ et\ al, 1978]$$

(5) $$\gamma = \gamma_0\rho_0/\rho + \gamma_\infty(1-\rho_0/\rho)^2, \ [Thomson\ and\ \ Lauson, 1972]$$

(6) $$\gamma = \gamma_0 - a(1-\rho_0/\rho), \quad [Royce, 1971]$$

(7) $$\gamma = \gamma_\infty + (\gamma_0-\gamma_\infty)/\sigma^m, \ [Altshuler\ \ et\ al, 1987]$$

where $a$ is a material dependent constant, $\sigma = \rho/\rho_0$, and $m = \gamma_0/(\gamma_0-\gamma_\infty)$.

In the present work the validity of Eqs.(4) - (7) together with the standard approximation $\gamma_0\rho_0 = \gamma\rho = const$. have been tested against available experimental results for copper, iron, potassium, sodium chloride, and magnesium oxide. It differs from previous approaches [6-8] in that the definitions of $\gamma$ assessed and applied to substances with diverse chemical bonds are those most frequently used in shock physics. Predictions from regression analysis are compared to experimental results. The relation that best fits experimental data may be used in the construction of a complete EOS for solids from shock wave experiments.

**2. Calculation results**

The experimental points for the regression analysis of the four models (Eqs. (4) - (7)) and the standard approximation are taken from Refs. [2, 13-17]. Since in these papers the dependencies of $\gamma$ on the relative volume $\varepsilon = 1 - V/V_0$ are experimentally determined this variable is introduced in the present work. The standard approximation and Eqs. (4) - (7) take the form

(8) $$\gamma = \gamma_0(1-\varepsilon),$$

(9) $$\gamma = \gamma_0(1-\varepsilon) + \gamma_\infty\varepsilon,$$

(10) $$\gamma = \gamma_0(1-\varepsilon) + \gamma_\infty\varepsilon^2,$$

(11) $$\gamma = \gamma_0 - a\varepsilon,$$

(12) $$\gamma = \gamma_\infty + (\gamma_0 - \gamma_\infty)(1-\varepsilon)^m, m = \gamma_0/(\gamma_0 - \gamma_\infty).$$

The value of the Grüneisen ratio at ambient conditions $\gamma_0$ and $\gamma_\infty$ (the value of $\gamma$ at $P \to \infty$) are treated as the parameters to be determined from the best fit of the experimental points. The fitted quantities for Eq.(11) are $\gamma_0$ and the material dependent constant $a$.

The calculated results are presented in Tables (1) - (3) and Figs. (1), (2) and (3) along with the experimental data [2,13-17] for comparison. Figs. (1) - (3) show the curves for the volume dependence of the Grüneisen ratio for the three metals, sodium chloride and magnesium oxide.

Table 1: Coefficient of multiple determination $R^2$ and error in $\gamma_0$ [%] for *Cu*, *Fe*, and *K*.

| Metals → | Cu | | Fe | | K | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Equations ↓ | $R^2$ | Error in $\gamma_0$ [%] | $R^2$ | Error in $\gamma_0$ [%] | $R^2$ | Error in $\gamma_0$ [%] |
| Al'tshuler *et al* | 0.964 | 1.611 | 0.999 | 0.766 | 0.997 | 0.336 |
| LANL | 0.957 | 3.505 | 0.991 | 2.482 | 0.982 | 2.842 |
| Sandia Labs | 0.963 | 0.828 | 0.969 | 5.226 | 0.969 | 4.453 |
| LLNL | 0.957 | 3.505 | 0.991 | 2.482 | 0.982 | 2.842 |
| Std. appx. | 0.670 | 6.667 | 0.852 | 9.562 | 0.945 | 7.299 |

From Tables (1) - (3) and Figs. (1) - (3), we can see that Eqs. (9) - (12) are all in good agreement with the experimental data. In all cases Eq. (12) has the highest coefficient of multiple determination $R^2$ and the smallest error in $\gamma_0$. The errors in $\gamma_0$ for Eqs.(9) - (11) are within the range of the experimental errors and the coefficients of multiple determination $R^2$ are high enough for the models to be considered adequate. The common approximation (Eq.(8)) is the worst in all cases except sodium chloride. The volume variation of the Grüneisen ratio for $NaCl$ is adequately described by all models, although a slight departure of the '$(\gamma/V) = const.$' approximation from the other curves can be observed as $\varepsilon$ increases.

Table 2: Coefficient of multiple determination $R^2$ and error in $\gamma_0$ [%] for *NaCl* and *MgO*.

| Compounds → | NaCl | | MgO | |
|---|---|---|---|---|
| Equations ↓ | $R^2$ | Error in $\gamma_0$ [%] | $R^2$ | Error in $\gamma_0$ [%] |
| Al'tshuler *et al* | 0.999 | 0.12 | 0.995 | 0.21 |
| LANL | 0.999 | 0.14 | 0.84 | 4.99 |
| Sandia Labs | 0.999 | 0.26 | 0.927 | 4.07 |
| LLNL | 0.999 | 0.14 | 0.84 | 4.99 |
| Std. appx. | 0.999 | 0.5 | 0.598 | 1.13 |

It can be readily seen from Figs.(1), (2) and (3) that in all cases Eq.(9) and Eq.(11) completely overlap. This is explained by the fact that both equations are represented by a linear model. If we write Eq.(9) in the form

(13) $$\gamma = \gamma_0 - (\gamma_0 - \gamma_\infty)\varepsilon$$

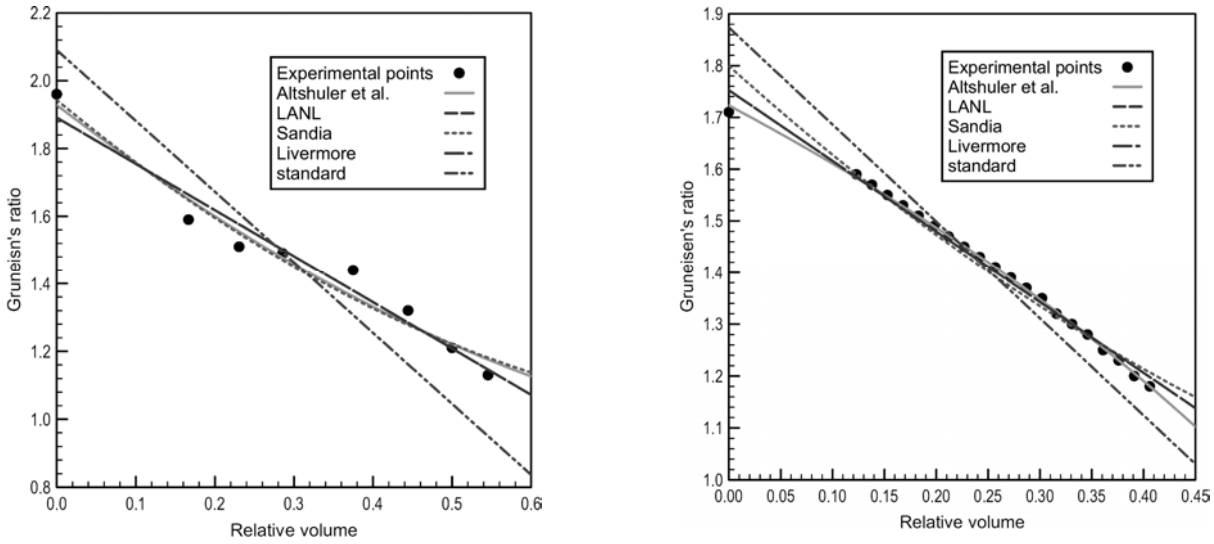



Fig. 1. Volume dependence of the Grüneisen ratio for *Cu* and *Fe*

Table 3: Values of $\gamma_\infty$ for all substances, considered in this paper.

| $\gamma_\infty$ | Cu | Fe | K | NaCl | MgO |
|---|---|---|---|---|---|
| LANL | 0.525 | 0.387 | -0.219 | -3.119 | 0.444 |
| Sandia | 1.001 | 0.838 | -0.504 | -0.085 | 1.321 |
| Al'tshuler *et al* | 0.936 | -8.423 | 0.552 | -1.511 | 1.105 |

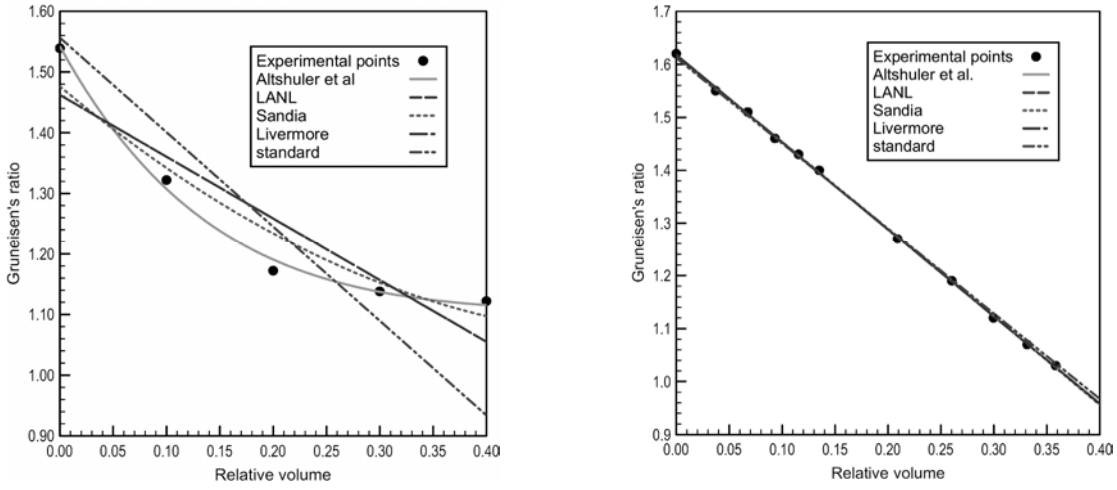



Fig. 2. Volume dependence of the Grüneisen ratio for *MgO* and *NaCl*

we can see that Eq.(9) and Eq.(11) will coincide if we assume $a = \gamma_0 - \gamma_\infty$. This assumption is confirmed by the regression analysis.

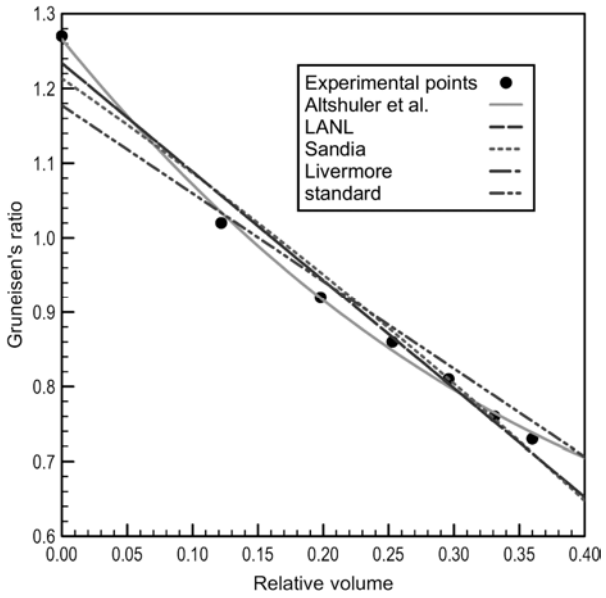



Fig. 3. Volume dependence of the Grüneisen ratio for *K*

Three of the considered models - Eqs.(9), (10), and (12) contain $\gamma_\infty$ (the value of $\gamma$ at $P \to \infty$). As pressures tend towards infinity, the values of the Grüneisen ratio tend to $\frac{2}{3}$ according to the model of Fermi's free electron gas, and tend to $\frac{1}{2}$ on the basis of the theory of an oscillating lattice of ions in a uniform neutralizing background of electrons. Al'tshuler *et al.* [13] assume $\frac{2}{3}$ to be the high pressure limit of $\gamma$ for all materials except alkali elements, for which $\gamma_\infty = \frac{1}{2}$. It can be noted that the results for $\gamma_\infty$ predicted from Eqs.(9), (10), and (12) are far from $\frac{2}{3}$ or $\frac{1}{2}$ (Table (3)).

### 3. Conclusions

The most frequently used in shock physics equations for the volume dependence of the Grüneisen ratio have been tested in the present work against available experimental data for $Cu, Fe, MgO$ and $NaCl$. The model, proposed by Al'tshuler *et al*. [13] is found to be superior to all other equations. All equations with the exception of the common approximation, i.e. Eq.(8), predict with good accuracy values of $\gamma$ at ambient conditions. The '$(\gamma / V) = const.$' model fails at higher compressions. The models, proposed by Bennet *et al*. [10] and by Royce [12] seem to be equivalent. None of the models gives correct predictions for the high pressure limit of $\gamma$.

The equation of Al'tshuler *et al*. [13] could be used in the construction of a complete EOS for solids from shock wave experiments at moderate pressures. If an expression for $\gamma$, valid in a wider range of pressures is needed, more research in the field is necessary. This could be a possible line for the continuation of the present work.

### References:


1. Grüneisen, E., in: *Handbuch der Physic*, ed. H.Greiger and K.Scheel. Springer, Berlin, 1926, vol.10, p.1.
2. Birch, F., "Equation of State and Thermodynamic Parameters of NaCl to 300 kbar in the High-Temperature Domain", *J.Geophys.Res.*, 91, 4949-4954 (1986).
3. Vocadlo, L., J.P. Poirer, and G.D. Price, "Grüneisen parameters and isothermal equations of state" *Am. Mineral*., 85(2), 390–395 (2000).
4. Knopoff, L. and J. N. Shapiro, "Comments on the Interrelationships between Grüneisen's Parameter and Shock and Isothermal Equations of State", *J.Geophys.Res.*, 74, 1439-1450 (1969).

5. A n d e r s o n, O. L., "The Grüneisen ratio for the last 30 years", *Geophys. J. Int.*, 143, 279-294 (2000).
6. P e n g, X., L. X i n g, and Zh. F a n g, "Comparing research on the pressure or volume dependence of Grüneisen parameter", *Physica B*, 394, 111-114 (2007).
7. S r i v a s t a v a, S.K. and P. S i n h a, "Analysis of volume dependence of Grüneisen ratio", *Physica B*, 404, 4316-4320 (2009).
8. G u a n g-l e l C u l and R u i-l a n Y u, "Volume and pressure dependence of the Grüneisen parameter $\gamma$ for solids at high temperature", *Physica B*, 390, 220-224 (2007).
9. A n d e r s o n, O. L., "Evidence Supporting the Approximation $\gamma\rho = const$ for the Grüneisen parameter of the Earth's Lower Mantle", *J.Geophys.Res.*, 84, 3537-3542 (1979).
10. B e n n e t, B.I., J.D. J o h n s o n, G.I. K e r l e y, and G.T. R o o t, *Los Alamos Scientific Laboratory report LA--7130* (1978).
11. T h o m s o n, S.L. and H.S. L a u s o n, *Sandia Corporation report SC-RR-710714* (1972).
12. R o y c e, E. *Lawrence Livermore Laboratory report UCRL 51121* (1971).
13. A l t s h u l e r, L.V., S.E. B r u s n i k i n, and E.A. K u z m e n k o v, "Isotherms and Grüneisen Functions for 25 Metals", *Zhurnal Prikladnoi Mekhaniki i Tekhnicheskoi Fiziki*, 1987, No. 1, pp. 134-146. (English trans., *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, Vol. 28, No. 1, 1987, pp. 129-141)
14. A n d e r s o n, O. L., L. D u b r o v i n s k y, S. K. S a x e n a, and T. L e B i h a n, "Experimental vibrational Grüneisen ratio values for $\varepsilon$-iron up to 330 GPa at 300 K", *Geophys. Res. Lett.*, 28(2), 399-402 (2001).
15. A n d e r s o n, O. L., L. D u b r o v i n s k y, S. K. S a x e n a, and T. L e B i h a n, Correction to “Experimental vibrational Grüneisen ratio values for $\varepsilon$-iron up to 330 GPa at 300 K”, *Geophys. Res. Lett.*, 28(12), 2359 (2001).
16. B o e h l e r, R., "Melting temperature, adiabats, and Grüneisen parameter of lithium, sodium and potassium versus pressure", *Phys. Rev. B* 27, 6754 (1983).
17. A n d e r s o n, O. L., H. O d a, A. C h o p e l a s, and D. G. I s a a k, "A thermodynamic theory of the Grüneisen ratio at extreme conditions: MgO as an example", *Phys.Chem.Min*, 19(6), 369-380 (1993).

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ТРИБОЕМИСИОННИ ЯВЛЕНИЯ В МЕТАЛИТЕ ПРИ ТРИЕНЕ ВЪВ ВАКУУМ

**Тинка Грозданова**

*Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*e-mail: tinka_gr@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Трибоемисия, метали, вакуум.*

***Резюме:*** *В статията са разгледани трибоемисионните явления и механизма на тяхното образуване при сухо триене на метали във вакуум. Описан е процесът на газоотделяне и газопоглъщане като следствие от състоянието и профила на контактната област.*

# TRIBOEMISSION PHENOMENA IN METALS UNDER FRICTION VACUUM CONDITIONS

**Tinka Grozdanova**

*Space Research and Technology Institute - Bulgarian Aiademy of Sciences*
*e-mail: tinka_gr@abv.bg*

***Keywords:*** *Triboemission, metals, vacuum conditions.*

***Abstract :*** *The paper describes the triboemission phenomena produced by friction of solids in vacuum. It presents classification by tipe as well as some of the mechanisms of triboemission.*

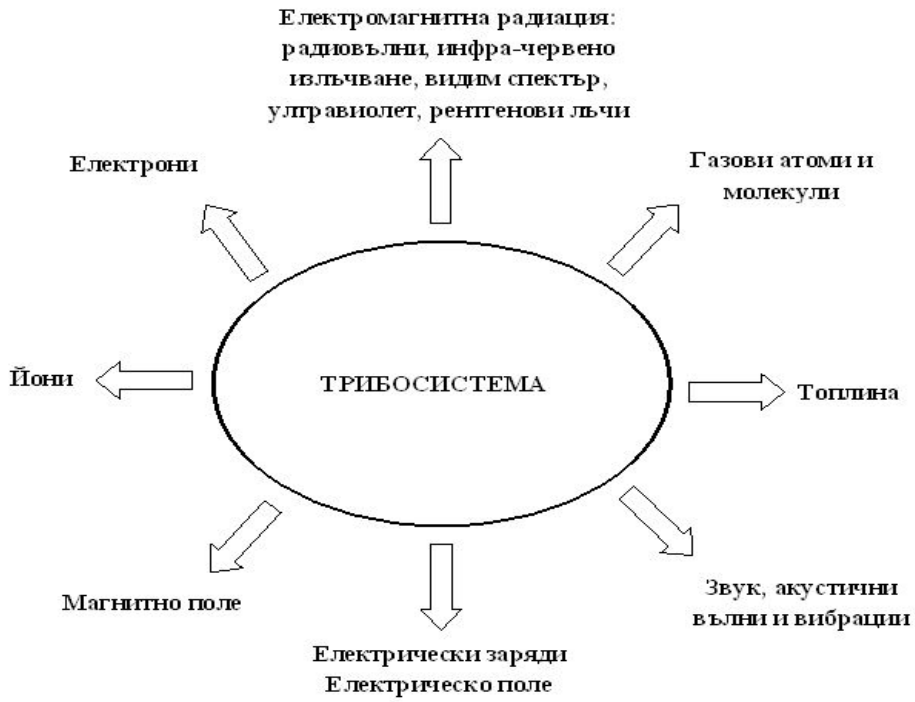
## 1. Въведение

В процеса на механично взаимодействие между метали се наблюдават редица явления, обобщени под названието механоемисия. Това понятие включва множеството от механични действия и излъчвания от различно физическо естество, които зависят от типа на материала, обкръжаващата среда и условията на извършването им. Механоемисионните ефекти са обект на изучаване от учените в областите физика и химия, като в последно време изследванията са насчоени по-специално върху електромагнитните аспекти.

За дефиниране на емисията при различните видове механично взаимодействие са въведени специфични определения. Така например : за триене – трибоемисия, за счупване – фрактоемисия и т.н.

Трибоемисионните явления могат да бъдат класифицирани по няколко признака: по вид, по физическо естество, по среда на разпространение, посока и др. Обособени са осем главни типа: I – емисия на газови атоми и молекули, II – емисия на електро-магнитна радиация, III – емисия на електрони, IV – емисия на йони, V – емисия на магнитно поле, VI – емисия на електрическо поле, VII – емисия на шум, акустични вълни и вибрации, VIII – емисия на топлина [1] .

Образно те са представени на фиг.1.




Фиг. 1. Схематично представяне на класификацията на трибоемисията

**2. Условия и механизми на образуване на трибоемисията**

Известно е, че механоемисията произлиза от образуваните в метала високоенергийни активирани състояния. В процеса на механично въздействие или механична обработка се получава разкъсване на химическите връзки вследствие на пластична деформация, счупване или изтриване на повърхностни слоеве. Преди да се разсее във вид на топлина, механичната работа, която предизвиква пластичната деформация и разкъсването на химическите връзки, създава в материала тези енергийно-стимулирани състояния. Те се формират, защото количеството освободена енергия надвишава количеството разсеяна енергия [1,5]. Съставени са от вибрационно- и електронно-възбудени връзки, йони, метастабилни атомни групи и други метастабилни обекти, и допринасят за възникването на свободни електрони, йони, молекули и др.

При триенето делът и влиянието на електрическите ефекти нараства в резултат от наелектризирането на повърхността. Трибонаелектризирането е дефинирано като генериране на електрически заряди, породено от взаимното плъзгане.

В условията на вакуум при металите се наблюдават няколко явления: контактна потенциална разлика (КПР); десорбция, адсорбция, абсорбция и разтваряне на газове и др.

КПР се образува в резултат на преноса на заряди между контактуващите тела и е в зависимост от отделителната работа на електрона на двата материала [3,8].

Трибостимулираната десорбция, адсорбция, абсорбция и механично предизвиканото разтваряне на газове в обема на материала са ефекти, които преобладават в трибосистемите и са свързани с емисията на атоми и молекули [2,5].

Много видове трибоконтакти се характеризират с тясна и разцепена форма на напречното им сечение [1]. Ширината на цепнатината постепенно се увеличава с нарастване на разстоянието от контактната област. Цепнатинно-подобният профил на трибоконтакта действа като капиляр за кондензацията на парните фази, а така също и като уловител на адсорбираните молекули. Дори и при висок вакуум повърхностната концентрация на адсорбирани водни молекули около триещия контакт е на порядък по-висока, отколкото върху свободната повърхност. Вследствие на механичното въздействие, количеството адсорбирани молекули може да бъде разтворено в материала. Това действие е доказано експериментално и съществуват няколко хипотези за неговото обяснение:

1. Пренос на адсорбционни молекули от дислокациите в материала.

2. Фрикционно затопляне и събиране на механично-изстискания адсорбат.

3. Трибохимични реакции и необратимо-химична абсорбция, подпомогната от топлинната дифузия на адсорбента в обема на материала.

4. Механично смесване на върхните слоеве на контактните повърхности и др.

Степента на влияние на тези механизми зависи от вида на материала, от параметрите на трибопроцеса, околната среда и т.н.

### 3. Заключение

Изследването и изучаването на трибоемисионните явления могат да подпомогнат практическата дейност и развитието на много индустриални приложения. Трибоемисията може да се използва като източник на важна информация при триене на металите и въобще на твърди тела. Тя може да покаже степента на износване директно от трибоконтакта, което да послужи за диагностика на триещите се повърхности. Важността на електронния трансфер и екзоелектронната емисия за трибохимичните реакции е доказана отдавна. Чрез контролиране на трибоемисията може да се подобри сигурността, надеждността и трайността на трибоконтакта.

**Литература**:


1. N e v s h u p a, R. A. Triboemission: an attempt of generalized classification, TRIBOLOGY. Science and Application, Proceedings of the Review Conference on the scientific cooperation between Austria, Poland and their world-wide partners, especialli from middle-european countries, April 23 -27, 2003, Vienna, 11-25.
2. D r o z d o v, Yu. N., V. G. P a v l o v, V. N. P u c h k o v. Friction and Wear in Extreme Conditions, Mashinostroenie, Moskva, 1986 (in Russian).
3. S i m e o n o v a, Yu. Study of New Materials and Coatings with Improved Antifrictional Properties for Space Applications, Work of Habilitation, SRTI - BAS, Sofia, 2004.
4. K r a g e l s k i i, V., I. M. L o m b a r s k i i, A. A. G u s l i a k o v, G. I. T r o i a n o v s k a i a, V. F. U d o v e n k o. Friction and Wear in Vacuum, Mashinostroenie, Moskva, 1973 (in Russian).
5. K a n a r c h u k, V. E. Adaptation of materials to dynamic impacts, Kiev, Naoukova dumka, 1986.
6. G r o z d a n o v a, T. Specific Effects in Tribomaterials Used in Space Conditions, SES 2010, Proceedings of the Sixth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY, November 2 - 4, 2010, Sofia, Bulgaria, 144 -147.
7. G r o z d a n o v a, T. Divelopment of Tribological Materials Intended to Operate in Vacuum, Proceedings of 26-th International Scientific Conference 65 Years Faculti of Mashine Technology, September 13 -16, 2010, Sozopol, Bulgaria, 612-614.
8. web. uni-plovdiv.bg/yovcheva/…/EM %20-%20Lecture%2026 pdf, Contemporary Theory of Conductivity in Metals, 2011.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ТРИБОЛОГИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЯВЛЕНИЯ В АЛУМИНИЕВИ МАТЕРИАЛИ В КОСМИЧЕСКИ УСЛОВИЯ

**Тинка Грозданова**

*Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*e-mail: tinka_gr@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Алуминий, трибоемисия, вакуум.*

***Резюме:*** *В статията са описани свойствата на алуминия и резултатите от трибологичните изследвания при сухо триене във вакум. Разгледани са някои изменения в структурата на атомите и характеристиките на материала в случай на радиационно въздействие.*

# TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC AND PHENOMENA OF ALUMINUM MATERIALS IN SPACE CONDITIONS

**Tinka Grozdanova**

*Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: tinka_gr@abv.bg*

***Keywords:*** *Aluminum, vacuum, friction, triboemission.*

***Abstract:*** *The paper describes the properties of aluminum, which are important for the practical usage of the material in different aerospace technologies. However, the tribotechnical testing results shown below prove that it is not suitable in case of friction in vacuum. Some atomistic structure changes are discussed as well as material characteristics under the influence of radiation.*

## 1. Въведение

Космосът, като работна среда, налага екстремални условия за работа на космическата апаратура. Материалите са подложени на комплекс от въздействия: циклично-изменящи се температури, вакуум, радиация, електро-магнитни полета с широк спектър, потоци от частици с голям енергиен диапазон, йонизиращи газове с висока химическа активност, микрогравитация и т.н.

Като конструктивен материал, алуминият има много голямо приложение в аеро - космическата техника. Той е най-широко разпространеният метал в земната кора и притежава редица качества: малко относително тегло и плътност, висока топлопроводимост и електропроводимост, добра корозоустойчивост, добро отражение, възможност за повърхностна обработка и лекота за изпълнение, ниска цена, широка гама от сплави и т.н.

Манганът повишава неговата издръжливост; магнезият подобрява корозоустойчивостта и механичната здравина; магнезият и силицият увеличават механичната устойчивост, формоването и корозоустойчивостта; медта подобрява якостта и заваряемостта; цинкът, в комбинация с други елементи, също увеличава якостта; силицият понижава точката на топене и засилва износоустойчивостта [1].

Извършените изследвания обаче показват, че алуминият не е подходящ материал за триботехнически приложения, поради своята пластичност и сравнително висок коефициент на триене.Това води до бързото му разрушаване, особено при по - тежки режими на работа.

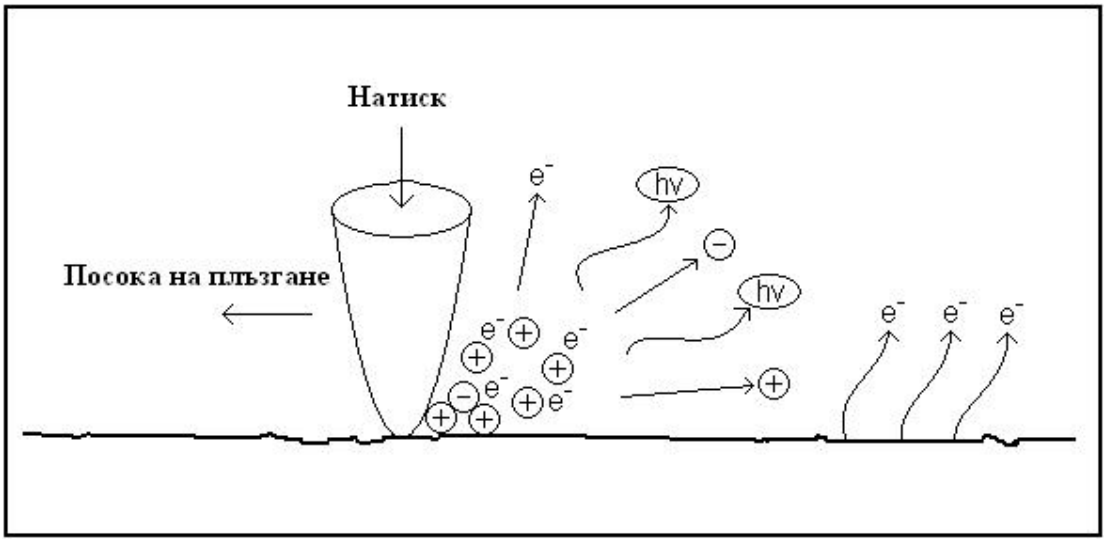
**2. Експериментални данни**

2.1. Изследвания във вакуум.

При сухото триене на метали във вакуум се получава взаимодействие между повърхности, изчистени от окисни и други слоеве. В образувания ювенилен контакт се развиват висока температура, силна химическа активност и увеличена пластична деформация [2,3].

Изпитанието на трибодвойка от силумин (Al,Si,C) и бронз (Cu,Sn,C) в трибосистема вал - втулка показва, че съдържащият се в тях графит не служи като твърда смазка поради своята летливост и неефективност в отсъствието на влага [4]. Освен това се забелязва и абразивен ефект от силициевия карбид, съставен от свободни атоми въглерод и силиций. Едновременно с това настъпва пластична деформация и нараства силата на адхезия, което предизвиква силно увеличение на пусковия ток на електродвигателя, задвижващ механизма.

С проведените съвременни експерименти при абразия на алуминий и $Al_2O_3$ се прави наблюдение на получената трибоемисия (фиг.1). Анализите са насочени към намиране на корелация между параметрите на трибопроцеса, трибологичните показатели и трибоемисионните явления.




Фиг. 1. Трибоемисия на електрони, йони, неутрални частици и фотони получени в резултат на триенето.

Както се вижда от фигурата, в областта на трибоконтакта настъпва емисия на електрони, йони, неутрални частици, фотони и др., породени от протичащите в материала физико - химически изменения. Количеството електрони, отделени от повърхността в конкретна област за определено време, се счита за най-важният решаващ фактор при търсене на зависимостта между трибоемисията и трибохимическите реакции.

Измервания на трибоемисията на $Al_2O_3$ във вакуум показват, че кумулативната емисия на електрони варира и настъпва на порции в произволни интервали от време от 10 електрона за секунда до 1000 електрона за 0,1 сек. [5].

Някои анализи показват, че има голяма зависимост между локалната структура на повърхността на пукнатината и намаляването на резултантната емисия [6].

Установено е, че създаването и разпространението на пукнатини в алуминиевия окис вследствие на деформационното разтягане е пряко свързано с трибоемисията. Едновременно с образуването на пукнатината се регистрира и акустична емисия [7].

Проведеният експеримент [6] използва диск от $Al_2O_3$ с диаметър 1 инч и диамантен индентор във вакуум. При сила на триене 10N и 20N и скорост на движение 0,28-0,03 mm/s електронната емисия е отчетена посредством тунелен електронен преобразувател и е измерена с електрнен детектор на частици. При еднакви условия на провежданите измервания, е регистрирана голяма променливост на данните.

2.2. Въздействие на радиацията.

В случай, че металите са подложени на поток от високо-енергийни електрони, взаимодействието с тях се изразява с няколко явления:

1. Проникване на електроните до известна дълбочина в метала.
2. Разсейване на енергията на електронния поток.
3. Поява на интензивно рентгеново лъчение.
4. Възникване на вторична електронна емисия.
5. Механично налягане на електронния поток.
6. Образуване на дефекти в обема и т.н.

Дълбочината на проникване на електроните в метала се определя от тяхната енергията и физическите свойства на материала [8]. За алуминия тя е по-голяма, в сравнение с желязото и медта, и нараства с увеличение на енергията на електронния поток.

Ако дебелината на материала надвишава максималната стойност на пробега на електроните в него се извършва почти пълно поглъщане на кинетичната енергия на електроните. С използването на мощни електронни потоци се получава интензивно локално откаляване на повърхностните слоеве на метала. Когато енергията, предадена от електроните на атома на метала е равна или по-голяма от неговата прагова енергия, този атом може да премине в междувъзлието с образуване на точков дефект.

При облъчване в условията на повишена температура дефектите могат да се преместват, взаимодействайки помежду си и с други несъвършенства на кристалната решетка. Повишаването на температурата на облъчвания метал се съпровожда с иницииране на вторични ефекти: обединяване на ваканции и междувъзлови атоми; нарастване на дискообразни натрупвания, които могат да се превърнат в дислокационни бримки и др. Всичко това, взето заедно, се отразява в голяма степен върху физическите свойства на материала.

В процеса на облъчване на чисти метали се наблюдава повишаване на границата на провлачване и в по-малка степен – границата на здравината [8]. В същото време се влошават такива характеристики като ударната пластичност и и относителното удължаване до разрушаване. Състоянието но материала има голямо значение и за степента на въздействие. Колкото по - неравновесно е състоянието на материала, толкова повече се наблюдават отклонения от началните параметри в резултат на облъчването.

Облъчването на тънки нишки незакален алуминий с плътност на потока $10^{15}$ e- / $cm^2$.s не предизвиква изменение на електрическото му съпротивление; в същото време при закалени образци се наблюдава намаляване до 1,5 пъти.

Облъчването на металите с неутрони предизвиква най-съществени повреди в сравнение с другите ядрени частици. Възникващите в този случай дефекти оказват забележимо изменение на границата на провлачване, твърдостта на материала, относителното удължаване и т.н. Изследването на алуминий и мед показва, че радиационното заздравяване е по-голямо в сравнение със сплавите на тяхна основа, което показва стабилизиращата функция на примесните атоми.

И при двата вида въздействие – с електрони и неутрони, концентрацията на дислокациите зависи от температурата. Установено е [9] , че при по-висока температура на експеримента, тази концентрация е по-ниска.

### 3. Заключение

При абразия на Al и $Al_2O_3$ се отчита, че кумулативната емисия на електрони е пропорционална на силата на въздействие. Допуска се също така, че има зависимост между нея и количеството на матални частици, образувани при триенето. Установяването на строга корелация между кумулативната трибоемисия, силата на триене и степента на износване превръща трибоемисията във високоефективно средство за проучване на износването в реално време.

Радиационното облъчване стимулира различни физико-химически повърхностни процеси – химическата, адсорбционната и каталитичната активност на повърхностните слоеве. Комплексно те влияят на трибологичните процеси, протичащи в контактната област на свързването на детайлите на машините и устройствата като влошават трибологичните характеристики на материалите.

**Литература:**


1. Алуминий, http://bg.wikipedia.org/wiki/, 2011.
2. G r o z d a n o v a, T. Specific Effects in Tribomaterials Used in Space Conditions, SES 2010, Proceedings of the Sixth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY, November 2- 4, 2010, Sofia, Bulgaria, 144 -147.
3. G r o z d a n o v a, T. Divelopment of Tribological Materials Intended to Operate in Vacuum, Proceedings of 26-th International Scientific Conference 65 Years Faculti of Mashine Technology, September 13 -16, 2010, Sozopol, Bulgaria, 612-614.
4. S i m e o n o v a, Yu. Study of New Materials and Coatings with Improved Antifrictional Properties for Space Applications, Work of Habilitation, SRTI - BAS, Sofia, 2004.
5. M o l i n a, G. J., M. J. F u r e y, A. L. R i t t e r, C. K a i d a s. Triboemission from alumina, single crystal sapphire and aluminum. Wear 249, 2001, 214.
6. M a z i l u, D. A., A. L. R i t t e r. Statistical Characteristics of Vacuum Triboemission from Abrasion of Alumina. TRIBOLOGY. Science and Application, Proceedings of the Review Conference on the scientific cooperation between Austria, Poland and their world-wide partners, especialli from middle-european countries, April 23 -27, 2003, Vienna, 11-25.
7. Z u m o f e n, G., A. B l u m e n, J. K l a f t e r. Reaction kinetics on ultrametric spaces, J. Chem. Phys. 84, 1985, 6679.
8. D r o z d o v, Y. N., V. G. P a v l o v, V. N. P u c h k o v. Friction and Wear in Extreme Conditions, Mashinostroenie, Moskva,1986. (in Russian)
9. K r a g e l s k i I, I. V., I. M. L o m b a r s k i i, A. A. G u s l i a k o v, G. I. T r o i a n o v s k a i a, V. F. U d o v e n k o. Friction and Wear in Vacuum, (1973), Mashinostroenie, Moskva, 1973. (in Russian).

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ НА РАДИОУПРАВЛЯЕМИ ИМПРОВИЗИРАНИ ВЗРИВНИ УСТРОЙСТВА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПРЕДАВАТЕЛИ НА СМУЩЕНИЯ МОНТИРАНИ НА БЛА

**Слави Славов[1], Георги Сотиров[2], Мая Божилова[3]**

*[1]ИМСТЦХА - Българска академия на науките*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*[3]Институт по отбрана - МО*
*e-mail: slavi.slavov@gmail.com, gsotirov@space.bas.bg,bojilova@gmail.com*

***Ключови думи:*** *Радиоуправляеми импровизирани взривни устройства, наблюдение, разузнаване*

***Резюме:*** *В доклада са представени основните характеристики на радиоуправляемите импровизирани взривни устройства (РУИВУ) и е предложен критерий за оценка на ефективността на противодействието с радиосмутители. Направена е оценка на повишаването на ефективността на противодействието при използване на безпилотни летателни апарати (БЛА).*

# ASSESSMENT OF POSSIBILITIES FOR COUNTERMEASURES OF RADIO CONTROLLED IMPROVISED EXPLOSIVE DEVICES USING JAMMERS MOUNTED ON UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

**Slavi Slavov[1], Georgi Sotirov[2], Maya Bozhilova[3]**

*[1]Institute of Metal Science, equipment, and technologies - Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[3]Defence Institute, Bulgaria*
*e-mail: slavi.slavov@gmail.com, gsotirov@space.bas.bg,bojilova@gmail.com*

***Keywords:*** *Radio controlled improvised explosive devices, jammers, countermeasures*

***Abstract:*** *In this paper are presented in brief primary characteristics of radio controlled improvised explosive devices (RCIED), and a criterion for assessment of jammer performance is introduced. Using this criterion, the possibilities for blocking of RCIED by man packed jammers are assessed.*

## Въведение

В съвременните военни и мироопазващи операции импровизираните взривни устройства (ИВУ) са сериозна заплаха за военнослужещите. Според отчетни документи на американската армия след 2007 година в Ирак и Афганистан над 80% от нещастните случаи са предизвикани от ИВУ.

„Импровизирани" означава, че става въпрос за промишлено произведени изделия с гражданско предназначение, които са приспособени в домашни условия за задействане на експлозив.

Най-често използвани са радиоуправляеми ИВУ (РУИВУ), при които се използва радиоприемно устройство за детонационен ключ. Основното предимство на РУИВУ се състои във възможността за разполагане на оператора, на достатъчно разстояние от взривното устройство, което осигурява неговата безопасност. При това може да се извършва визуален контрол на обстановката около обекта и избор на времето за задействане.

Терористите се стараят по възможност да действат скрито, без да привличат вниманието към себе си, както при изпълнението на терористичния акт, така и при подготовката на устройствата за него.

От тази гледна точка, значително по-просто е да се купи готово устройство за дистанционно радиоуправление от типа на пейджър, мобилен телефон, мобилна радиостанция, безжичен телефон, алармено-охранителна система, което елементарно се преработва за използване в конкретната ситуация. Очевидно е, че при това не се изключват и случаи на използване на РУИВУ на базата на специално разработена апаратура.

Актуалността на проблема е довела до търсене и анализиране на различни способи за противодействие на тези средства за тероризъм, включително и радиотехнически.

**Основните проблеми при противодействие на РУИВУ са:**

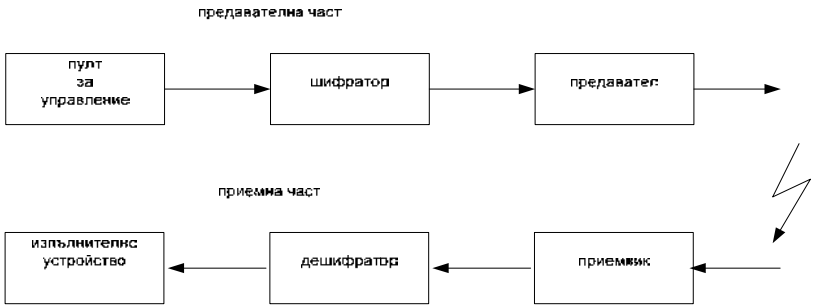
- неизвестно е срещу какъв тип комуникационно устройство се противодейства (клетъчен, сателитен или безжичен телефон, устройство за безжичен обмен на данни, walky-talky, дистанционно управление на играчки или гаражни врати и др.);
- широк честотен диапазон – от няколко десетки до няколко хиляди мегахерца;
- неизвестно и разстояние между предавателя и приемника на РУИВУ.

Разбирането на тези основни проблеми е от първостепенно значение, тъй като само тогава може да бъде реализирано най-подходящото според конкретната ситуация противодействие.

Тук ще бъдат разгледани накратко основните параметри на РУИВУ, ще бъде предложен критерий за оценка на ефективността на апаратурата за подавяне, по който ще бъдат оценени възможностите за подавяне на РУИВУ с носими предаватели на смущения.

**Характеристики на радиолиниите за управление**

Структурната схема РУИВУ е дадена на фиг. 1.




**Фиг. 1. Схема на радиолиния за управление на ИВУ**

Предаващата част на РУИВУ се състои от пулт за управление, шифратор, формиращ кода на командата, предавател с антена, генериращ и излъчващ радиосигнал с модулация, пренасящ командата до приемната част за взривяване. Приемната част се състои от антена, приемник на радиосигнала, дешифратор и изпълнително устройство, например електронен ключ или електромагнитно реле. Приемникът осъществява първична честотна селекция на радиосигналите и отделяне на командния сигнал. Кодът на приетата команда се сравнява в дешифратора с опорен код и при неговото съвпадане се формира команда към изпълнителното устройство. Изпълнителното устройство подава напрежение към огневата верига на устройството.

Основните параметри, характеризиращи РУИВУ са следните:

- честотен диапазон;
- далечина на свръзката;
- загуби по линията;
- ширина на честотната лента и чувствителност на приемника;
- способи на кодиране и модулация на сигнала.

Изброените параметри на РУИВУ в голяма степен определят възможностите за противодействие.

**Работни честоти на РУИВУ**

Честотните диапазони, които потенциално могат да бъдат използвани за реализиране на РУИВУ постоянно се увеличават с появата на нови технологии и комуникационни средства. Към момента най-вероятно е използването на честотен диапазон от 20 до 1000 MHz за VHF и UHF радио, а за клетъчните и сателитни комуникационни системи – 400 ÷ 2500 MHz.

**Далечина на свръзката**

Далечината на свръзката зависи от енергийния потенциал на передавателя и чувствителността на приемника. Енергийният потенциал представлява произведението на стойностите на мощността на изходния усилвател на предавателя и коефициента на усилване на излъчващата антена.

В носимите варианти на предавателите изходната мощност може да бъде до няколко вата. При подаване на командата от автомобил може да се използва автомобилна радиостанция, с изходна мощност до няколо десетки вата. В този случай далечината на действие на РУИВУ може да бъде значително по-голяма.

Ефективното усилване на предавателната и приемната антени се определя от конструкцията и техните допустими размери. Повечето антени, използвани в РУИВУ са ненасочени и са изпълнени във вид на телескопични антени или отрязани парчета проводници. В повечето случаи размерите на антените не съответстват на 0.25$\lambda$ ($\lambda$ – дължина на вълната), а са съществено по-къси, тъй като трябва да се обезпечи тяхната скритост. В честотния диапазон 20 ÷ 100 MHz размерите на антените са не повече от (0.05...0.1)$\lambda$ , което определя тяхната ниска ефективност. В по-високочестотните диапазони размерите на антените се приближават до 0.25$\lambda$, а за честоти 200-500 MHz могат да се използват рамкови антени с размери на навивките от порядъка на 25x50 мм. Неоптималността на размерите на антените води до това, че ефективното им усилване е не повече от минус 6 dB.

**Загуби по линията**

Загубите на мощност на сигнала по линията могат да бъдат разделени на поляризационни и загуби, свързани с разстоянието. Поляризационите загуби са предизвикани от неоптималното разположение на излъчващата и приемната антена една спрямо друга, поради изискването за скритост. В този случай допълнителните загуби може да се оценят на 3 dB [2].

В градски условия на далечината на действие влияят типа окръжаващите сгради и плътноста на застроеност. Поради близостта на линията на разпространение на сигнала близо до земната повърхност, мощността на сигнала намалява пропорционало на 4-та степен вместо на 2-а за случая на разпространение в свободното пространство.

При използване на клетъчни телефони се приема, че мощността на сигнала от базовата станция към телефона намалява пропорционално на 3-та степен.

**Ширина на честотната лента и чувствителност на приемника**

В РУИВУ могат да се използват приемници, работещи по суперхетеродинна или свръхрегенеративна схема. Съгласуваните със спектъра на командния сигнал честотни ленти на приемника по висока честота представляват 5-20 kHz за суперхетеродинните и 200-300 kHz за свръхрегенеративните. Най-вероятната стойност на чувствителността на приемника е от 2 до 10 μV при разстояние на действие 100-300 m.

За клетъчните телефони честотната лента е 200 kHz.

**Способи на кодиране и модулация на сигнала**

В РУИВУ може да се очаква използване на честотно-модулирани и амплитудно-манипулирани сигнали, носещи кодирана информация. При липса на кодиране радиолинията е с ниска устойчивост към смущения, които даже при неголяма мощност може да предизвикат преждевременно сработване на изпълнителното устройство. За намаляване на вероятността за лъжливо сработвате се използва кодиран управляващ сигнал. Командите в най-прост вариант могат да се предават във вид на честотно манипулирани съобщения с последователно предаване на кодови комбинации от 2-5 честоти в диапазона 1 ÷ 10 kHz или във вид на двойчен код с дължина 8, 12, 16 бит и повече. Продължителността на съобщението може да бъде между 15 и 2000 ms.

**Радиоелектронно подавяне на РУИВУ**

Подавянето на РУИВУ може да се осъществи чрез нарушаване на нормалното функциониране, предизвикващо неизпълнение на командата или чрез стимулиране на преждевременно задействане на ИВУ. Последното може да се постигне чрез имитация на команден сигнал, а също и когато в ИВУ не се използва кодиран команден сигнал, но не е предмет на настоящото разглеждане.

За създаване на смущения на РУИВУ могат да бъдат използвани [1, 3]:

- предаватели на правошумови смущения;
- предаватели с модулация на шумовете и/или псевдослучайни последователности;
- честотно-сканиращи предаватели;
- кратковременни предаватели, включително искрови.

Предавателят на радиоелектрони смущения може опростено да се представи във вид на последователно свързани генератор на шумов сигнал, широколентов усилвател на мощност и антенна система, както е показано на фиг. 2.

**Фиг. 2. Структурна схема на предавател на радиоелектронни смущения**

Генераторът на шумовите сигнали е най-сложната част на предавателя на радиоелектронни смущения. Той се реализира на аналогова и цифрова елементна база, което позволява с помощта на цифрово управление не само да се осъществява контрол на функционирането на предавателя, но и оперативно да се променят параметрите и режимите на създаваните смущения. Формираният шумов сигнал се усилва до необходимата мощност (която също може да се задава оперативно) и се излъчва от антенната система.

Като се има предвид необходимостта от създаване на изключително широколентови смущения за предавателите, е характерно многоканалното изпълнение. Това на първо място е свързано с трудности при реализацията на антенната система. Трудно е да се създаде високоефективна антена с приемливи габарити, покриваща широк честотен диапазон, особено за ниски честоти. Например, антена във вид на полувълнов вибратор за честота 20 MHz ще има размер 7 m, което е недопустимо не само за носим вариант на предавателя, а също и за автомобилен. За покриване на диапазон от 20 до 500 MHz е необходимо да се раздели поне на 2 поддиапазона. При това, за най-нискочестотния диапазон е необходима специална антена, която притежава необходимата ефективност и широколентовост в съчетание с приемливи габарити. При това загубите, възникващи поради неоптималните размери на антената и необходимостта от въвеждане на съгласуващи устройства трябва да се компенсират с увеличение на мощността на подавания към нея шумов сигнал.

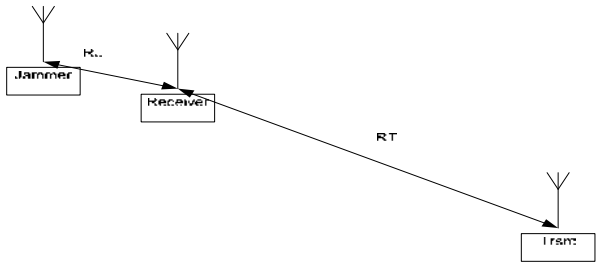
Броят на каналите на предавателя на смущения зависи не само от конфигурацията на антената система, но и от широколентовостта на крайните усилватели на мощност. Най-доброто решение е всеки изходен усилвател да работи със своя оптимизирана антена. Такова решение обаче е неприемливо за носимите предаватели на смущения, където обикновено се стремят да намалят до минимум броя на антените за сметка на използване на една широколентова антена за високочестотната част на работния диапазон (100 ÷ 1000 MHz) и една антена в нискочестотната област (20 ÷ 100 MHz). За покриване на диапазона от 100 до 1000 MHz ще са необходими поне два широколентови усилвателя на мощност, които чрез честотно избирателен суматор работят на обща антена.

**Критерии за радиоелектронно подавяне**

Предавателят на смущения създава около себе си зона на безопасност, в която се осигурява ефективно подавяне на приемника на РУИВУ. Тъй като и в предавателя на РУИВУ и в предавателя на смущения се използват обикновено ненасочени антени, зоната на безопасност по своята форма в азимуталната равнина е близка до окръжност, центъра на която съвпада с местоположението на предавателя на смущения.

Ефективността на предавателя на смущения може да бъде оценена по разстоянието от мястото на приемника на ИВУ до предавателя на смущения, при което се осигурява подавяне на радиолинията, за някакво зададено разстояние между предавателя и приемника на ИВУ. Разстоянието между приемника на РУВ и предавателя на смущения представлява далечина

(радиус) на защита ($R_J$), което определя размерите на зоната на безопасност. При разстояние между предавателя на смущения и приемника на ИВУ, не по-голямо от $R_J$, подаваната от предавателя команда няма да доведе до задействане на ИВУ (фиг. 3). От направените проучвания се оказа, че практически във всички рекламни материали не се уточнява разстоянието между предавателя и приемника на ИВУ, което не позволява да се оцени реалната ефективност на един или друг предавател на смущения. Затова използването на $R_J$ на практика е безполезно и подвеждащо.




**Фиг. 3. Определяне на коефициента на защита**

В реални условия отдалечеността на предавателя от приемника на РУВ е неизвестно и може да си променя в широки граници, а следователно, и далалечината на защита, която се осигурява в конкретните условия, може значително да се отличава от посочената в рекламните материали. За обективен критерий за ефективността на защитата може да се използва относителния коефициент, предложен в [2]:

(1) $K = R_J/R_T$,

където RT е минималното разстояние между предавателя и приемника на РУВ при зазадена далечина на защита $R_J$, при което все още се осигурява несработване на приемника на РУВ.

Коефициента K е функция на параметите на предавателя на смущения и РУИВУ и не зависи от взаимното им разположение. За широколентово смущение и разположение на антените на приемника и передавателя на смущения близо до повърхността на земята

(2) $$K = \sqrt[4]{\frac{\eta P_J G_J W_R}{\alpha P_T G_T W_J}},$$

където:

α – прагово отношение шум/сигнал на входа на приемника на РУВ, при което настъпва неговото подавяне;

$P_TG_T$ – енергиен потенциал на предавателя на РУВ;

$P_JG_J$ – енергиен потенциал на предавателя на смущения;

$\eta$ – коефициент на качеството на смущенията;

$W_R$ – ефективна лента на пропускане на линейната част на приемника на РУВ;

$W_J$ – широчина на спектъра на шумовия сигнал.

Коефициентът на защита ще бъде толкова по-голям, колкото по-голяма е излъчваната мощност от предавателя на смущения и колкото по-тесен е спектъра на шумовия сигнал. С помощта на този показател, за всяка тактическа ситуация, характеризираща се с минимално разстояние, на което може да се приближи предавателят до приемника на РВУ, може да се изчисли далечината на защита, осигурявана от предавателя на смущения.

Коефициентът на защита обикновено се определя експериментално за типови условия (полеви условия, градска среда) и при еднакви параметри на РУИВУ позволява обективно да се сравняват различни типове предаватели на смущения.

Практически интерес представлява стойността на далечината на защита, която трябва да превишава радиуса на зоната на поражение на бойната част на ИВУ. Мощните и сигналните заряди с насочено действие, с възможности за поразяване на голямо разстояние, са достъпни само за подготвени специалисти. За останалите типове заряди, радиусът на зоната на поражение се определя основно от масата на взривното вещество. Типичният радиус на фугасно поражение при мощност на заряда 100-500 g тротил е 2-5 m [2]. При това приемливата далечина на защита ще бъде между 10 и 20 m. Вижда се, че при разстояние между предавателя и приемника на ИВУ 50 m, коефициентът на защита трябва да бъде не по-малък

от 0.2 ÷ 0.4 в зависимост от мощността на заряда. При разстояние 100 m може да се използва предавател с коефициент на защита 0.1-0.2.

**Енергиен потенциал на преносимите предаватели на смущения**

От определението за коефициент на защита следва, че увеличаването на зоната за безопасност може да стане за сметка на увеличаване на енергийния потенциал на предавателя на смущения, подобряване на качеството на смущенията и намаляване на широчината на спектъра на смущенията. Подобряването на качеството на смущенията теоретично е ограничено. Затова увеличаването на зоната на безопасност може да стане само чрез използване на предавател на смущения с по-голяма изходна мощност и по-голям коефициент на усилване на предавателната антена.

Основните фактори, ограничаващи мощността на смущенията за преносимите устройства са:

- мощността и капацитета на източника на захранване;
- масата и размерите на източника на захранване;
- масата и размерите на необходимите охлаждащи радиатори, както и консумацията на използваните охлаждащи вентилатори;
- необходимостта от разполагане на много антени на ограничена площ;
- допустимото облъчване на обслужващия персонал трябва да бъде в нормите, съгласно БДС 14525-90, БДС 14137-90 (STANAG 2345 не е ратифициран към момента у нас).

Изброените фактори не позволяват да се осигури продължително излъчване на мощен смущаващ сигнал в широка честотна лента при приемливи маса и габарити на предавателя на смущения.

Съществуващите акумулатори с гранични специфични характеристики обезпечават генериране на изходна мощност 120 W в продължение на един час или 60 W в продължение на 2 часа при тегло от 5 до 7 kg.

При това обаче е необходимо да се разсеят минимум 360 W (180 W), което при изисквания за работа при температура на околната среда до 55°C и допустима температура на електронните компоненти 75°C изисква радиатори с тегло около 10 kg и евентуално използване на охлаждащи вентилатори.

**Предимства при използване на предаватели на смущения монтирани на БЛА**

Монтирането на предавателя на смущения на БЛА практически означава повдигане на предавателната антена и промяна на разпространението на радиовълните излъчени от предавателя.

Особено ефективно е използването на БЛА:

- за противодействие на РУИВУ в честотния диапазон над 400 MHz (GSM900, CDMA, GSM1800, 3G) поради намаляване на дължината на предавателните антени и съответно по-лесен монтаж на БЛА;
- за противодействие на ИВУ задействани от GPS.

**Заключение**

Направени са изчисления за определяне на коефициента на защита при 45 W предавател на смущения за честотната лента 20 ÷ 1000 MHz без клетъчните телефони в този диапазон, при мощност на предавателя 5W. Получена е оценка за K = 0,1.

За GSM900, CDMA, GSM1800, 3G, и сателитните телефони при 50 W предавател на смущения, оценката е K = 0,05 ÷ 0,08. При използване на предавател на смущения монтиран на БЛА - K = 0,1 ÷ 0,16.

**Литература:**


1. П а л и й, А. И., Радиоэлектронная борьба, М., Воениздат, 1981.
2. И с х а к о в, Б. С., В. Л. К а р а г а ш и н, Л. М. Ю д и н, Проблемы борьбы с радиоуправляемыми взривными устройствами, Специальная техника, № 2, 2000.
3. A d a m y, D. L., Introduction to Electronic Warfare Modeling and Simulation, Artech House, 2003.
4. П е р у н о в, Ю. М., К. И. Ф о м и ч е в, Л. М. Ю д и н, Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием, М.; Радиотехника, 2003.
5. Ч е р н ы й, Ф. Б., Распространение радиоволн. 2-е изд., доп. и переработ. М., «Сов. Радио», 1972
6. How military radio communications are intercepted? www.aeronautics.ru
7. Planet AeroSpace № 14 Jan.-Feb. - March 2004 pp. 26-30
8. V a k i n, S. A., L. N . S h u s t o v, R. H. D u n w e l l, Fundamentals of Electronic Warfare, Artech House Radar Library , UK, 2001.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# СИСТЕМАТИЗИРАНЕ НА КРИТЕРИИ, ПРИЗНАЦИ И ПАРАМЕТРИ, ПРИЛАГАНИ ЗА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ЦЕЛИТЕ В СИСТЕМИТЕ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ, РАЗУЗНАВАНЕ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ

**Велко Велков, Слави Славов[1]**

*[1]ИМСТЦХА - Българска академия на науките*
*e-mail: velvel@mail.bg; slavi.slavov@gmail.com*

***Ключови думи:*** *Класификация, наблюдение, разузнанаване*

***Резюме:*** *Доклада представя проведените анализ и сравнителна оценка във връзка със систематизирането и обобщаването на прилаганите критерии, признаци и параметри при известните методи за класификация на целите в съвременните системи за наблюдение, разузнаване и противодействие.*

# SYSTEMATIZATION OF CRITERIA, SIGNS AND PARAMETERS, APPLIED TO TARGET CLASSIFICATION IN SURVEILLANCE, RECONNAISSANCE AND COUNTERMEASURE SYSTEMS

**Velko Velkov, Slavi Slavov[1]**

*[1]IMSETHAC – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: velvel@mail.bg; slavi.slavov@gmail.com*

***Keywords:*** *Classification, surveillance, reconnaissance*

***Abstract:*** *The report represents analysis and comparative estimation regarding systematization and summing up of applied criteria, signs and parameters of known methodes of target classification in contemporary surveillance, intelligence and countermeasure systems.*

## Въведение

Класификацията на целите в системите за наблюдение и разузнаване на въздушното, морско и наземно пространство заема важно място в процеса на обработката на сигналите и данните в тези системи. Това обстоятелство е свързано с необходимостта и изискването към тези системи за получаването на пълнота, изчерпателност, висока точност и еднозначност на наблюдаваната обстановка и идентификацията на вида на целите, каквато е крайната цел на всяка система за наблюдение и разузнаване. Все още, дори в съвременните системи за наблюдение и разузнаване, този процес не е напълно автоматизиран и често е прерогатив на операторите на съответните системи, поради високите изисквания към достоверността и не противоречивостта на приетото решение, което е задача трудно реализуема дори от сложните съвременни автомати. Особена тежест придобива класификацията на целите при системи с безоператорно управление, където автомат, на базата на решаващо правило, изработва сигнал за управление на съответното техническо средство, чрез краен автомат.

Въпреки голямото разнообразие на цели в наблюдаваната от съвременните системи обстановка и като следствие широките диапазони на признаци и показатели за класификация и спектър на обработваните сигнали, има много общи елементи в процеса на обработка на сигналите и информацията във връзка с класификацията на целите, често в съвременните сложни системи за наблюдение, базирани на различни сензори за наблюдение. Опитът от проектирането, разработването и експлоатацията на сензори и системи за наблюдение в нашата страна и армия, позволява да бъде извършен анализ и систематизиране на

прилаганите в тях признаци и параметри за класификация, както и критериите за автоматизиране на процеса на класификация, което от своя страна е база за усъвършенстване на алгоритмите и схемните решения за класификация при бъдещи разработки и проекти.

**Опитът от известните български разработки**

В първите български радиолокационни станции (РЛС) за наземно наблюдение, на въоръжение в българската армия още от 70-те години, основани на доплеров принцип на работа, „Калинка", „Калинка-В12" и лицензионно усвоените в нашата страна станции от същия клас „Фара" и „Кредо", както и тяхната еманация РН 100, класификацията на целите се извършва от оператора по изходния сигнал на преобразувания в звуков доплеров сигнал от изхода на приемника на станцията. Добре обучен оператор отчетливо, с висока точност класифицира целите на базата на честотата и спектъра на преобразувания в звуков доплеров сигнал от слушалката на станцията. Признаци за класификация са честотата (доплеровата честота от движението на откритата цел) и спецификата на звуковия сигнал (разширението на спектъра от различните видове цели и поведението на отделната цел). Крайният резултат е висока разрешаваща способност при класификацията на целите, като вероятността за правилно определяне на типа на целта между множеството видове наблюдавани цели – движещ се човек, от крачещ до тичащ, група хора, движещи се транспортни средства различни видове, движение на животни в зоната на наблюдение, до порив на вятъра и шум от околната повърхност, гора, храсти или поле, достига стойности до 0,9-0,95. По-скорошни изследвания и измервания с доплеров модул от този тип станции, проведени от авторите на доклада с цел разкриването и получаването на допълнителни признаци за класификация, позволяващи автоматизиране на процеса на класификация на целите, показаха, че са на лице възможности за усъвършенстване на процеса на класификация на целите. Част от резултатите от проведените измервания, изследвания и анализи са описани в [1] и [2]. На базата на съвременна елементна база и използвайки утвърдени методи (хомоморфен или линейно преобразуване) и алгоритми за обработка на сигналите, като различните видове Фурие трансформации, аналого-цифрово преобразуване и логаритмуване на енергетичния спектър на сигнала е възможно да бъдат получени допълнителни признаци и параметри за класификация на целите, като конкретно това е показано за разпределението на кепстралните коефициенти при прилагането на горните процедури на обработка. В процес на лабораторни изследвания е модел на схемна реализация на автоматичен класификатор на целите по разпределението на кепстралните коефициенти, като получените резултати свидетелстват за възможността за увеличаване на вероятността за правилна класификация на целите при този тип станции до стойности 0,96-0,98.

В по-високия клас обзорни РЛС за брегово наблюдение „Медуза" и „Калиакра", също на въоръжение в българската армия от 80-ти и 90-те години, класификацията на целите се извършва вече автоматизирано, като признаците за класификация са различни. В специализираната РЛС „Медуза", работеща в специален режим като комбинация от различните параметри на станцията – скорост на обзор, честота на повторение, продължителност на импулсите признакът за класификация на целите е определен брой налични цели в един и същи обем от наблюдаваното морско пространство, а критерия за вземане на решение при класификацията е точно определен брой наблюдения, отнесени към определено отстояние по далечина на откриване. В РЛС „Калиакра", която има също няколко режима на работа, класификацията на целите се извършва по два признака – първо по доплеровата честота на отразените сигнали в режим селекция на движещи се цели (СДЦ) и по-скорост на движение на целите в резултат от вторична обработка на информацията в режим обзорно наблюдение. И в двата типа станции класификацията и регистрирането на откритите цели е автоматична, като вероятността за правилна класификация на целите, при вероятност на правилно откриване от порядъка на 0,8 и за двете станции, възлиза на стойности от порядъка на 0,9-0,92.

В първите български разработки в областта на хидроакустиката - портативните хидролокатори за водолази „Морена", Морена-М" и радиохидроакустичните буйове тип „Чайка" и „Чинар" и съвременните разработки в областта на хидроакустиката, като хидролокатора за кръгово наблюдение CS-MO, хидролокатора за секторно наблюдение SS-MO и системата за управление на подводни обекти UWRC-MO класификацията на целите се извършва или по изображението на екрана на хидролокатора или по спектъра на излъчвания от надводните и подводни плавателни средства сигнали. Големият обем резултати, проведени при експерименталните и изпитателни измервания в процеса на разработката и внедряването на указаните изделия и статистическата им обработка показаха, че и за тези способи и признаци за класификация на целите вероятността за правилна класификация е от порядъка на 0,9-0,95.

И докато в описаните радиолокационни и хидроакустични средства стойности на вероятността за правилна класификация на целите от порядъка на 0,9-0,95 са напълно приемливи, доколкото резултатите от тяхното определяне носят информативен характер, а решенията за следващи действия се вземат от оператор, то в други български разработки като например сензори за наблюдение и разузнаване, управляващи средства за противодействие (без оператор, където крайното решение е възложено на автомат), тези стойности са неприемливи и изискванията за вероятност за правилна класификация на целите възлизат на стойности от порядъка на 0,995-0,998. Такива са системите за откриване, класификация и въздействие при управление на минни полета или отделни мини в наземното и морско пространства. Стойности на вероятност за правилна класификация на целите от този порядък са присъщи и за системите за радиолокационно и хидроакустично опознаване и идентификация.

За достигането на такива стойности на вероятността за правилна класификация на целите се прилагат два ползотворни подхода: първи, усъвършенстването на алгоритмите за обработка на сигналите и данните в процеса на класификацията и втори, компилиране на резултатите от процедурите по класификацията на една и съща цел по два или повече независими признака. Основа и на двата подхода за класификация на целите са сигналите получени в системата за наблюдение пряко или отразени при тяхната локация. От своя страна сигналите са носителите на признаците, по които е възможно да бъде извършена класификацията. Следователно главното изискване към предшестващите схемата за класификация устройства, като антени, приемници, смесители и филтри е да запазват максимално автентичността на приетите сигнали и да влияят минимално на параметрите на приетите от наблюдаваните цели сигнали – енергетика, динамичен диапазон (желателно линеен), спектър, времеви параметри - продължителност на сигналите и коефициенти на запълване.

Подходът за определянето на признаците за класификация на целите се базира на следните основни изисквания:

- признакът за класификация да осигурява максимално вероятност за правилно определяне на вида на целта, включваща еднозначност, непротиворечивост и достоверност;
- да е устойчив на влиянието на смущения (пасивни и преднамерени);
- да присъства устойчиво (за времето на наблюдение) в сигнала от целта;
- да позволява обработката с класически методи и математически операции;
- алгоритимчната и схемна реализация на процедурата класификация по избрания признак да са при приемливи габарити, консумация, време и разходи.

Предвид отбелязаните изисквания може да бъде извършено систематизиране на признаците за класификация на целите, пригодни и приемливи за реализация в някои от разработваните изделия. На първо ниво групирането на признаците за класификация може да бъде за двата основни случая на наблюдение и разузнаване – пасивно и локационно.

При пасивно наблюдение и пряко приемане на сигналите от целите в разузнаваното пространство, независимо от канала за наблюдение, звуков, електромагнитен, оптичен или инфрачервен, признаците за класификация са основна честота на излъчвания от целта и приет от сензора сигнал $f_c$, хармонични честоти $f_h$, вид на сигнала – непрекъснат или импулсен, спектър на сигнала – широчина на лентата на определено ниво $\Delta F$, видове модулации, продължителност на импулсите $\tau_i$ , честота на повторение $T_r$.

При локационен метод на наблюдение признаците за класификация се съдържат в промените настъпили в приетия отразен от целта сигнал, а те са доплерово изместване по честота, фазовата разлика на отразените от една и съща цел сигнали при етапа първична обработка или параметри на движението (скорост, траектория, видове маневри) при пространствено-времева обработка на сигналите на целта и при вторична обработка на информацията.

Универсален и за двата вида наблюдение, поради факта, че се базира на енергетичния спектър на приетите или отразени сигнали, се явява признака на класификация по разпределението на кепстралните коефициенти след процедурата обратно Фурие преобразуване върху логаритъма от енергетичния спектър на сигнала. В [3] са представени резултати от подробно изследване за класификация на целите по разпределението на кепстралните коефициенти за случая на пасивно наблюдение по звуков канал на откриване на целите, а в проведени от авторите експериментални измервания с радиолокационен доплеров модул, това беше доказано и за случая на активна локация по радиолокационен канал на наблюдение.

**Анализ на информационния потенциал на всеки от признаците**

- При пасивно наблюдение:

Основната или носещата честота на източника на сигнала (въздушна, морска или наземна цел) в зависимост от канала на разузнаване - звуков или електромагнитен е следствие от работата на основните технически средства или агрегати на целта – генератори, двигателите, средствата за навигация, комуникация, разузнаване или противодействие, разположени на платформата на целта. В общия случай между техническите средства на целта, източници на сигнали с различна физическа същност и нейния тип има пряка и често еднозначна връзка. Следователно признакът основна (или носеща) честота на източника на съответния сигнал може да бъде база за класификация на целите. Същото се отнася и до хармоничните излъчвания на основната носеща и комплексно на спектъра на излъчванията било по звуков или електромагнитен канал. Доколкото спектъра на сигналите или хармоничните обхващат по-широка лента от единичен монохроматичен сигнал, класификацията по тези признаци предоставя потенциално по- големи възможности в информационен смисъл.

Допълнителните признаци на сигналите, добити при този тип наблюдение, описани по-горе, намаляват още степента на неопределеност и увеличават допълнително информационните характеристики като база за класификация на целите.

- При локационно наблюдение:

Поради факта, че информацията за наблюдаваната обстановка и цели се съдържа в промяната или модулацията на излъчения(те) от известен източник на сигнал(и) при облъчването на целите, признаци за класификация се явяват именно параметрите на промяната на излъчените сигнали под въздействието на целите. Такива са времевите закъснения на отразения от целта сигнал спрямо времето на излъчване, промяната на амплитудата, честотата или фазата на отразения сигнал, отразяващи съответно далечина на отстояние на целта, височина на полет, скорост на движение, характерни маневри, които от своя страна са свързани с типа на целта. При провеждането на съответната обработка – доплерова филтрация, пространствено-времева обработка, прав и обратен апертурен синтез и други процедури степента на неопределеност за типа на целта обратно на увеличаването на вероятността за правилна класификация.

**Систематизиране на класификационните признаци**

В съответствие с изложеното може да бъде извършено систематизиране (или с риск за тафтология класификация) на класификационните признаци използвани в системите за наблюдение и разузнаване.

Като признаци за класификация от първи ранг можем да определим признаците базирани на сравнително теснолентови сигнали, със спектър примерно под 1-5 % от стойността на носещата или основна честота на сигнала.

Към признаците за класификация от втори ранг, съгласно така приетия класификационен критерии следва да отнесем признаците, базирани на относително широк спектър на сигнала, примерно с честотна лента над 5-10 % от стойността на носещата на сигнала.

**Нива на класификация на целите**

В съответствие с това от своя страна можем да определим и нива на класификация на целите в разглежданите системи, като най-обща характеристика за способността на системата за определяне на типа на наблюдаваните цели, а именно:

- I ниво – когато се използва признак за класификация от първи ранг;
- II ниво –когато се използва признак за класификация от II ранг;
- III ниво – когато се използва класификация по два или повече признаци.

**Оценка на ефективността на признаците за класификация на целите**

Опитът и проведените експериментални измервания върху модели и макети на схемни решения за класификация на целите, позволи да бъде извършена количествена оценка за потенциалните възможности на отделните признаци за класификация, по критерия вероятност за правилна класификация. Систематизирането и обработката на статистическите данни показаха и наложиха следните резултати и изводи:

- при прилагането на който и да е признак за класификация от първи ранг, независимо от канала за наблюдение (звуков или радиоканал), вида на наблюдение – пасивно или локационно и от схемната реализация, вероятността за правилна класификация на откритите цели е в диапазона 0,9-0,95.
- при прилагането на класификационен признак от втори ранг, отново при същите условия, вероятността за правилна класификация се увеличава до стойности – 0,97-0,98;
- само при прилагането на комбинация от няколко признака, независимо от ранга им е възможно увеличаване на вероятността за правилна класификация до стойности от порядъка над 0,99, каквото е изискването за вероятност на правилна класификация в някои системи, като такива за управление на средства за противодействие, опознаване на целите и други приложения.

**Литература:**


1. В е л к о в, В., С. С п а с о в, С. С л а в о в, Автоматична класификация на цели по сигнали от доплерови радари, Научна конференция с международно участие, 4-5.12.2008, Шумен.
2. В е л к о в, В., С. С л а в о в, С. С п а с о в, Алгоритъм за автоматична класификация на бавно движещи се обекти по сигнали от доплерови радари, Научна конференция на ВА "Раковски", 31.03- 01.04.2009, София.
3. П е т р о в, Л., Дисертационен труд на тема „Изследване на способи за автоматично идентифициране и обработка на речеви сигнали в реално време", ИПИО на Военна академия „Г.С.Раковски", 2002.
4. Р а б и н е р, Л., Р. В. Ш а ф е р. Цифровая обработка речевых сигналов. Москва, "Радио и связь" 1981.
5. О п п е н г е й м, Э., под ред., Применение цифровой обработки сигналов, изд. „Мир", Москва, 1980.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# КОМПЕНСИРАНЕ НА ДРЕЙФА НА ИЗОЕЛЕКТРИЧНАТА ЛИНИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ ПРИ ЕКГ СИГНАЛИ В УСЛОВИЯ НА ПОВИШЕНА ФИЗИЧЕСКА АКТИВНОСТ

**Стоян Танев[1], Пламен Трендафилов[1], Христо Христов[1], Людмила Танева[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*[2]Технически университет – София*
*e-mail: spsbyte@space.bas.bg; lusy_t@yahoo.com*

***Ключови думи:*** *Електрокардиограма, компенсиране на дрейфа на изоелектричната линия,ЕКГ*

***Резюме:*** *Предложен е алгоритъм за премахване на дрейфа на изоелектричната линия при регистриране на ЕКГ в условия на повишена физическа активност в реално време. Разгледани са особеностите на цифров нерекурсивен филтър в зависимост реда на филтъра. Показани са резултати от работата на алгоритъма в реално време.*

# REAL TIME DRIFT COMPENSATION OF THE BASE LINE OF ECG DURING HIGH LEVEL PHYSICAL ACTIVITY

**Stoyan Tanev[1], Plamen Trendafilov[1], Christo Christov[1], Ludmila Taneva[2]**

*[1] Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Technical university – Sofia*
*e-mail: spsbyte@space.bas.bg; lusy_t@yahoo.com*

***Key words:*** *Electrocardiogram, Real time drift compensation of the ECG base line, ECG*

***Abstract:*** *Presented algorithm is intended for real time drift compensation of the base line during high level physical activity. The capabilities and properties of the non recursive digital filter are explained depending on the used filter row. Results from the processing of the real time algorithm are shown.*

## Въведение

Регистрирането на ЕКГ в състояние на повишена физическа активност се влияе от редица смущения, имащи естествен (физиологичен) или изкуствен произход. Физиологичните смущения са свързани с различни биопотенциали, най-често миографски, дължащи се на съкращения на мускулите в областта на зоната за разполагане на електродите, които могат да бъдат свързани с определени физически движения или процеса на дишане. Тези сигнали се пораждат от различни мускулни двигателни единици, генериращи биопотенциали в спектралния диапазон на ЕКГ с различна честота и амплитуда, което води до “дрейф” на изоелектричната линия или наслагване на сигнали с форма много близка до тази на реален QRS комплекс. Смущенията от изкуствен характер най-често са свързани с появата на интерферентни шумове в ЕКГ сигнала, предизвикани от индуктиране на напрежения с честота от промишлената електропреносна мрежа в отвеждащите кабели и човешкото тяло или лош контакт на електрода с кожата. На практика почти не съществува запис, в който да не се наблюдава поне един от посочените смущаващи фактори. Много често те се проявяват едновременно, което допълнително усложнява обработката на сигнала, отнасяща се до правилното разпознаване на QRS комплексите в регистрираната ЕКГ.

Дрейфът на изоелектричната (базова) линия е феномен, който често води до сериозни проблеми при откриването на върха на QRS комплекса. Ако не са взети предварителни мерки

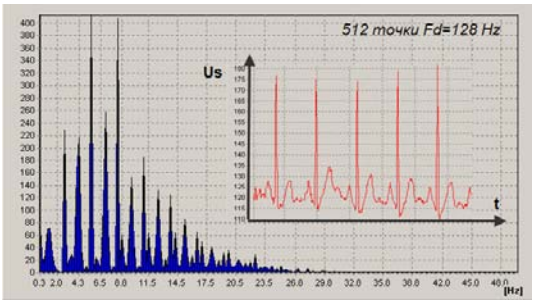
за отстраняване на този ефект, вместо QRS комплекса, може да бъде регистриран върхът на Т-вълната, което е нежелателно и може да опорочи анализа.

Една от често срещаните причини за отместване на базовата линия е контактния електроден шум. Той представлява шум от случаен характер, дължащ се на загубата на пълен контакт между кожата и електрода. Може да се проявява непрекъснато или на интервали с различна продължителност. Преминаването от по-добър към по-лош контакт и обратно, водят до регистрирането на големи артефакти, тъй като обикновено ЕКГ сигналът е свързан капацитивно към системата за регистриране. Този тип шум може да бъде моделиран като случайно рязко отклоняване на сигнала от базовата линия в положителна или отрицателна посока, затихващ по експоненциален закон, с насложена върху него промишлена честота от 50 Hz. Според [1] продължителността на този тип смущение е до 1 s а амплитудата му достига максималния диапазон на регистриращото устройство.

В състояние на повишена двигателна активност, артефактите при движение са силно изразени и представляват временни отклонения на изоелектричната линия, дължащи се на промяната на кожно-електродния импеданс. Формата на този тип шум може да бъде представен, като положителен или отрицателен полупериод на синусоидална вълна. Максималната амплитуда и продължителността са променливи. Продължителността на този тип шум е 100-500 ms с амплитуда до 500 % от амплитудата на полезния ЕКГ сигнал.

Артефактите, дължащи се на мускулни съкращения, задължително присъстват в процеса на регистриране на ЕКГ при повишена физическа активност. Този тип смущения се дължат на биопотенциалите, генерирани от мускулите на тялото и са с амплитуди от порядъка на миливолти. Спектърът на тези шумове може да се разглежда, като Гаусово разпределение. Стандартната девиация на миографските шумове са 10% от амплитудата на ЕКГ и с продължителност от около 50 ms и честоти от 0-10 kHz.

Чрез Фурие-анализ на електрокардиограмата се доказава, че честотният спектър на Р и Т вълната, е разположен основно между 0.5 и 10 Hz, а QRS комплекса - в диапазона 4-20 Hz (фиг.1).




Фиг. 1. ЕКГ сигнал (червен цвят) и неговият спектър (син цвят)

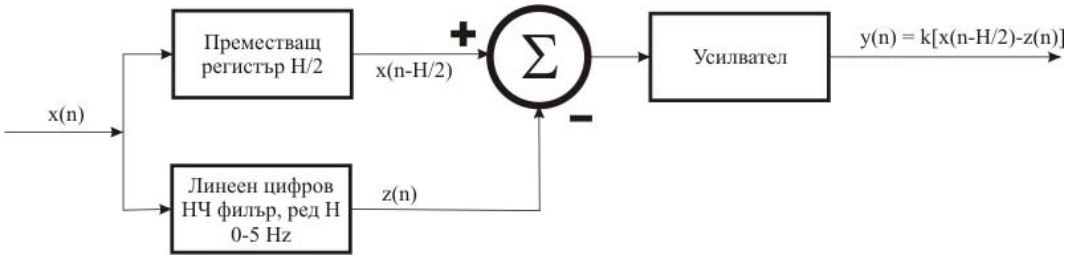
Често спектралните съставни на Р и Т вълната попадат в честотния спектър на дрейфа на базовата линия (0-0.8 Hz). Премахването на дрейфа на базовата линия трябва да се извършва внимателно при необходимост от морфологичен анализ на ЕКГ, без да се опорочи формата на Р и Т вълната поради подтискане на спектрални съставни определящи тяхната форма.

Към настоящия момент съществуват различни похвати за елиминиране на дрейфа на изоелектричната линия. Те могат да бъдат класифицирани в три основни групи - аналогови, анлогово-цифрови и цифрови. Всяка една от тях има своите предимства и недостатъци.

В последно време с нарастването на производителността на цифровите изчислителни средства все повече се използват различни цифрови техники за филтриране на сигнала, които дават много добри резултати. Използването на повечето от тях обаче, води до подтискане или изрязване на спекрални компоненти от полезния сигнал, което в редица случаи е нежелателно.

Един от подходите за елеминиране на дрейфа се предлага от [2] и се базира на нискочестотен линеен цифров филтър, съчетан с линейна интерполация на QRS комплекса. Авторите работят с честота на дискретизация *f=200*Hz и нискочестотен нерекурсивен филтър с честота на среза *F=0.8*Hz. Според тях, методът е приложим в реално време и не внася изкривявания в полезния ЕКГ сигнал. За мониториране на ЕКГ сигнал в реално време препоръчват използването на линейни филтри с честоти на среза 1Hz и дори 1.2 Hz.

Целта на настоящата работа е да представи ефективен и прост алгоритъм за премахване на дрейфа на изоелектричната линия в реално време на ЕКГ в условия на повишена двигателна активност. Алгоритъмът на работа е показан на фиг. 2.




Фиг. 2. Блокова схема на алгоритъма за компенсиране на дрейфа на базовата линия

ЕКГ сигналът се усилва от инструментален усилвател (ИУ), след което постъпва на входа на 12-битов аналогово-цифров преобразувател (АЦП), формиращ функция *x(n)* (входен сигнал). Усилването на ИУ трябва да бъде подбрано така, че той да не се насища при сигнали превишаващи няколко пъти полезният ЕКГ сигнал. Избраната честота на дискретизация е 256 Hz. Цифрованият сигнал *x(n)* постъпва едновременно на входовете на линеен нискочестотен цифров филтър от ред „H" и блока за закъснение представляващ преместващ FIFO (first in first out) регистър с дължина *H/2*. Сигналите от изходите на двата блока се изваждат, като полученият сигнал *y(n)* при необходимост се усилва по програмен път (1).

(1) $$y(n) = x(n - \frac{H}{2}) - z(n) = \mathrm{x_H(n)} - z(n)$$

Сигналите на входа на изваждащия блок *z(n)* и $x_H(n) = x(н\text{-}X/2)$ могат да бъдат представени във вида (2) и (3).

(2) $$z(n) = \sum_{k=0}^{k=N} h_k a_к + \sum_{k=N}^{k=M} h_k a_к \ ,$$

където:

$h_k$ е коефицент на предаване на филтъра за честота *к*,

$a_к$ е амплитуда на спектралната съставна на сигнала на входа на филтъра,

N е гранична честота, до която всички компоненти на сигнала се предават към изхода без затихване,

M е най-високата гранична честота, която може да бъде обработена от филтъра (в дадения случай 128 Hz).

(3) $$x_H(n) = \sum_{k=0}^{k=N} a_к + \sum_{k=N}^{k=M} a_к$$

След заместване на *z(n)* и $x_H(n)$ в (1), за изходния сигнал y(n) се получава (4):

(4) $$y(n) = \sum_{k=0}^{k=N} a_к + \sum_{k=N}^{k=M} a_к - \left( \sum_{k=0}^{k=N} h_k a_к + \sum_{k=N}^{k=M} h_k a_к \right) .$$

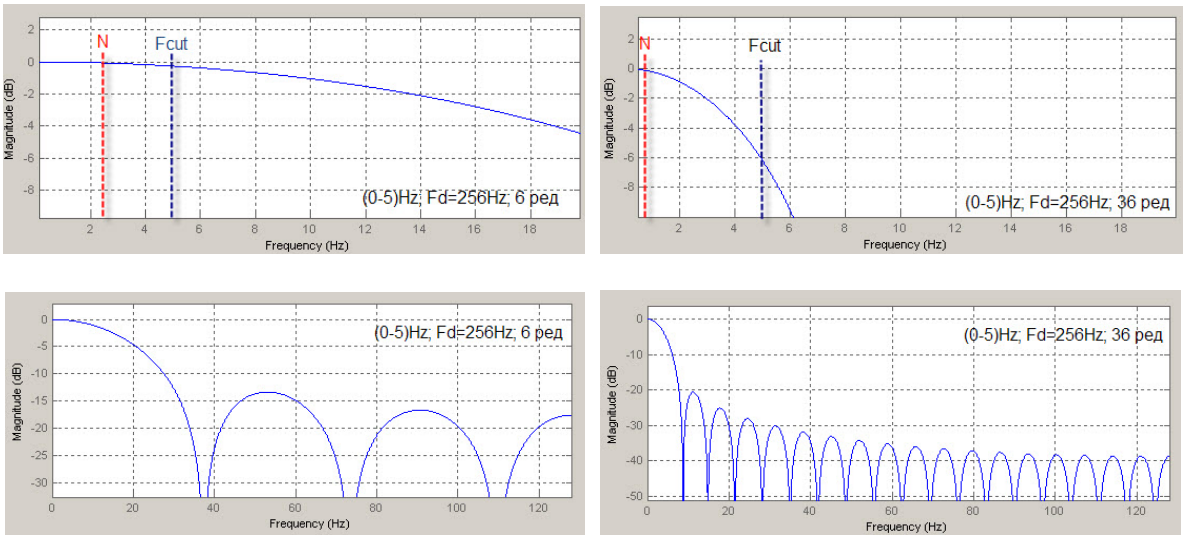
Тъй като от *0 - N* $h_k = 1$, изразът (4) може да бъде записан като (5):

(5) $$y(n) = \sum_{k=N}^{k=M} a_к - \sum_{k=N}^{k=M} h_k a_к$$

От (4) и (5) могат да бъдат направени следните изводи:

Съставните честоти на сигнала от нула до N не присъстват в изходния сигнал на изваждащия блок, докато всички по-големи от N честоти *(N < f < M)* формират изходен сигнал в

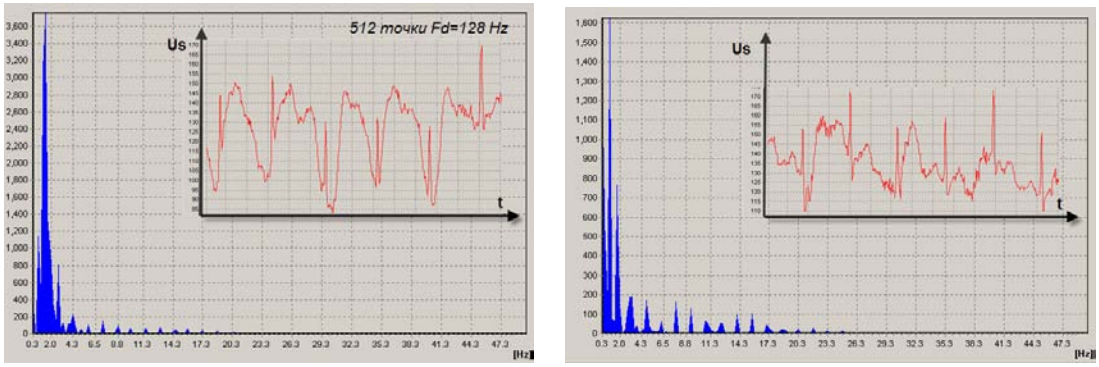
зависимост от реда на използваният филтър. На (фиг.3 а и б) са показани амплитудно-честотните характеристики (АЧХ) на цифров НЧ филтър тип “window” с лента на пропускане 0-5 Hz съответно от 6 и 36 ред.




а) *АЧХ на НЧ филтър от 6 ред* б) *АЧХ на НЧ филтър от 36 ред*

Фиг. 3. АЧХ на НЧ филтри с лента на пропускане (0-5Hz) $F_{cut}$=5Hz

От фиг. 3 б) се вижда, че филтър от по-висок ред (36), ще подтиска по-слабо честоти по-малки и близки до $F_{cut}$, поради ниските стойности на коефицента $h_k < 1$ в сравнение с филтър от 6 ред (фиг.3 а), където $h_k \approx 1$ почти до честотата на среза на филтъра. По-близкият до единица коефицент $h_k \approx 1$, води до намаляване на амплитудата на изходния сигнал и изрязване на нискочестотните компоненти на ЕКГ сигнала като Р и Т вълната. В този случай се налага усилване на сигнала. Поради тази причина използването на филтър от нисък ред не се препоръчва в случай на необходимост от морфологичен анализ на ЕКГ. Повечето автори препоръчват честотата на среза на филтъра да не бъде по-висока от 1 Hz.
Направените изследвания показват, че в случаите на повишена физическа активност, тази честота е твърде ниска, което води до опорочаване на анализа. На фиг. 4 са показани епохи от ЕКГ записи и техните спектри, регистрирани в състояние на повишена физическа активност на индивида.

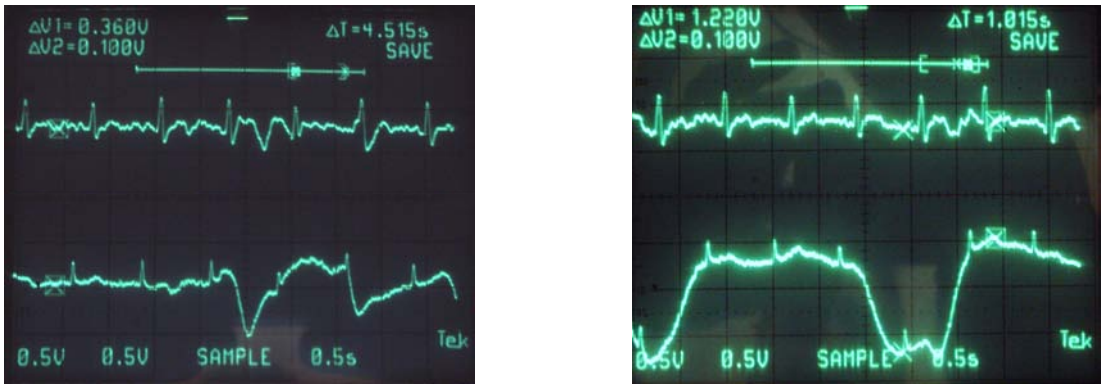



а) б)

Фиг. 4. Епохи от ЕКГ и техните спектри, регистрирани в състояние на повишена физическа активност

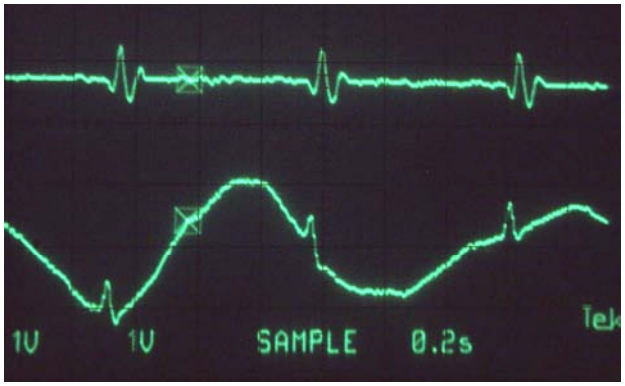
От фиг. 4 се вижда, че в спектъра на сигнала присъстват спектрални компоненти в диапазона 1-2 Hz, с амплитуди няколко пъти по-големи от полезните съставни на ЕКГ сигнала. За да бъдат игнорирани тези шумове е необходимо избирането на 1.5 до 2 пъти по-висока честота на среза на филтъра, поради невъзможност за постигане на правоъгълна АЧХ.

Резултатите от работата на алгоритъма в реално време при използване на двата типа филтри са показани на фиг. 5 и 6.




*а) единични 250ms и 500 ms* *б) периодични F=0.5Hz и F=1Hz*

Фиг. 5. Работа на НЧ филтър от 36 ред в реално време със смущения




Фиг. 6. Работа на НЧ филтър от 6 ред в реално време със смущения F= 1Hz и Ампл=400%EKG

От фиг. 5 а) се вижда, че при шум с полувълна 250 ms = 2 Hz (сигнал близък до честотата на среза), филтърът от 36 ред пропуска част от шума в изхода на компенсатора на дрейфа.

На фиг. 6 изходният сигнал не съдържа нискочестотни компоненти, влизащи в лентата на пропускане на филтъра, а при него се наблюдават само QRS комплекси, характеризиращи се с високочестотен спектър по отношение на ЕКГ сигнала.

Показаните резултати са регистрирани по схема “модифицирано II отвеждане” (китки на лява и дясна ръка) при интензивна работа с клавиатура. Алгоритъмът е реализиран с помощта на микроконтролер MSP430F5025 и се използва в изследователската апаратура Бион-1 за разпознаване на QRS комплекси в реално време.

**Заключение**

Прилагането на филтри от по-нисък ред в алгоритъма, изрязва нискочестотния спектър на сигнала, където са концентрирани повечето смущения. Препоръчително е използването им в случаите на повишена физическа активност, когато не е необходим морфологичен анализ на ЕКГ сигнала. Стабилността на изоелектричната линия е висока, което позволява достоверно разпознаване на QRS комплексите в реално време.

Използването на филтри от по-висок ред в алгоритъма зависи от избора на лентата на пропускане и спектъра на смущаващите сигнали. При избраната честота 0-5Hz, по-голямата стръмност на среза ще подтиска в по-голяма степен смущаващите сигнали с честоти 1-2Hz. Това води до пропускането на тези смущения в изхода и независимо от по-малката им амплитуда, може да затрудни откриването на QRS комплекса. Препоръчително е използването им при по-ниски честоти на среза на филтъра (до 1Hz) и при необходимост от анализ на отделните компоненти на RR интервала.

**Литература:**


1. F r i e s e n, G., T h o m a s, C.J., J a d a l l a h, M. A., Y a t e s, S. L., Q u i n t, S. R., and N a g l e, H.T. (1990): „A comparison of noise sensitivity of 9 QRS detection algorithms", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 37(1), pp. 85–98.
2. High-pass filtering of ECG signals using QRS elimination, I.I. Christov, I.A.Dotsinski, I.K.Daskalov, Med.&Biol.Eng &Comput. 1992,30, 253-256.
3. T h a k o r , N. V., W e b s t e r, J. G., and T o m p k i n s, W.J. (1984): 'Estimation of QRS complex power spectra for design of a QRS filter', *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-31 (11), pp. 702–706.
4. A l s t e, J. A. V., and T.S. S c h i l d e r. (1985): 'Removal of base-line wander and power line interference from the ECG by an efficient FIR filter with a reduced number of taps', *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 32, pp. 1052–1060. 82 N. Kannathal et al.
5. P a n, J., and T o m p k i n s, W.J. (1985): 'A real-time QRS detection algorithm',*IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 32, pp. 230–236.
6. H a m i l t o n, P. S., and T o m p k i n s, W. J. (1986): 'Quantitative investigation of QRS detection rules using the MIT/BIH arrhythmis database', *IEEE Trans. Biomed.Eng.*, 33, pp. 1157–1165.
7. M e r v i n, J. G., and G o l d s c h a l a g e r, N. (1989): 'Principles of clinical Electrocardiography',*Appleton Lange*.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# НИКУЛИЦЕЛ-ВОЕНЕН ЛАГЕР НА ХАН АСПАРУХ

**Иван Димитров**

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

***Ключови думи**: Хан Аспарух, Онгъл, Никулицел, цифров модел*

***Резюме:** Представен е цифров модел на военния лагер на Хан Аспарух край с.Никулицел, Румъния. При създаване на модела са използвани сателитни снимки, цифров модел на релефа, топографски карти и отчети от археологически проучвания.*

# NIKULICEL- KHAN ASPARUH'S MILLITARY CAMP

**Ivan Dimitrov**

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

***Keywords:** Khan Asparuh, Ongal, Nikulitcel, digital model*

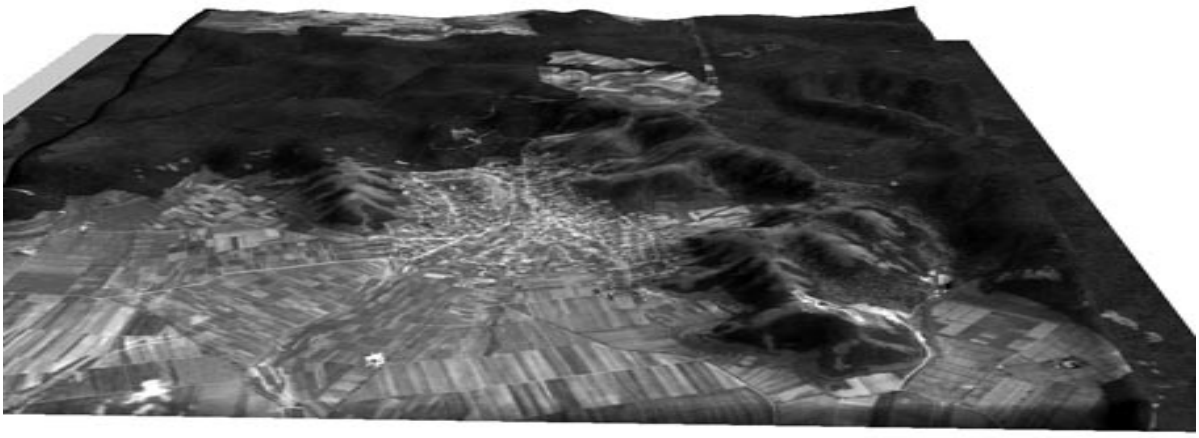
***Abstract:** The paper presents a digital model of a Khan Asparuh's millitary camp near Nikulitcel, Romania. By the creation of the model are used satellite images, digital terrain model, topographic maps and reports of an archaeological researchs.*

Историческите факти, свързани със създаването на българската държава и периода на управление на Хан Аспарух и Хан Тервел са слабо отразени във византийските хроники. Теофан Изповедник ни е оставил кратко описание на местонахождението на аспаруховия военен лагер. Това описание предизвиква много спорове в научните среди. Фортификационното съоръжение край с. Никулицел, област Тулча при устието на р. Дунав, се счита за лагер на Хан Аспарух и е първата българска столица на Балканите. В северната част на лагера (връх Бял камък) се намира съвременна кариера за добив на инертен материал. Част от фортификацията е безвъзвратно загубена. Подобна съдба са имали и столиците Плиска и Преслав. Материали от тях са използвани за строителство и добив на вар. Тези факти побудиха в автора идеята да създаде дигитален исторически архив и модел на Аспаруховия лагер край с. Никулица. За създаване на цифровия модел са използвани топографски карти [1-7], цифров височинен модел [8], отчети от археологически проучвания[9,10] и сателитни снимки. Всеки информационен източник представя с различна степен на подробност военния лагер на хан Аспарух до с.Никулицел. На някои от топографските карти [2,5] лагерът е отбелязан като "Вал на Троян". Фортификацията е изследвана от съвременни български и румънски учени [11,12,13]. Пълно изследване и картографиране на цялото отбранително съоръжение е извършено през 1917 година от Карел Шкорпил [9,10]. В отчета за проучването той отбелязва, че Никулицелския лагер е Аспаруховият лагер "Онгъл". Лагерът има обща площ над 50 кв. км. и периметър над 30 км., а вътрешните укрепления (вкл. и ханският дворец) имат обща площ над 8 кв. км. и периметър над 3.4 км. Това е най-голямото фортификационно съоръжение в историята на българската държавност.

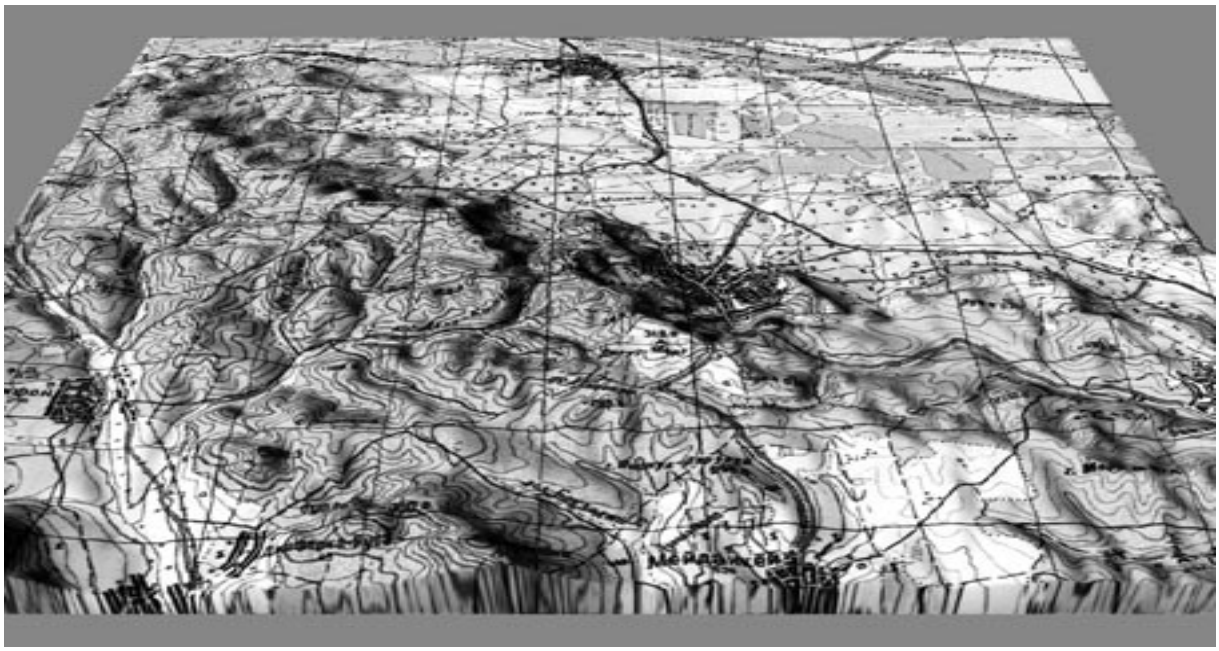
На фиг.1 е представена сателитна снимка, наложена върху цифров височинен модел. На фиг.2 е представена военна топографска карта на генералния щаб на Съветската армия с мащаб 1:100 000 [3], наложена върху цифров височинен модел [8]. На фиг.3 е представена Военна топографска карта на генералния щаб на Вермахта с мащаб 1:25 000 [2], с отбелязан външен Аспарухов вал като "Вал на Троян". На фиг.4 е представена карта на археологическите изследвания и разкопки от Карел Шкорпил (1917 година), наложена върху цифров височинен

модел [8]. На фиг.5 е представено съвместяване на карта на археологическите изследвания и разкопки от Карел Шкорпил [9,10] и сателитна снимка, наложени върху цифров височинен модел [8]. На фиг.6 е представена австро-унгарска топографска карта с мащаб 1:200 000 [1], наложена върху цифров височинен модел. На фиг.7 е представена карта на с.Никулица и околностите с мащаб 1: 5 000, наложена върху цифров височинен модел [7]. На фиг.8 е представена сателитна снимка и част от аспаруховия вал край с. Никулица.

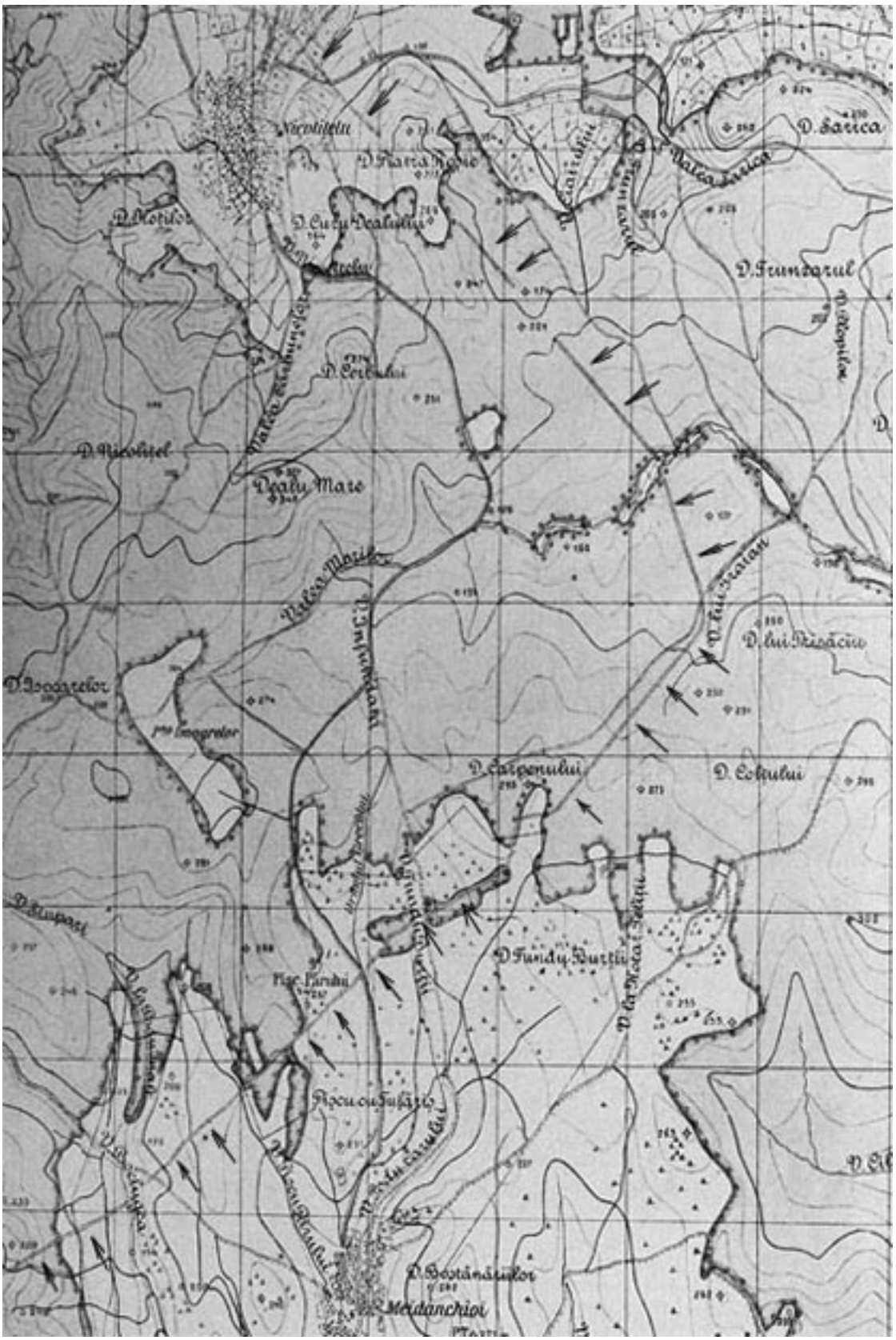
Дигиталният архив и модел дават възможност за информационно подпомагане на бъдещи археологически и исторически изследвания и създаване на други информационни продукти, свързани с военния лагер на Хан Аспарух и първата българска столица.



Фиг. 1

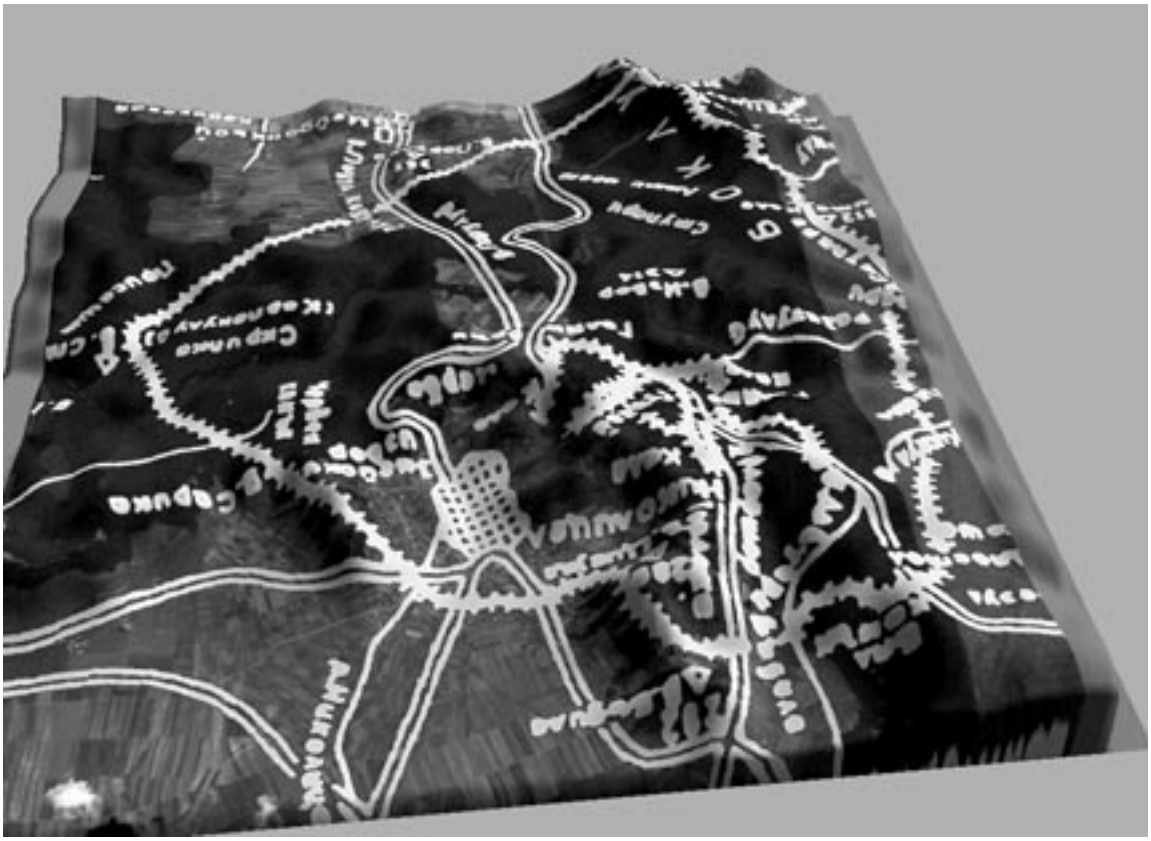


Фиг. 2

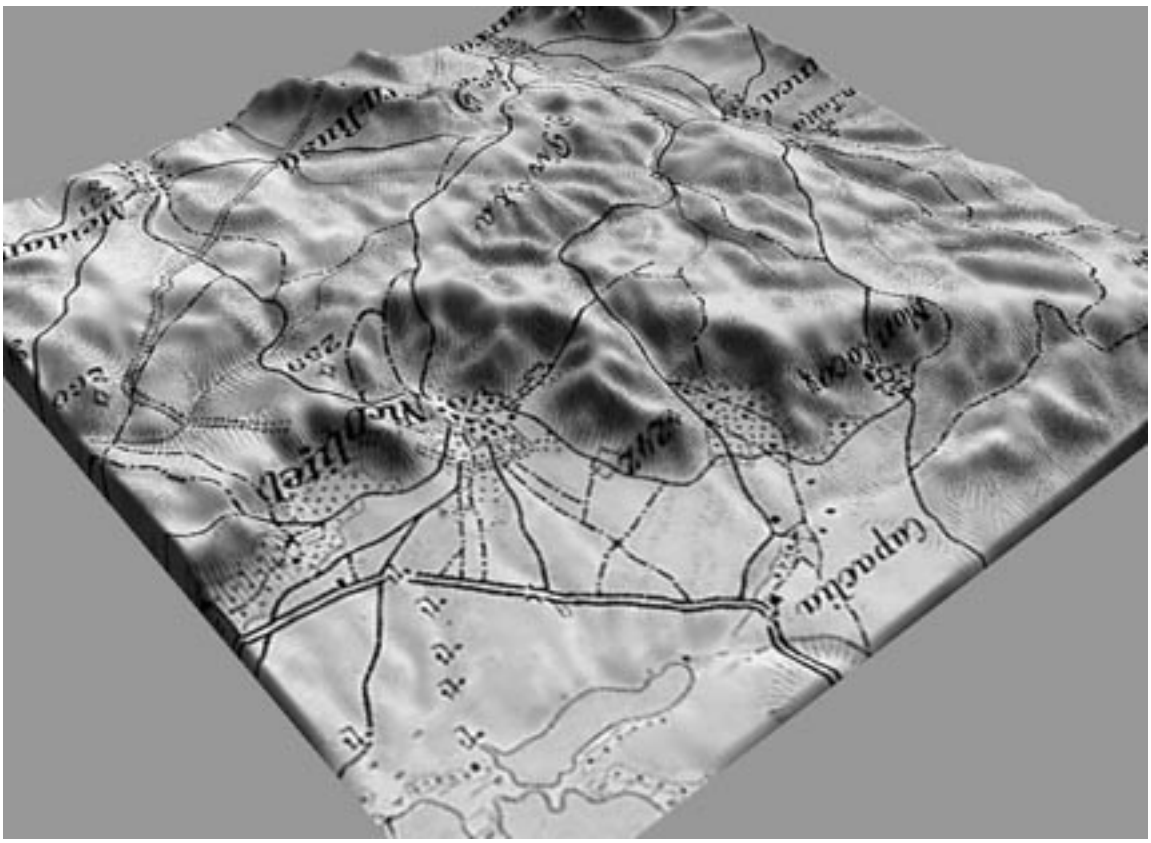

D. Sarica
D. Frunzarul
D. Nicolitel
Dealu Mare
D. lui Trăsăciu
D. Carpenului
D. Colțului
D. Fundu Burții
D. Bostănărilor
Meidanchioi

Фиг. 3

Фиг. 4



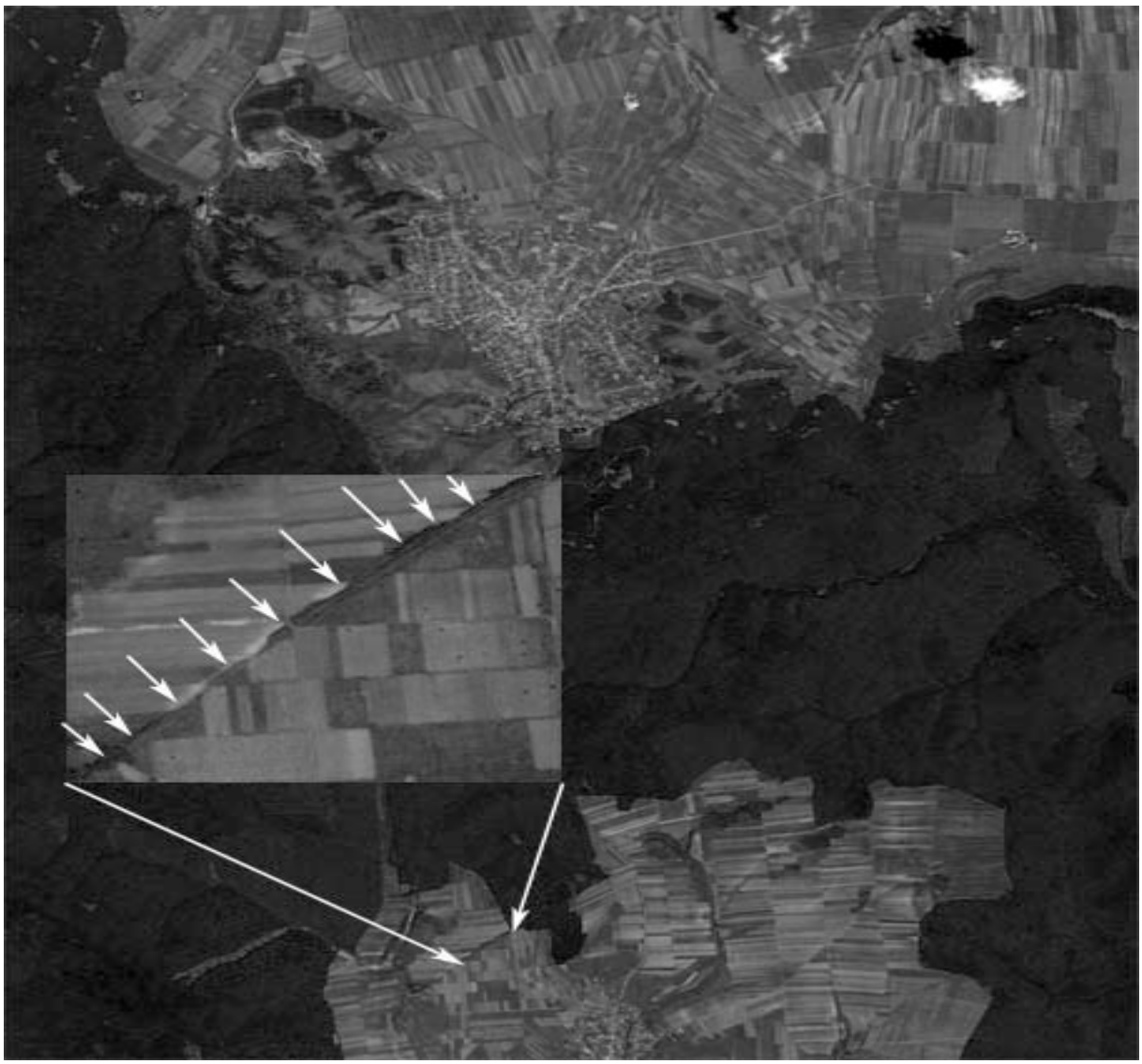
Фиг. 5



Фиг. 6

УКРЕПЕН ЛАГЕР
с. Никулица
(Niculitel)
1:500
УКРЕПЕН ЛАГЕР ПРИ ОНГЪ

Фиг. 7



Фиг. 8

**Литература**:


1. Австро-Унгарска топографска карта, мащаб 1:200 000,1901 година.
2. Военна топографска карта, Генерален щаб на Вермахта, мащаб 1:25 000, 1941 година.
3. Военна топографска карта, Генерален щаб на Съветската армия, мащаб 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, 1984 година.
4. Карта на Армейски инженерен корпус, картографска служба на САЩ, мащаб 1:250 000, 1956 година.
5. Военна топографска карта, Генерален щаб на САЩ, мащаб 1:250 000, 1943 година.
6. Топографска карта на Румъния, мащаб 1:100 000, 1997 година.
7. Карта на с.Никулица и околностите, Румъния, мащаб 1: 5 000 http://bg.wikipedia.org/wiki/Файл:Niculitel_khan_Asparuh_fortress_partial_plan.jpg
8. Цифров височинен модел, SRTM.
9. Карта на археологическите изследвания и разкопки, Карел Шкорпил, 1917 година.
10. Ц В А, ф.40, оп.II, а.е. 987 (Издадени в сборник:"Научна експедиция в Добруджа 1917, под ред. на проф. П. Петров, Университетско издателство "Св. Климент Охридски")
11. L a u r e n t I u, R., Începuturile evului mediu (secolele VII - X) la sud de Dunare: Dobrogea si NE Bulgariei, Universitatea Bucurestiy, Facultatea de Istorie, Rezumat, 2010
12. B a j e n a ru, C., Fortificatii minore in spatuil Balcano-Dunarean de la diocletian la Iustinian, Universitatea din Bucuresti, Rezumat, 2010
13. А т а н а с о в, Г., "Българи и хазари през ранното Средновековие", ТанНакРа, София, 2003, стр. 92-113

**Session 3**

# *Remote Sensing and Geoinformation Systems*

Chairmen: Assoc. Prof. Eugenia Roumenina,
Assoc. Prof. Doyno Petkov
Secretary: Chief Assistant Vanya Naydenova

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# DETERMINATION OF WHEAT CROP STATUS AFTER WINTER USING SIMULATED PROBA-V AND GROUND-BASED DATA

**Eugenia Roumenina[1], Lachezar Filchev[1], Georgi Jelev[1], Petar Dimitrov[1], Hristo Lukarski[1], Valentin Kazandjiev[2], Veska Georgieva[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]National Institute of Meteorology and Hydrology – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: eroumenina@space.bas.bg*

***Keywords:*** *geo-information technologies, winter crops, PROBA-V SD, LAI, vegetation indices*

***Abstract:*** *The VEGETATION Programme is one of the major instruments for satellite monitoring of agricultural crops in Europe. A successor satellite of the instruments VEGETATION-1 and VEGETATION-2, currently operating on-board of the French satellites SPOT 4 and SPOT 5, is envisaged, called PROBA-V. Its launch is scheduled for 2012. It will feature some improved characteristics of the acquired images, such as enhanced spatial resolution and data acquisition technology. Prior to launching into orbit a new satellite mission, its characteristics and operation are thoroughly tested. From users' point of view, it is of particular importance to assess the applicability of the data it is expected to provide. The article presents the results from a conducted research on assess the potentialities of PROBA-V simulated data (PROBA-V SD) for determining winter crop status after winter. For this assessment are used NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water) and LAI (Leaf Area Index) index images generated therefrom and ground-based measurements and satellite image from SPOT 5. The PROBA-V SD were obtained based on a multispectral satellite image from Landsat 5 TM acquired on 26.03.2011. The simulation was performed by the VITO simulation team (SPS). The field measurements and phenological observations of the three fields were made during the last decade of March 2011. The fields were sown with winter wheat of the Enola variety. The methodology of the study is based on: geo-information technologies, geodatabase, and statistical methods.*

*As a result of the carried out study it was established that PROBA-V SD NDVI, NDWI, LAI may be used to monitor winter wheat status (unsatisfactory, good, or very good) after winter, with 75% compliance accuracy for the classes determined from them and the classes separated from ground-based data. For the purpose, during future validation of satellite data, a minimum set of ground-determined winter wheat status parameters have been determined, such as LAI, TPC, AGB, chlorophyll a+b, and Available Water Content (AWC/0-5 cm).*

# ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПШЕНИЧЕН ПОСЕВ СЛЕД ПРЕЗИМУВАНЕ ЧРЕЗ СИМУЛИРАНИ PROBA-V И НАЗЕМНИ ДАННИ

**Евгения Руменина[1], Лъчезар Филчев[1], Георги Желев[1], Петър Димитров[1], Христо Лукарски[1], Валентин Казанджиев[2], Веска Георгиева[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Национален институт по метеорология и хидрология – Българска академия на науките*
*e-mail: eroumenina@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *геоинформационни технологии, зимни култури, PROBA-V SD, LAI, вегетационни индекси*

***Резюме:*** *Програмата VEGETATION е един от основните инструменти за сателитен мониторинг на земеделските култури в Европа. Предвижда се наследник на функциониращите в момента прибори VEGETATION-1 и VEGETATION-2, които работят на борда на френските спътници SPOT 4 и SPOT 5 да бъде сателитът PROBA-V. Извеждането му в орбита е планирано през 2012 г. Той ще се характеризира с някои подобрени характеристики на получаваните изображения като повишаване на пространствената разделителна способност и технологията, използвана за събирането на данни. Преди извеждането в орбита на нова спътникова мисия нейните характеристики и функциониране се тестват подробно. От гледна точка на потребителите от особено значение е да се оцени приложимостта на данните които се очаква тя да предоставя. В настоящата статията се представят резултатите, получени от проведено изследване за оценка на възможностите на симулирани PROBA-V данни за определяне на състоянието на пшеничен посев след презимуване. За тази цел са използвани генерирани от тях NDVI, NDWI и LAI индексни изображения,*

*наземни данни, сателитни изображения от SPOT 5 HRG . Симулираните PROBA-V данни са получени на базата на многоканално спътниково изображение от Landsat 5 TM заснето на 26.03.2011 г. Симулацията е извършена от екипа по симулации (SPS) на VITO. Полевите измервания и фенолоичните наблюдения на три полета с площ над 1,5 km$^2$ засети със зимна пшеница, сорт «Енола» са извършени в последното десетдневие на месец март 2011 г. При обработката и анализа на данните е използвана гео-базата данни изградена по проекта PROAGROBURO. В резултат от проведеното изследване се установи, че за оценка на състоянието на зимна пшеница (незадоволително, добро и много добро) след презимуване могат да се използват PROBA-V SD NDVI, NDWI, LAI с точност 75% на съответствие на групите определени по тях и групите отделени по наземни данни. За тази цел при бъдеща валидация на спътниковите данни са определени минимален набор от наземно определени параметри на състоянието на зимната пшеница, като индекс на листната повърхност, TPC, AGB, хлорофил a+b, AWC/0-5 cm.*

**Introduction**

Winter crops, such as wheat grown in Bulgaria, are sown in autumn and pass through the initial development vegetation stage before the beginning of winter. They pass winter on the field reaching a certain development stage while being subject to the influence of various, including unfavourable, meteorological factors (frost, draught, soil over moisturizing, and strong wind) which create preconditions for crop damages. Therefore, one of the first things to be made upon resuming winter crop vegetation in spring is to assess vitality rate and damage scale after winter. The current practice is to monitor certain representative crop sections and generalize the results to cover the entire field, farm, or land. The use of satellite Earth observation systems to monitor agricultural environments provides to supplement this information with satellite images and vegetation products generated therefrom, obtaining data both at local, as well as at regional and global level. This is related most often with the successful operation of such systems as NOAA-AVHRR, Envisat-MERIS, SPOT-VEGETATION, Terra/Aqua-MODIS, Landsat TM (Table 1), which provide to receive operative data about the Earth's surface in various ranges of the electromagnetic spectrum with medium or low spatial resolution. The greater part of the biometric and biophysical parameters of agricultural crops, as well as the soil type, structure and moisture affect the reflectance characteristics of the sown fields in different spectral ranges. This provides to measure these parameters using satellite images acquired in different spectral ranges.

The VEGETATION Programme is one of the major instruments for satellite monitoring of agricultural crops in Europe. A successor satellite called PROBA-V („V"stands for Vegetation) of the instruments VEGETATION-1 and VEGETATION-2, currently operating on-board of the French satellites SPOT 4 and SPOT 5, is envisaged. Its launch is scheduled for 2012. It will feature some improved characteristics of the acquired images, such as enhanced spatial resolution and data acquisition technology.

Prior to launching into orbit a new satellite mission, its characteristics and operation are thoroughly tested. From users' point of view, it is of particular importance to assess the applicability of the data it is expected to provide. In relation with this, in 2010, the implementation of the PROBA-V Preparatory Programme (http://eo.belspo.be) started, which has two main objectives:

- to familiarize the potential users with this new dataset, its characteristics and quality;
- to prepare the PROBA-V dataset for its actual operation with respect to the envisaged technical improvements.

In 2010, a call for research proposals was announced in the context of the PROBA-V Preparatory Programme. Twelve projects were selected which started their work in 2010. One of these projects was PROAGROBURO, which examined the usefulness of the PROBA-V mission for agricultural applications in Bulgaria and Romania based on simulated data. This study was carried out under the PROAGROBURO Project and its objective was to assess the potentialities of PROBA-V simulated data (PROBA-V SD) for determining winter crop status after winter.

When using multispectral images, the users performing agromonitoring address increasingly not primary data, but their derivative products. These constitute essentially various indices with different degree of spatial generalization and time averaging. They are produced by a network of dedicated thematic centres for receiving, processing and distribution of space information that satisfies best the users' requirements. Thus, the user may choose the product he/she is most interested in.

To study Earth vegetation cover using satellite data, spectral vegetation indices of the type of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), as well as calculation algorithms for biophysical parameters, such as LAI (Leaf Area Index) and radiation absorbed during photosynthesis FPAR (Fraction of Photosynthetically Active Radiation) (Table 1) are used. In the current study, the potentials of PROBA-V SD for determining winter wheat status after winter on fields with area above 1.5 km$^2$ were assessed using NDVI, NDWI, and LAI index images generated therefrom.

Table 1. Characteristics of some contemporary and future European low SR remote sensing satellite instruments used for crop monitoring*

| Satellite | Instruments/Channels (µm) | Orbit details | Spatial resolution | Temporal resolution | Description | Start of the mission | End of the mission |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROBA-V** | PROBA-VEGETATION: VNIR B0 Blue: (0.44-0.48); VNIR B1 Red: (0.62-0.698); VNIR B2 NIR: (0.79-0.90); SWIR: (1.56-1.65) | Sun-synchronous, Polar orbit; Inclination: ; Altitude: 830 km; Swath: 2250 km; | 300 m (VNIR) / 600 m (SWIR) | at least one acquisition per day beyond 35° latitude | PAR, FPAR, NDVI, LAI, Earth surface albedo, Land surface imagery, Ocean imagery, and water leaving radiance, Vegetation type, Land cover | 2012 | 2015/2017 |
| **SPOT Vegetation 1&2** | VEGETATION: (0) Blue: (0.43-0.47); (2) Red: (0.61-0.68); (3) NIR: (0.78-0.89); SWIR: (1.58-1.75) | Sun-synchronous, Polar orbit; Inclination: ; Altitude: 830 km; Swath: 2200 km; | 1.15 km | 26 days | PAR, FPAR, NDVI, LAI, Earth surface albedo, Land surface imagery, Ocean imagery and water leaving radiance, Vegetation type, Land cover | 1998 (VGT 1); 2002 (VGT 2) | 2013 (VGT 1); 2002 - 2014 (VGT 2) |
| **Envisat** | MERIS VIS-NIR: 15 bands selectable across range: 0.390 to 1.040 (programmable bandwidth 2.5 - 30 nm); AATSR VIS - NIR: (0.555, 0.659, 0.865), SWIR: (1.6), MWIR: 3.7, TIR: (10.85, 12) | Sun-synchronous, Altitude: 782 km; Swath: MERIS (1150 km) / AATSR (500 km); Inclination: 98.52° | MERIS (Ocean: 1040m × 1200m, Land & Coast: 260m × 300m) AATSR (1km ) | MERIS / AATSR (3 days) | Land (Vegetation), Ocean and Coast (Sea Surface Temperature, Ocean Colour/Biology), Atmosphere (Clouds/Precipitation) | 2002 | 2013 |
| **Sentinel-1 a,b,c** | C-band: 5.405 GHz; HH, VV, HH+HV, VV+VH; | Sun-synchronous, Polar orbit; Inclination: 98.19°; Altitude: 693 km; Swath: 80 km - 250 km interferometer wide swath mode | 5 m | 12 days | Providing continuity of C-band SAR data for operational applications notably in the following areas: monitoring of sea ice zones and the arctic environment, surveillance of marine environment, monitoring of land surface motion risks and mapping in support of humanitarian aid in crisis situations | 2013-2020 | 2020-2026 |
| **Sentinel-2 a,b,c** | MSI (Multi Spectral Instrument) 13 bands in the VNIR/SWIR (0.40 - 3.0) | Sun-synchronous, Polar orbit; Inclination: 98.62°; Altitude: 786 km; Swath: 290 km | 10 m, 20 m, 60 m | 10 days | Supporting land monitoring related services, including: generation of generic land cover maps, risk mapping and fast images for disaster relief, generation of leaf coverage, eaf chlorophyll content and leaf water content | 2013-2020 | 2020-2027 |
| **Sentinel-3 a,b,c** | OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) 21 bands in VNIR/SWIR (0.4 - 1.3) | Sun-synchronous, Polar orbit; Inclination: 98.65°; Altitude: 814.5 km; Swath: 1270 m (OLCI); 1675 km/750 km (SLST) | (OLCI) 300 m; (SLST) 500 m (VIS, SWIR) and 1 km (MWIR, TIR) | 27 days | Supporting global land and ocean monitoring services, in particular: sea/land colour data and surface temperature; sea surface and land ice topography; coastal zones, inland water and sea ice topography; vegetation products | 2013-2020 | 2021-2027 |

*** Sources: CEOS EO Handbook database 2011 (http://database.eohandbook.com), ESA Earthnet – ESA Operational EO Missions, ENVISAT (https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat), SPOT-Vegetation (http://free.vgt.vito.be), PROBA-V (http://probav-iuc.org, http://probav-iuc.org/assets/PROBA-V-PP_call_for_ proposals.pdf), Landsat TM (http://glcf.umiacs.umd.edu), Terra/Aqua-MODIS (http://lpdaac.usgs.gov) (Date accessed 24 April 2012).**

NDVI is a potential indicator of winter wheat status, whereas its information value varies depending on the spatial resolution of source satellite data. Its values are affected by most agricultural crop biometric characteristics, such as crop density, plant height, fresh and dry biomass, total area cover and more, as well as surface layer soil moisture.

Leaf Area Index (LAI) is an important biophysical parameter describing the structure of vegetation cover and the velocity of the energy exchange taking place in it. It is used in agriculture to assess plants' ability to intercept light, as an input parameter in various crop growth models, or in yield forecasting (Dadhwal, 2004; Doraiswamy *et al.* 2004), as well as in precision farming (Dammer *et al*. 2008).

Normalized Difference Water Index (NDWI), Gao, (1996), has not been offered as a satellite product so far, but it is used in agromonitoring as an indicator of green biomass water content and soil moisture.

Each of these indices is intended to assess different parameters of the soil-vegetation system, whereas their joint use may provide better results.

**Study subject**

The study subject is three fields located in North-East Bulgaria, on the land of the Village of Lozenets, Municipality of Kroushari, District of Dobrich. This land is part of the *Zhiten* test area chosen under the PROAGROBURO Project to test PROBA-V SD. These fields are designated further in the text by I, II, and III and occupy area of 1.9 km$^2$, 1.5 km$^2$, and 2.2 km$^2$, accordingly. The studied area falls within the European-continental province of the temperate climatic belt. Climate is moderately warm, without clearly expressed dry season (Topliiski, 2006). The average annual air temperature is 10.2° C. The precipitation maximum is in June and the minimum – in February. The annual precipitation is 540 mm. The average field altitude is 200 m.a.s.l. The zonal soils are represented mostly by *Haplic* and *Calcic Chernozems*, and the azonal ones – by *Gleyic Colluvisols*. The agroclimatic conditions are suitable for growing winter crops.

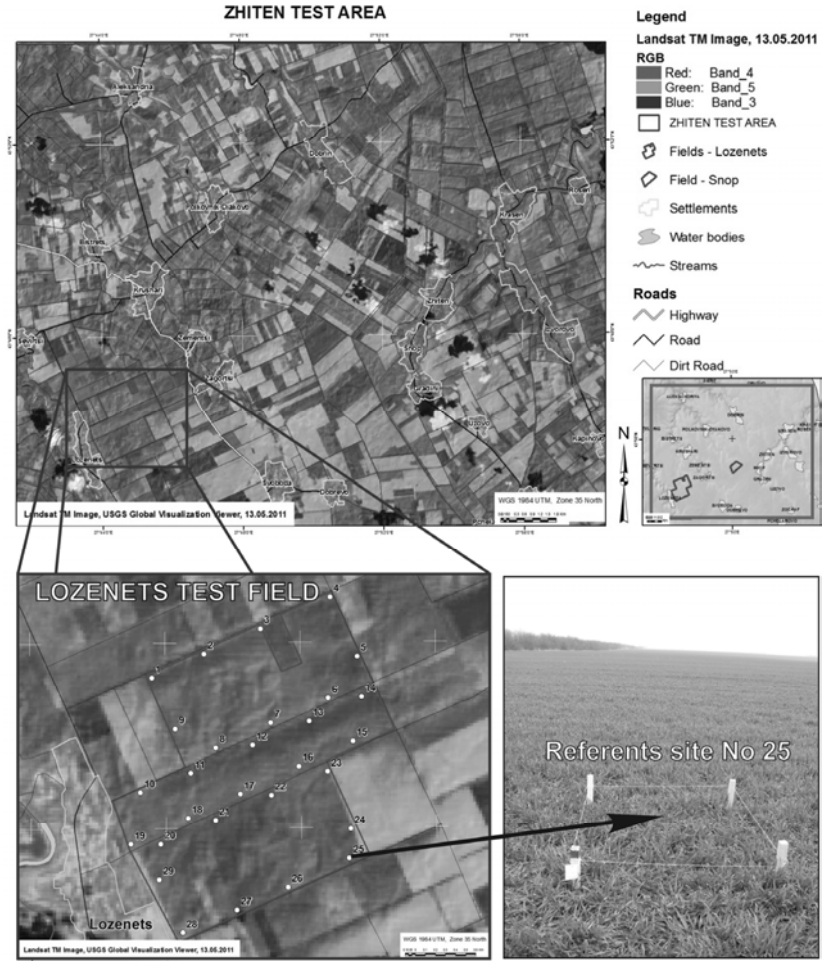



Fig. 1. Location of the three test fields in the *Zhiten* test area (Bulgaria) and spatial distribution of the reference sites

**Data and methods**

*1. Data*

The work employs two types of data: 1) PROBA-V SD, and 2) Ground-based data.

The PROBA-V SD were obtained based on a multispectral satellite image from Landsat 5 TM acquired on 26.03.2011. The simulation was performed by the VITO System Performance Simulator team (SPS) under the PROAGROBURO Project. During the simulation, 4 Landsat 5 TM (Table 2) channels were used. This study uses input simulation data in the form of TOA (Top of Atmosphere) reflectance. The PROBA-V SD were georeferenced and resampled after the nearest neighbour method to pixel size of 300 m (for the blue, red, and near infrared channels) and 600 m (for the shortwave infrared channel). Then, the four channels were united in a common file with pixel size of 300 m.

Table 2. PROBA-V spectral bands and the corresponding bands of the high resolution images used for their simulation

| **PROBA-V bands (μm)** | VNIR B0: Blue (0.45-0.49) | VNIR B1: Red (0.61-0.69) | VNIR B2: NIR (0.78-0.89) | SWIR: SWIR (1.57-1.65) |
|---|---|---|---|---|
| **Corresponding Landsat TM bands (μm)** | Band 1: Blue (0.45-0.52) | Band 3: Red (0.63-0.69) | Band 4: NIR (0.76-0.90) | Band 5: SWIR (1.55-1.75) |

The field measurements and phenological observations of the three fields were made during the last decade of March 2011. The fields were sown with winter wheat of the *Enola* variety with sowing norm of 24 kg/dka during the period 28.09.–04.10.2010, whereas for technical reasons, the sowing of field III continued until 28.10.2010. The previous crop sown on field I was sunflower, on II – rapeseed, and on III – sunflower and rapeseed. Spring fertilization was performed on all three fields in the end of February and the first decade of March. The phenological status of the wheat crop in the studied fields during the third decade of March 2011 was as follows: for field I – 75% of the crop was in the *tillering* phenophase, and 25% – in the *leaf formation* phenophase; for field II, this ratio was 70/30%, and for field III, it was 60/40%. The crop passed the winter in the *leaf-formation* phenophase, which was not favorable for its development. To determine the phenological status of the wheat crop, data from the carried out field observations and measurements was used, as well as data provided by the farmer Zahari Zhandov, owner of the three studied fields.

The ground-based measurements were performed on 29 reference sites located on the three fields, each one sized 1 $m^2$, which were chosen in advance (Fig. 1). They were spaced at a distance of 600 m from each other. During the experiment, biometric measurements were performed on these sites, including: TPC (Total Projective Cover) crop density, average plant height, LAI, AGBf, and AGBd (fresh and dry weight of Above-Ground Biomass), chlorophyll-*a* and chlorophyll-*b* and carotene amount in the leaves, weed class. Samples were collected from 4 sites of each field to determine soil moisture. The coordinates of the reference sites were determined my GPS measurements.

*2. Methods*

The methodological framework of the study is presented in Fig. 2 below. The methodology of the study is based on:

- Geo-information technologies providing to perform complex processing and thematic interpretation of the information from various sources in a uniform coordinate system. The geodatabase composed under the PROAGROBURO Project was used;
- Statistical methods. For assessment of the winter wheat status at reference sites level, data from 9 reference sites were used for which there was a complete set of biometric data and surface soil moisture data. The tested hypothesis was, that the variability of the satellite products from PROBA-V SD, i.e. vegetation indices (VIs) and LAI, depends on the variability of field-measured biometric and biophysical data. Principal Component Analysis (PCA) was used to reduce the data dimensionality of field measured variables and VIs and biophysical parameters. The $\chi^2$ (chi-squared) test was used to assess the level of independence of the factor scores obtained after the PCA from field data and PROBA-V SD. The 9 reference sites were classified in three classes of winter wheat status, i.e. (1) unsatisfactory, (2) good, (2) very good, using the PROBA-V SD NDVI, NDWI, and LAI. This was carried out using the dynamical programming algorithm (Fisher 1958). The three classes were clearly statistically discernible both for PROBA-V SD NDVI and NDWI. To verify the classes thus obtained with the relevant classes of ground-based data, a discriminant analysis was used. For the purpose, multiple correlation and regression analysis was made, which determined the optimal

combination of independent status variables, namely: AWC/0-5cm, TPC, chlorophyll *a+b*, and AGBf. Apart from this, Wilks' Lambda test for the classes' separability from ground-based data was also made.

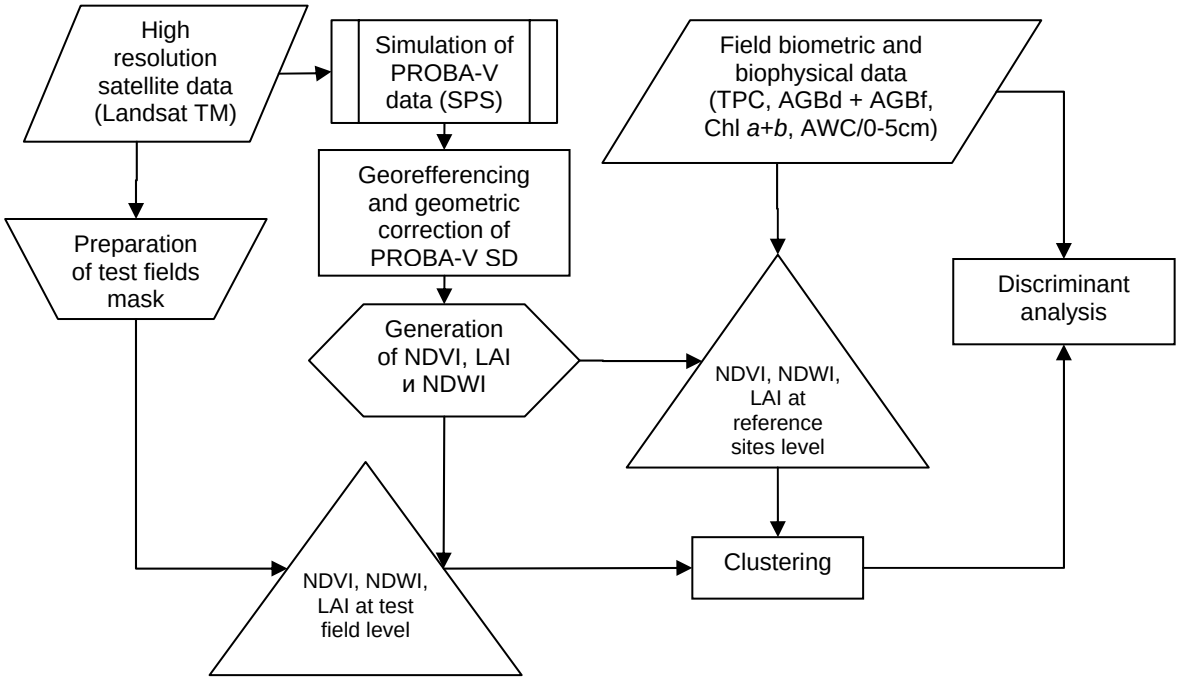



Fig. 2. Flowchart of the methodological framework

*2.1. Geometric correction of PROBA-V SD scenes using as a reference SPOT 5 image.*

The PROBA-V SD image obtained by the VITO SPS team was orthorectified using ASTER GDEM and georefferenced using ground-measured GPS reference points. This was made as PROBA-V SD comes with no projection after the simulation procedure and needs to be geocorrected and rectified.

*2.2. Generation of NDVI, NDWI and LAI index images from PROBA-V SD*

Two vegetation indices (VI) were used as indicators of crop status: NDVI and NDWI, Fig. 3. The NDVI index is usually considered as a direct indicator of plants' photosynthetic activity (Rouse *et al*. 1973; Tucker 1979). The NDVI was calculated by (1):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

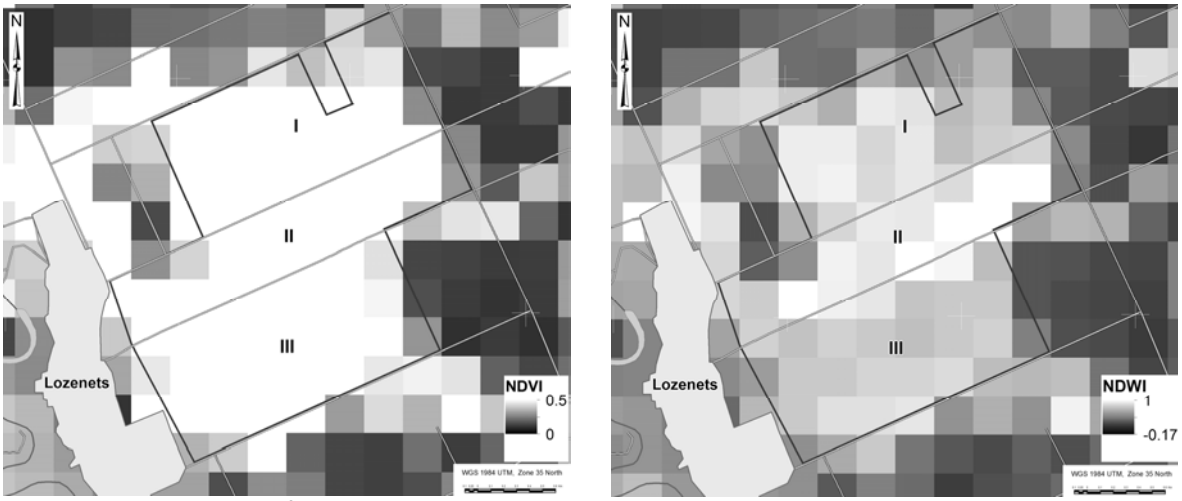
where NIR and RED are accordingly the near infrared and the red waveband. NDWI was used as an indicator of plants' water content, since it uses the negatively-correlated-with-water shortwave infrared (SWIR) spectral waveband (Gao 1996). The NDWI index was calculated by (2):

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}, \quad (2)$$

where NIR and SWIR are accordingly the near infrared and the shortwave infrared waveband.

Remote sensing methods provide data for LAI quickly and over great regions (Zheng and Moskal 2009). Different definitions of LAI are available, which is due to the differences in plant morphology, methods and purpose of LAI measurement (Gonsamo, 2009; Zheng and Moskal, 2009). In remote sensing, LAI is most often defined as *half the total green leaf intercepting area per unit ground surface area* (Chen and Black, 1992).

The empirical approach for deriving LAI is used with low resolution data (Chen *et al*. 2002). Most often, the reflectance in different spectral zones or spectral vegetation indices is correlated with ground-measured values of LAI (Turner *et al*. 1999). For winter wheat and for other types of crops, this relationship is usually curvilinear (Yang *et al*. 2007).




a) b)

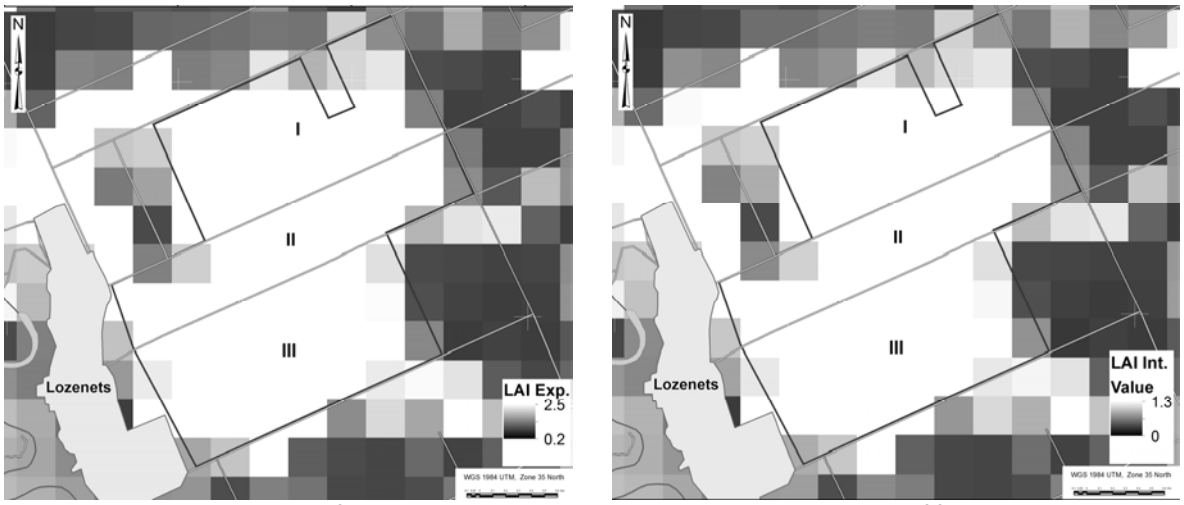
Fig. 3. a) NDVI and b) NDWI images from PROBA-V SD (26.03.2011)

PROBA-V SD LAI images were generated using two empirical relationships between LAI and NDVI, Fig. 4. The used methods referred to in the text as: 1) exponential, and 2) interpolation are:

Exponential relationship between LAI and NDVI, suggested by White *et al*. (1997), (3).

(3) $$LAI = 0.2273 \cdot e^{4.972 \cdot NDVI}$$

Interpolation based on the backup look-up table (LUT) of the MODIS LAI algorithm (Knyazikhin *et al*. 1999) for 'biome class 1' – 'pastures/cereals'. This relationship is based on regression curves and is used in the spare algorithm for MODIS LAI.




a) b)

Fig. 4. a) LAI Exp. and b) LAI Int. images from PROBA-V SD (26.03.2011)

### *2.3. Preparation of test fields' mask and deriving the values of NDVI, NDWI, and LAI*

To be able to localize and discern the test fields on PROBA-V SD scenes, a mask was prepared. Essential to its preparation were the spatial coordinates, and not the values of the reflectance coefficient. For the purpose, images with higher SR (spatial resolution) were used. This study used a satellite image from SPOT 5 HRG acquired on 24.04.2011, as well as data from the performed GPS measurements. Thus, using differential corrections, the localization accuracy of the identified fields within the range 2–5 m was improved. The test fields' mask was used to derive the values of NDVI, LAI, and NDWI from the index images for each individual pixel, as well as to obtain the averaged values for each of the three studied fields. The pixels located on the boundary of the test fields are "mixed" with other types of earth surface. Since they do not reflect actually the status in the respective fields, these cases were excluded from the analysis.

## Results and discussions

The assessment of the potentials of PROBA-V SD NDVI, NDWI, and LAI indices to determine the status of wheat crops after winter was done by comparison of factor loadings and factor scores of ground-measured data and PROBA-V SD. The results are presented on Fig. 5.

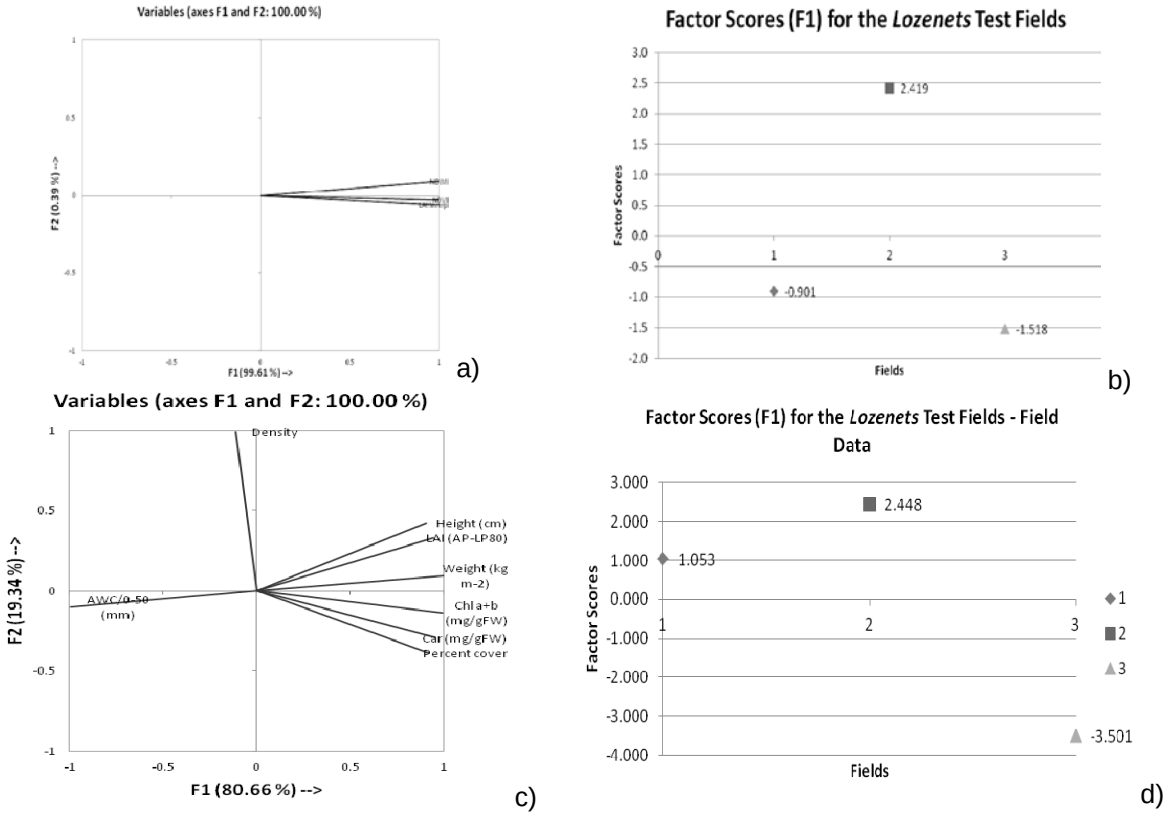



Fig. 5. Factor loadings of the PROBA-V SD variables a) and bi-plot of its factor scores (F1) b); factor loadings of the ground-measured variables c) and bi-plot of its factor scores (F1) d) for the *Lozenets* test fields (*Tillering*)

It can be seen from the figure that the PROBA-V SD VIs and LAI estmated after the Interpolation method, form the first factor (F1), whereas the second factor (F2) is formed mainly by NDWI. The factor scores for the F1, which account for 99.1% of the overall variability in the input VIs and LAI data, shows clearly that field II tops in score ranking, followed by field I and field III. The contribution of the ground-measured variables in forming factors1 and 3 (F1 and F2) is represented in Fig. 5 c and 5 d. The environmental meaning of the factors so formed shows that the F1 accounts mostly for plant structure and pigment content, whereas the F2 accounts for some structural parameters of winter wheat. According to the factor scores of F1 (80.66% of overall variability), it can be concluded that field II is in more favourable condition than field I, followed by field III. This leads to the conclusion that both ground-measured data and PROBA-V SD detect the differences in field status at field level. The $\chi^2$ (chi-squared) test statistics (2.147, df = 2, $\alpha = 0.05$) is significant and shows that the factor scores F1 and F2 estimated from field and satellite data are strongly dependent from one another. Therefore, the changes in the field measured parameters follow the changes of the PROBA-V SD VIs and LAI. The initially classified PROBA-V SD NDVI, NDWI, and LAI into three classes: 1) unsatisfactory, 2) good, and 3) very good status have been tested for their separability. The Wilks' Lambda test showed that F (observed value) 0.835 << F (critical value) 4.323, thus confirming the null hypthesis for difference in the groups of ground-based data.

During the verification for compliance of the observation classes from PROBA-V SD NDVI with the ground-measured data, the following ranking of the reference sites in the bi-factor space was obtained, Fig. 6.

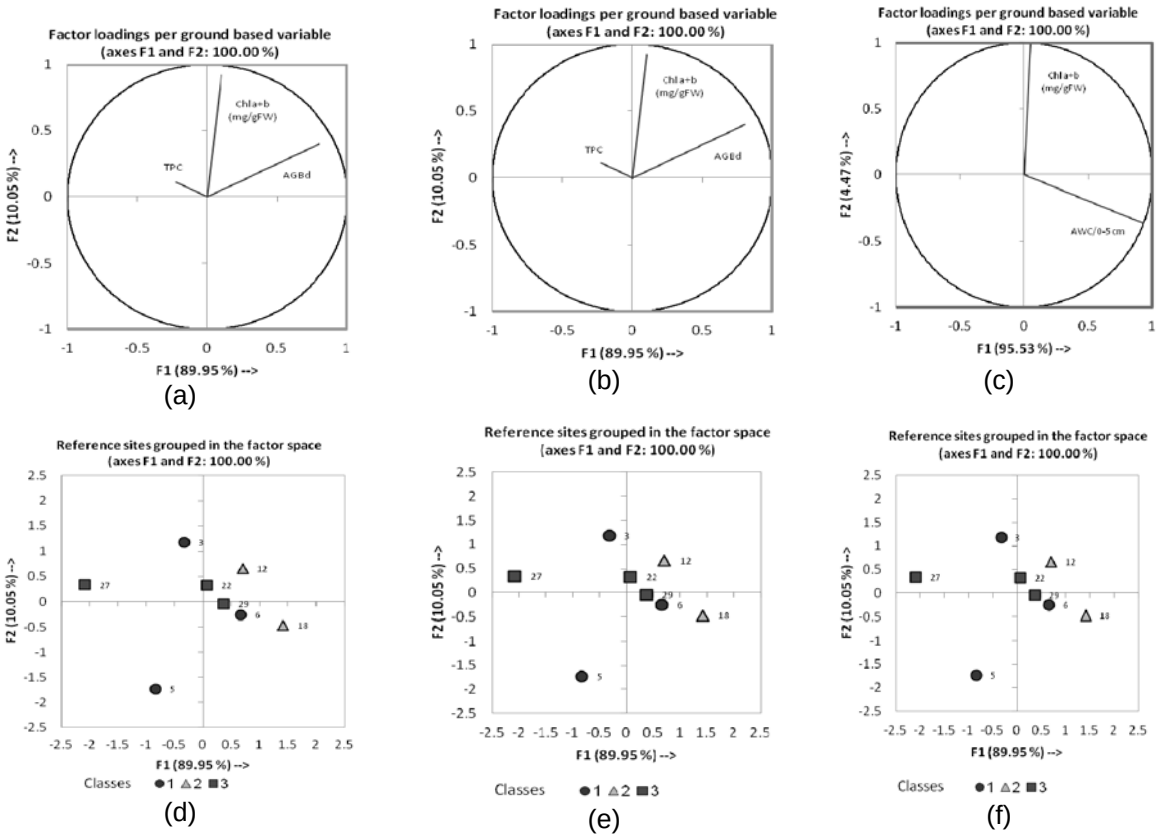



Fig. 6. Factor loadings (F1 and F2) of the ground-measured variables (a-c) and bi-plots of factor scores (F1 and F2) for PROBA-V SD NDVI classes d), LAI classes e), and NDWI classes f) for *Lozenets* reference sites

On Fig. 6 a the contribution of LAI in the formation of F1 is greatest, while with F2, the contribution of LAI and TPC is greatest. Nevertheless, the percent participation of F2 is negligibly small and therefore, it may be assumed that F1 is formed entirely of LAI, AGBf, and TPC. The clustering of the reference sites in the bi-factor space correspond to the clusters separated from PROBA-V SD NDVI. Although, there is a relatively poor separation of class 1 (unsatisfactory status) by F1, while class 2 (good) and class 3 (very good) are well separated from each other. This is also confirmed by the results from the cross-validation of PROBA-V SD by ground-based data, as shown on Table 3.

Table 3. Confusion matrix of F1 and F2 classes (PROBA-V SD NDVI, NDWI, and LAI) and F1 and F2 classes (TPC, AGBd, AGBf, AWC/0-5 cm, and chlorophill *a*+*b*)

| | F1 and F2 classes (TPC, AGBd, and clorophill *a*+*b*) | | | |
|---|---|---|---|---|
| PROBA-V SD NDVI classes | **to 1** | **to 2** | **to 3** | **Sum** |
| **from 1** | 2 (25.0%) | 0 (0.0%) | 1 (12.5%) | 3 (37.5%) |
| **from 2** | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) |
| **from 3** | 1 (12.5%) | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) | 3 (37.5%) |
| **Sum** | 3 (37.5%) | 2 (25.0%) | 3 (37.5%) | 8 (100.0%) |
| PROBA-V SD LAI classes | F1 and F2 classes (TPC, AGBd, and chlorophill *a*+*b*) | | | |
| **from 1** | 2 (25.0%) | 0 (0.0%) | 1 (12.5%) | 3 (37.5%) |
| **from 2** | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) |
| **from 3** | 1 (12.5%) | 0 (0.0%) | 2 (25.0%) | 3 (37.5%) |
| **Sum** | 3 (37.5%) | 2 (25.0%) | 3 (37.5%) | 8 (100.0%) |
| PROBA-V SD NDWI classes | F1 and F2 classes (AGBf, AWC/0-5 cm, and clorophill *a*+*b*) | | | |
| **from 1** | 3 (37.5%) | 0 (0.0%) | 0 (0.0%) | 3 (37.5%) |
| **from 2** | 1 (12.5%) | 2 (25.0%) | 0 (0.0%) | 3 (37.5%) |
| **from 3** | 1 (12.5%) | 0 (0.0%) | 1 (12.5%) | 2 (25.0%) |
| **Sum** | 5 (62.5%) | 2 (25.0%) | 1 (12.5%) | 8 (100.0%) |

During the discriminant analysis the results for the percent error of PROBA-V SD NDVI, NDWI and LAI classes are identical (25%) when using three ground-measured variables for F1 and F2 (TPC, AGBd, and Chl *a*+*b*) for NDVI and LAI, and F1 and F2 (AGBf, AWC/0-5 cm, and clorophill *a*+*b*) for NDWI. The confusion is greatest with class 1 (unsatisfactory status) which shares its members with class 3, as well as of class 3 with class 1. The major error in the validation of data for PROBA-V SD NDWI and F1 and F2 classes is between the PROBA-V SD NDWI classes 2 and 3 (good and very good status) and F1 and F2 class 1 (unfavourable status).

**Conclusions**

The results from the field measurements and PROBA-V SD of the *Lozenets* test fields, sized 1.5 $km^2$, prove the differences in fields' vegetation status. This conclusion is supported by the factor scores for the three test fields estimated using field data and PROBA-V SD. This provides for extending the monitoring of winter wheat at field level on a regular basis by using the satellite data and products from PROBA-V.

The significance of the $\chi^2$ (chi-squared) test statistics of (2.147; 2 DF) shows that both datasets, i.e. field-measurement data and PROBA-V SD VIs and biophysical products, are strongly dependent.

It was established that PROBA-V SD NDVI, NDWI, and LAI may be used to monitor winter wheat status after winter dormancy with 75% accuracy. This is based on the good correspondence of the three classes of winter wheat crop status: (1) unsatisfactory, (2) good, and (3) very good determined by PROBA-V SD and ground-based data.

It is suggested that during future validation of PROBA-V satellite data, a minimum set of ground-measured winter wheat status parameters, such as LAI, TPC, AGBf and AGBd, Chl *a*+*b*, and AWC/0-5 cm have to be determined.

**Acknowledgments**

The study was implemented within the framework of the scientific research project *Testing PROBA-V and VEGETATION data for agricultural applications in Bulgaria and Romania (PROAGROBURO)*, Contract Ref. No CB/XX/16 financed by the Belgian Federal Science Policy Office (BELSPO) under the PROBA-V Preparatory Programme (http://proagroburo.meteoromania.ro/). We avail of the possibility to pay our most cordial gratitude to the SPS team of the VITO for providing the simulated PROBA-V data. We also thank the ISIS (Incentive for the Scientific use of Images from the Spot system) Programme of CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), and the U.S. Geological Survey's LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) for the timely acquisition and provision of satellite images during the experiment. Special thanks to Mr. Kiril Zhendov for his dedicated support of the field experiments.

**References:**

1. Chen, J. M., G. Pavlic, G. Pavlic, L. Brown, J. Cihlar, S. Leblanc, H. White, R. Hall, D. Peddle, D. King, J. Trofymow, Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. Remote Sensing of Environment, 80(1), 165-184, 2002.
2. Chen, J. M., T. A. Black, Defining Leaf Area Index for non flat leaves. Plant, Cell & Environment, 15(4), 421-429, 1992.
3. Dadhwal, V., Crop growth and productivity monitoring and simulation using remote sensing and GIS. In: Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology: 263, 2003.
4. Dammer, K. H., J. Wollny, A. Giebel, Estimation of the Leaf Area Index in cereal crops for variable rate fungicide spraying. European Journal of Agronomy 28(3), 351-360, 2008.
5. Doraiswamy, P., J. Hatfield, T. Akhmedov, B. Prueger, J. Stern, Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. Remote Sensing of Environment, 92(4), 548-559, 2004.
6. Fisher, W.D., On grouping for maximum homogeneity. Journal of the American Statistical Association, 53, 789-798, 1958.
7. Gao, B. C., NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257-266, 1996.
8. Gonsamo Gosa, A., Remote sensing of leaf area index: enhanced retrieval from close-range and remotely sensed optical observations. Academic Dissertation, University of Helsinki, Finland, A 147, 2009.
9. Knyazikhin, Y., J. Glassy, J.L. Privette, Y. Tian, A. Lotsch, Y. Zhang, Y. Wang, J.T. Morisette, P. Votava, R.B. Myneni, R.R. Nemani, S.W. Running, MODIS leaf area index (LAI) and fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation (FPAR) product (MOD15) algorithm theoretical basis document." Theoretical Basis

Document, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, 1999. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/land_atbd.php (Date accessed 16 December 2011).
10. Lobell, D. B., G. P. Asner, J. Ivan Ortiz-Monasterio, T. L. Benning, Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties, Agriculture, Ecosystems & Environment, 94 (2), 205-220, 2003.
11. Rouse, J., R. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, NASA SP-351, 1973.
12. Topliiski, D., The climate of Bulgaria. 360 p. (Sofia: Amstels), 2006. (in Bulgarian).
13. Tucker, C. J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127-150, 1979.
14. Turner, D. P., W. B. Cohen, R., Kennedy, K., Fassnacht, J. Briggs, Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. Remote Sensing of Environment, 70(1), 52-68, 1999.
15. White, J., S. Running, R. Nemani, R. Keane, K. Ryan, Measurement and remote sensing of LAI in Rocky Mountain montane ecosystems. Canadian Journal of Forest Research, 27, 1714–1727, 1997.
16. Yang, P., W.B. Wu, H.J. Tang, Q.B. Zhou, J.Q. Zou, L. Zhang, Mapping spatial and temporal variations of leaf area index for winter wheat in north China. Agricultural Sciences in China, 6, 1437-1443, 2007.
17. Zheng, G., L. M. Moskal, Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. Sensors, 9(4), 2719-2745, 2009.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# LAI DEVELOPMENT IN MIXED FOREST INFERRED FROM MODIS LAI/FPAR DATA PRODUCT – CENTRAL RHODOPE MOUNTAINS

**George Letchov**

*Department of Mathematics and Physics, Agricultural University, Plovdiv*
*e-mail: modtran@gmail.com*

***Keywords:*** *Leaf Area Index(LAI), logistic model*, *MODIS LAI/FAPAR, deciduous-broadleaf forest, evergreen-coniferous forest, Central Rhodope mountains,*

***Abstract :*** *A model of LAI development is presented based on MODIS LAI/FAPAR data product for the period 2003-2010, Central Rhodope mountains. The model describes both the period of leafing and the period of senescence and allows evaluation of basic parameters of the process of development of leaf area as: start of vegetation season, end of season, rates of leafing and senescence processes, LAI at any point of vegetation development. A method is proposed for evaluation of $LAI_{max}$ and the time when $LAI_{max}$ is reached.*

# ИЗМЕНЕНИЕ НА ИНДЕКСЪТ НА ЛИСТНАТА ПЛОЩ В СМЕСЕНА ГОРА, ВЪЗ ОСНОВА НА ПРОДУКТА MODIS LAI/FPAR – ЦЕНТРАЛНИ РОДОПИ

**Георги Лечов**

*катедра «Математика и физика», Аграрен Университет, Пловдив*
*e-mail: modtran@gmail.com*

***Ключови думи:*** *индекс на листната площ, логистичен модел, MODIS LAI/FPAR, листопадна широколистна гора, вечнозелена иглолистна гора, Централни Родопи*

***Резюме:*** *В настоящата статия е разработен модел на развитието на индекса на листната площ(LAI) въз основа на MODIS LAI/FPAR data product в периода 2003-2010, Централни Родопи. Разработеният модел описва, както периода на разлистване, така и периода на листопад, като позволява оценката на основни параметри на процеса на развитие на листната площ, като: начало на периода на активна вегетация, край на периода на вегетация, скорост на натрупване на листна маса, скорост на процеса листопад, стойностите на LAI във всеки момент от развитието на растителната покривка. Предложен е метод за оценка на $LAI_{max}$ и момента от време, в който се достига $LAI_{max}$.*

## Introduction

Global climatic changes and changes in atmospheric composition lead to changes in spatial distribution of plant communities on earth and the change of recorded phenological events through time. LAI determines the exchange of fluxes of energy, mass (e.g., water and $CO_2$), and momentum between the surface and the planetary boundary layer. From a micrometeorological perspective [1] an increase in Leaf Area Index increases light interception and the source/sink strength for heat, water and $CO_2$ exchange.

LAI is defined as the one sided green leaf area per unit ground area in broadleaf canopies, or as the projected needle leaf area per unit ground area in needle canopies. The aims of the present work are: 1) to study spatial distribution and annual dynamics of the Leaf Area Index over a mixed forest in the Central Rhodope mountains, 2) to build a functional, deterministic type of model of LAI development during the greenup and the senescence periods of vegetation development and to apply it in order to define the key characteristics of leaf area development such as maximum rate of growth, maximum value of LAI, days of year when they are reached, etc..

**Study area**

The presented study covers a spot (42.0190N, 24.6849E; 42.0263N, 24.6751E), part of the Central Rhodope mountain forest, an area with temperate climate (characterized by a cold, damp winters and hot, dry summers). The average annual temperature varies between 6 and 11$^{o}$C. The annual temperature sums during the vegetation period are between 1200 and 2300$^{o}$C and the long-term average annual precipitations are between 700 до 1100mm.

The study area is located between 300 and 1800 m altitude. The lower elevations (300- 600m) are dominated by mixed deciduous forests *Quercus pubescens, Q. virgiliana, Carpinus betulus, Fr. excelsior L., Tilia, Juniperus oxycedrus*, while the higher elevations (over 700m) are dominated by *Fagus sylvatica, Pinus sylvestris and Picea*.

**Materials and methods**

*image data retrieval and processing*

This study is based on analysis of the LAI/FPAR (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite dataset collected by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer onboard of Aqua (EOS PM) satellite, NASA. Science Data Sets provided in the MYD15A2 include LAI, FPAR, a quality rating, and standard deviation for each variable [2], [3]. Quality control (QC) measures for the MOD15A2 product are produced at a tile and at a pixel level. At the tile level, these appear as a set of metadata. At the pixel level, quality control information is presented by 2 data layers (FparLai_QC and FparExtra_QC). Therefore users should take into account the QC layers of the LAI/FPAR product to select reliable retrievals.

*algorithm description*

(1) Data mining from the HDF(Hierarchical Data Format) [4] database for the studied area. As a result an yearly database of 45 images is formed containing the LAI data, measured by sensors over the studied area They are related to the 45 files containing images quality data at pixel level.
(2) Initial filtering of the data taking into account the quality control flags.
(3) Averaging Leaf Area Index over the image pixels and forming yearly LAI data sets for the 2003-2010 time range.
(4) Building a model of LAI development during the vegetation period.

*LAI development model*

We assume an additive model of LAI composition, i.e. the LAI time series are concerned as comprising three components: a seasonal component B(t) defined by the deciduous-broadleaf forest, evergreen-coniferous forest' and shrubs' component E(t), and an irregular (noise) component ε(t):

$$LAI(t) = B(t) + E(t) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

E(t) acts as a background component and it changes slightly over time. This component can be evaluated easily by analyzing the months in which $B(t) \approx 0$, late autumn and winter. The broadleaf component B(t), which has strong seasonal variations, has a significant contribution to development of Leaf Area Index.

Growth functions are widely applied in many branches of biological sciences. There are two types of models that can be used to describe the plant development during the vegetation cycle [5]. Empirical models are widely used and are essentially direct descriptions of observational data. The empirical models are not based on the understanding of the processes that rules the vegetation growth. They don't include any biological information, don't account for fundamental physical processes and laws, such as energy or mass conservation. The approach is very simple – to choose any curve that best fits the experimental data. To study the *LAI* development, another approach is used known as dynamic deterministic models that are concerned with the understanding of the mechanisms that rule the processes in plants or vegetation as a whole.

In this context here we use the logistic growth model to describe the Leaf Area Index behavior during the vegetation period. These types of models are related to the mechanisms that rule the processes in plants or vegetation as a whole. i.e. they are functional type models [5]. The logistic model foundations are the assumptions that the rate of change of the Leaf Area Index is proportional to the leaf area and depends on food resources of the environment and the microclimate at the time. This fact, together with moderate valuations, which the logistic model provides, should be taken into account when choosing a model describing the evolution of vegetation cover based on remote sensing measurements. The time course of Leaf Area Index is described by so-called growth function LAI = LAI(t), t- time. Thornley [5], formulate the basic criteria that the growth function has to satisfy: it should be derived from a differential equation for d(LAI)/dt; the parameters in this equation should be biologically meaningful, as substrate supply, environmental conditions, development rates and so on. To describe LAI development we have to propose that growth rate of LAI at the time moment t is

proportional to the value of LAI at the same time t, growth rate is proportional to the amount of substrate S and growth is irreversible. The differential equation satisfying the assumptions above is

(2) $$\frac{d(LAI)}{dt} = k.(LAI).S$$

where *k* is constant and *S* is substrate level at time *t*. The equation (2) satisfies the initial conditions LAI (0) =$LAI_0$, S(0) = $S_0$ and is known as the logistic growth model. It is assumed that there is no net gain or loss from the system, i.e. LAI + S = $LAI_0$ + $S_0$ = $LAI_f$ = const. Here $LAI_f$ is final value of LAI approached as t → ∞. At t → ∞ all of the substrate is used and S (∞) → 0. Equation (2) is readily integrated and the solution is

(3) $$LAI = \frac{LAI_0.LAI_f}{LAI_0 + (LAI_f - LAI_0).\exp(-\mu.t)}$$

where μ = k.$LAI_f$. The coefficient μ is the specific growth rate during the early stages of plant growth when (LAI/$LAI_f$)<< 1. The key features of the logistic growth are [6]: *(i)* $\lim_{t\to\infty} LAI(t) = LAI_f$ , i.e. LAI will ultimately reach its carrying capacity; *(ii)* The relative growth rate, declines linearly with increasing LAI. *(iii)* The Leaf Area Index (LAI) at the inflection point (where growth rate is maximum), $LAI_{inf}$, is exactly half the carrying capacity:

(4) $$LAI_{\inf} = \frac{1}{2} LAI_f$$ , which occurs at $$t_{\inf} = \frac{1}{\mu}\ln(\frac{LAI_f - LAI_0}{LAI_0})$$

The parameters $L_0$, $L_f$, μ of the fitting function LAI(t) = LAI (t; $L_0$, $L_f$, μ) to measured data points ($t_i$, $LAI_i$) are found minimizing the sum of the weighted squares of the errors (or weighted residuals) between the measured data $LAI_i(t_i)$ and the values of the curve-fit function LAI ($t_i$; $L_0$, $L_f$, μ):

(5) $$\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{LAI(t_i; L_0, L_f, \mu) - LAI_i(t_i)}{\varpi_i}\right]^2 = \min$$

where $\omega_i$ is a measure of the error in measurement $LAI_i(t_i)$. The function LAI (t; $L_0$, $L_f$, μ) is nonlinear in the model parameters $L_0$, $L_f$ and μ and there aren't parameters constraints. Therefore the minimization (5) is done using the Levenberg-Marquardt method [7].

Two scenarios of LAI development are studied:

*average year scenario:*

Let $L_{mn}$ is Leaf Area Index measured by satellite sensor during the m-th time interval of the n-th year. Than we composed an averaged year data set $LAI_{avrg}$. The elements of $LAI_{avrg}$ data set are:

$$LAI_{avrg} = \left\{\overline{L_m} : \overline{L_1}, \overline{L_2}, ....., \overline{L_N}\right\} \text{ where, } \overline{L_m} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} L_{mn}$$

*upper envelop scenario:*

The other data set we have studied is the upper envelope data set $LAI_{UpEnvlp}$.

$$LAI_{UpEnvlp} = \{L_{m;\,max}: L_{1\,max}, L_{9;\,m}, \ldots, L_{361;\,m}\}$$

where, $L_{m;\,max} = \max\{ L_{m;1}, L_{m;\,2}, \ldots, L_{m;\,N} \}$

The upper envelope scenario is closer to field data because account for data quality more precisely and therefore it is preferable in the analysis of remote sensing data.

**Results and Discussion**

The dynamics of vegetation cover can be investigated using frequency distributions of Leaf Area Index. At the beginning and end of vegetation period (see DOY 89 and DOY 273- Figure 1) the contribution of evergreen plants stands out. These are mainly isolated stretches of pine forests, in the higher parts of mountains. In the lower mountain evergreen areas are formed by juniper bushes.

For dates presented DOY 89 and DOY 273 (Figure 1), the study area is snow-free and the vegetation process in deciduous-broadleaf forests is closed and therefore the evergreen-coniferous vegetation contribution in LAI is dominant (E(t) is in the range of 1-2, B(t) ≈ 0). The process of quick unfolding of deciduous forest begins in May (see DOY 153). At the beginning, the process comprises

oak, hornbeam, ash and tilia mixed forest at lower altitudes, and later comprises the dominant beech forest ecosystem at altitudes of over 500m. In the middle of the vegetation period (see DOY 201) the distribution of LAI is uniform and ranges from 1 to 5.

*Evergreen-coniferous forest and ahrubs contribution*.

The forest in the studied area is a mixed one, dominated by deciduous species beech, oak and hornbeam, but in the higher altitudes over 1000 to 1200 m there are evergreen coniferous forests. This requires assessment of the coniferous forest contribution E(t) to the spatially averaged Leaf Area Index. The stand-out of evergreen vegetation in remote sensing observations is strongest in late autumn and winter, at the end of November, December, January, February to mid-March. During this period the leaves in deciduous forests have fallen and B(t) ≈ 0. Major difficulty is the presence of significant cloud and snow covers, which affect the quality of remote sensing data. LAI during this period does not change since the processes of development in evergreen-coniferous forests are stopped and LAI ≈ E(t).

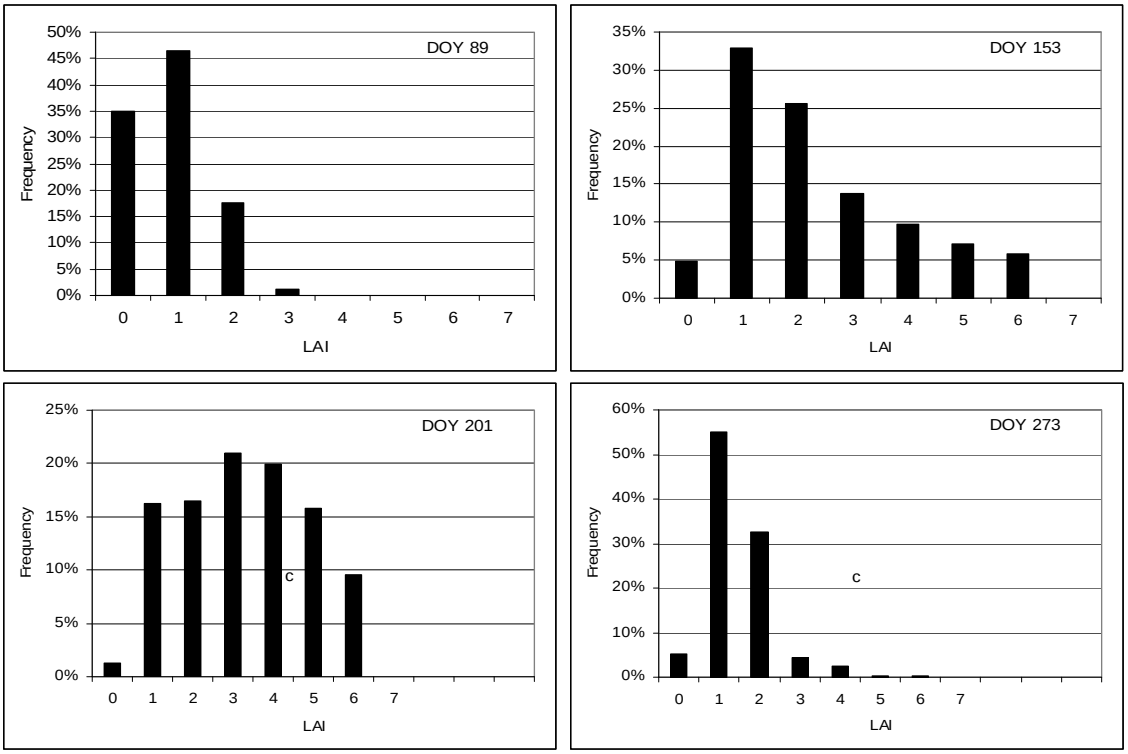



Fig. 1: Frequency distributions of Leaf Area Index at the beginning (DOY 89 and DOY 153), middle (DOY 201) and the end (DOY 273) of vegetation period. Mixed forest.

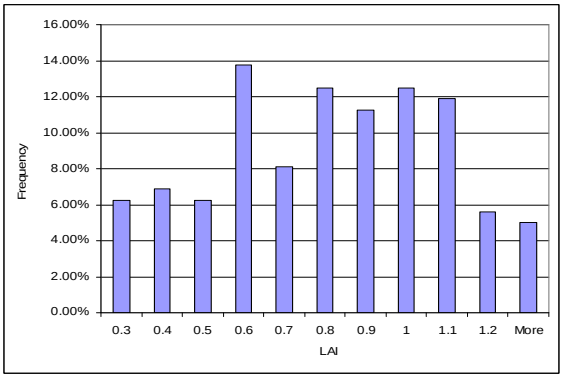



Fig. 2

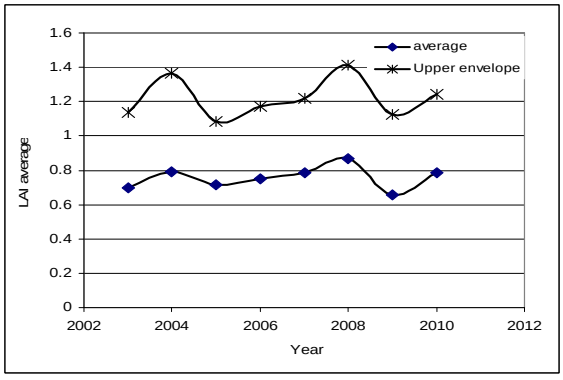



Fig. 3

Fig. 2: Frequency distribution of LAI for evergreen canopy, (number of days with LAI) during the dormancy periods of the years 2003- 2010.

Fig. 3: LAI annual average development for evergreen canopy in the studied region. Upper envelope is annual $LAI_{max}$, over the dormancy periods- end of November, December, January, February, March).

As shown in Figure 2, during the dormancy period, different values of E(t) reflect the cloud and snow covers' influence on the quality of vegetation index data. To exclude the errors caused by snow cover

presence, cloudy days and technical uncertainties, E(t) upper envelope data sets should be used (Figure 3). As one can see the E(t) upper envelope values are between 1.2 and 1.4. The average E(t) during the studied period 2003-2009 is 0.76, which is 30% lower than the upper envelope estimation of E(t) = 1.22. There are two pronounced declines in the E(t) upper envelope and E(t) averaged data sets, during 2004-2005 and 2008-2009 periods. The reasons should be further specified but probably are related to the climatic anomalies and ongoing deforestation in the studied area during the years.

*Deciduous-broadleaf forestt.*

After having assessed the contribution of evergreen trees to Leaf Area Index E(t), one can study the LAI produced by deciduous trees B(t) (see equation (1)) as:

(6) $$B(t) = LAI(t) - E(t) + \varepsilon(t)$$

There are two possible scenarios about E(t) in equation (6): (i) E(t) = average evergreen LAI during the dormancy period; (ii) E(t) = upper enveloped data during the dormancy period. The upper enveloped E(t) data set is used in (6). The parameters of the logistic model (2) for broad-leaf component of Leaf Area Index B(t) are presented in Table 1 (greenup period) and Table 2 (senescence period).

Table 1: Logistic model fitting parameters during the greenup period of vegetation development. (*Avrg- average year scenario; UpEnvlp- upper envelope scenario*)

| Year | $L_0$ | $L_f$ | $\lvert\mu\rvert$ | $t_{inf}$ | $LAI_{inf}$ | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 0.0039 | 2.954 | 0.05192 | 127 | 1.477 | 0.965 |
| 2004 | 0.0058 | 3.341 | 0.04251 | 149 | 1.670 | 0.949 |
| 2005 | 0.0038 | 3.029 | 0.04442 | 150 | 1.514 | 0.928 |
| 2006 | 0.0070 | 2.923 | 0.04183 | 144 | 1.462 | 0.944 |
| 2007 | 0.0132 | 3.270 | 0.03831 | 144 | 1.635 | 0.936 |
| 2008 | 0.0071 | 3.015 | 0.04336 | 140 | 1.507 | 0.970 |
| 2009 | 0.0049 | 3.231 | 0.04254 | 153 | 1.615 | 0.921 |
| 2010 | 0.0332 | 3.116 | 0.02708 | 167 | 1.558 | 0.939 |
| Avrg | 0.0021 | 2.577 | 0.05178 | 137 | 1.288 | 0.987 |
| UpEnvlp | 0.0006 | 3.036 | 0.06632 | 129 | 1.518 | 0.987 |

Table 2: Logistic model fitting parameters during the senescence period of vegetation development,

| Year | $L_0$ | $L_f$ | $\lvert\mu\rvert$ | $t_{inf}$ | $LAI_{inf}$ | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 0.0814 | 3.058 | 0.02969 | 239 | 1.529 | 0.945 |
| 2004 | 0.1304 | 3.351 | 0.02806 | 246 | 1.676 | 0.913 |
| 2005 | 0.0328 | 2.784 | 0.04136 | 253 | 1.392 | 0.905 |
| 2006 | 0.0758 | 2.859 | 0.03492 | 257 | 1.429 | 0.876 |
| 2007 | 0.0553 | 3.136 | 0.03869 | 256 | 1.568 | 0.892 |
| 2008 | 0.0237 | 2.977 | 0.04312 | 248 | 1.488 | 0.924 |
| 2009 | 0.0782 | 3.192 | 0.03237 | 246 | 1.596 | 0.891 |
| 2010 | 0.1590 | 2.913 | 0.02669 | 253 | 1.456 | 0.790 |
| Avrg | 0.0195 | 2.579 | 0.04970 | 262 | 1.289 | 0.987 |
| UpEnvlp | 0.0180 | 3.008 | 0.05604 | 269 | 1.504 | 0.989 |

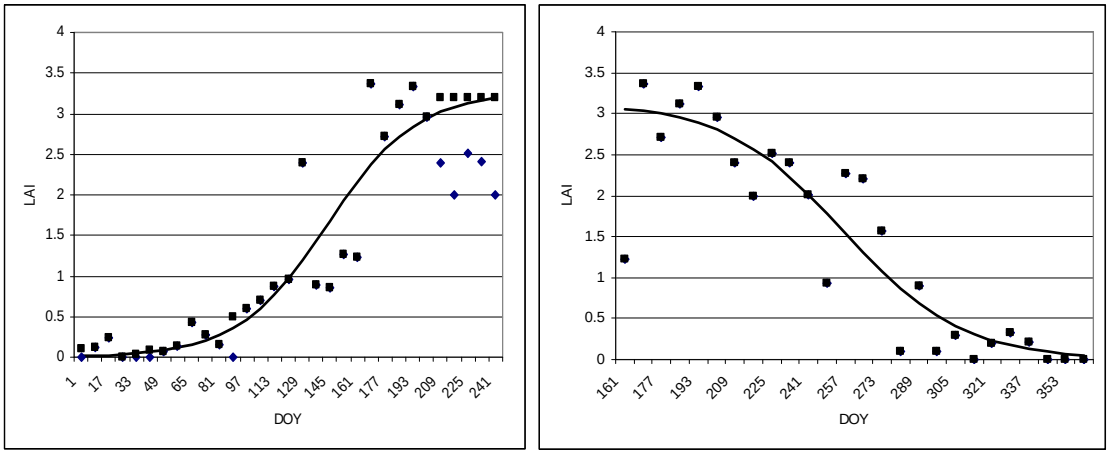



Fig. 4: LAI development over 2007, logistic model (continuous line) and measured data(dots).

The maximum value of Leaf Area Index $L_f$ of deciduous forest, obtained after parameterization of the greenup (spring) logistic model varies from 2.92 to 3.34, while the assessment obtained after parameterization of the senescence (autumn) logistic model varies from 2.78 to 3.5. However, these differences are not statistically significant ($\alpha = 0.05$). The rate of change of leaf area during the greenup period $\mu_{spring}$ is greater than that during the senescence $\mu_{autumn}$: $\mu_{spring} > \mu_{autumn}$, at significance level $\alpha = 0.05$, which reflects the asymmetry in the process of annual change in LAI. In spring, the rate of accumulation of LAI reaches a maximum value around the 147 DOY, while the maximum rate of senescence is reached around 250 DOY (see $t_{inf}$ , Table 1 and Table 2). The logistic model describes better the process of accumulation of biomass ($R^2$ = 0.94, averaged over the studied period 2003-2010), compared with the senescence process ($R^2$ =0.89). This is due to the fact, that the logistic model is a `growth type' model, which essentially ignores specificity of the senescence process.

*Maximum LAI problem*

The local model functions describe *LAI* data very well in spring and autumn separately, but at the limbs, however, the fits are less good. In the logistic model $L_f$ is the value of *LAI* at $t \to \infty$. So it is not possible, based on the logistic model to determine the time when *LAI* reaches the maximum value $L_f$. Detailed analysis shows that, the rate of development $\mu$ of Leaf Area Index near the maximum is a decreasing linear function with time and changes its sign from plus to minus. So $t_{max}$ can be defined as the moment of time when the growth rate becomes zero:

(7) $t_{max}: \mu(t_{max}) = 0.$

The results of linear regression analysis over the measured data within the time interval [105, 281] DOY are presented in Table 3. During the studied period 2003-2010, the average $t_{max}$, the day when LAI reaches a maximum value, is 202 DOY (confidence level (95.0%) = 6.6). The average value of the maximum measured Leaf Area Index $LAI_{max}$ over the period is 3.27 and varies slightly. With regard to $t_{max}$, anomalous years are 2005, 2006 and 2010. In 2005 and 2010 $t_{max}$ shifted by 7 and 11 days ahead of the average date for the period, while in 2006 $t_{max}$ was delayed by 23 days. It should be noted that during the anomalous years, productivity of the ecosystem did not change, the range of LAI during the period is 0.5.

Table 3: The day of the year ($t_{max}$) when *LAI* reaches the maximum value. $LAI_{max}$ – measured maximum LAI. *Avrg* and *UpEnvlp* are results from average year and upper envelope scenarios data sets analyses.

| Year | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **Avrg** | **UpEnvlp** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{max}$ | 203.9 | 203.4 | 195.2 | 225 | 202.3 | 206.6 | 198.2 | 191.4 | 197 | 197.9 |
| $LAI_{max}$ | 3.188 | 3.539 | 3.133 | 3.509 | 3.365 | 3.229 | 3.195 | 3.007 | 2.654 | 3.278 |

## Conclusions

The presented model describes well the development of leaf area in the Central Rhodope mountains, and can be used to explore: phenology of vegetation cover, productivity of the ecosystem, health status of the ecosystem in terms of diseases and insect pests.

To clarify anomalies during the period, it is necessary to investigate the influence of climatic factors on the productivity of the ecosystem and the effect of the observed processes of deforestation in the region in recent years.


## Acknowledgements

I would like to thank the various MODIS software development and support teams for the production and distribution of the MODIS data, and making available them to the scientific community.


## References:


1. Baldocchi, Dennis. Biometeorology, ESPM 129, University of California, Berkeley, 2008.
2. Myneni, R., Y. Knyazikhin, J. Glassy, P. Votava, N. Shabanov. FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite NASA MODIS Land Algorithm, User's Guide, Last updated: 9/10/2003.
3. Sangram, Ganguly, Mitchell A. Schull, Arindam Samanta, Nikolay V. Shabanov, Cristina Milesi, Ramakrishna R. Nemani, Yuri Knyazikhin, Ranga B. Myneni, Generating vegetation Leaf Area Index earth system data record from multiple sensors. Part 1: Theory, R. Sen. Env. 112 (2008) 4333–4343; Part 2: Implementation, analysis and validation, R. Sens. Env. 112 (2008) 4318–4332
4. The HDF Group. HDF5 User's Guide, HDF5 Release 1.8.7 , May 2011.
5. Thornley, J. H. M., J. France. Mathematical Models in Agriculture, CABI Publishing, 2006.
6. Tsoularis, A., 2001. Analysis of Logistic Growth Models, Res. Lett. Inf. Math. Sci, (2001) 2, 23-46
7. Madsen, K., H. B. Nielsen, O. Tingleff. Methods for non-linear least squares problems", IMM Lecture Note, 2004.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF STRONG GEOMAGNETIC STORMS ON THE SIGNAL PARAMETERS IN GNSS STATION SOFI

**Bozhidar Srebrov, Lyubka Pashova**

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography*
*e-mail: srebrov@geophys.bas.bg, bismall@argo.bas.bg*

***Key words:*** *space weather, geomagnetic storm, GNSS, ionosphere, TEC*

***Abstract:*** *The paper presents the first results obtained from analysis of the strong geomagnetic storms' effect upon the GPS signals in IGS/EPN permanent site SOFI, Bulgaria. As an example, a geomagnetic storm in 2004 is considered. For the period 7-12 Nov. 2004 the geomagnetic indexes $D_{st}$ and $K_p$, variations of the geomagnetic field components in PAG observatory are analyzed simultaneously with the GPS data. The interplanetary medium and interplanetary magnetic filed changes influence on the local variations of the ionosphere parameters above Sofia. It is shown that this strong geomagnetic storm is registered by the geomagnetic indexes $D_{st}$ and $K_p$, as well with the horizontal H-component of the geomagnetic field and the total electron content (TEC). The established maximum TEC value is 47 TECU or ~4.9 m errors in the measured pseudoranges using two-frequency ground-based GPS receiver on 10 Nov. 2004.*

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА СИЛНИ ГЕОМАГНИТНИ БУРИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА СИГНАЛА В GNSS СТАНЦИЯ SOFI

**Божидар Сребров, Любка Пашова**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките*
*e-mail: srebrov@geophys.bas.bg, bismall@argo.bas.bg*

***Ключови думи:*** *космическо време, геомагнитна буря, GNSS, йоносфера, TEC*

***Резюме:*** *В статията са представени първи резултати от анализа на влиянието на силни геомагнитни бури върху GPS наблюденията от IGS/EPN станция SOFI. Разгледан е пример за геомагнитна буря през 2004 г. За периода 7-12 ноември 2004 г. са анализирани съвместно геомагнитните индекси $D_{st}$ и $K_p$, вариациите на компонентите на геомагнитното поле, регистрирани в геомагнитна обсерватория Панагюрище и данните от GPS измерванията. Измененията на междупланетната среда и магнитното поле влияят върху локалните вариации на йоносферата над София, което е установено чрез $D_{st}$ и $K_p$ индексите, хоризонталната компонента на геомагнитното поле H и тоталната електронна концентрация (TEC) по време на силната геомагнитна буря. За изследваната буря е установен максимум на TEC през 10.11.2004 г. със стойност 47 TECU, което съответства на грешка в определяне на псевдоразстоянията от порядъка на ~4.9 m.*

## 1. Introduction

The development of Global Navigation Satellite Systems (GNSS*) leads to expanding the scientific researches and applications in different fields of human life and practice. Through the last years, data from permanent GNSS sites are successfully used for the ionosphere studies (Schaer, 1999; Hernández-Pajares et. al., 2011). The obtained results contribute to elucidation of causal links between different geophysical processes and phenomena like effects of solar activity on the high atmosphere of the Earth. The studying of ionospheric physics and dynamics is directly related to such scientific fields as space weather, influence of the seismic activity upon the ionosphere, radio waves propagation in/outside of the Earth's space, and etc.

* Global Navigation Satellite System (GNSS) - a general name for the satellite navigation systems GPS, GLONASS, GALILEO, Compass, GAGAN и QZSS

The ionospheric conditions can significantly change with space and time. They depend on 11-year cycle of the solar activity, geographical location (polar, auroral, mid-latitudes, and equatorial regions), as well as of the season and the time during the day. The ionosphere is a layer of the Earth's upper atmosphere, which is at an altitude of 50 to 600 km above the earth's surface. Comparing to the distance between satellite and receiver of about 20200 km the ionosphere is a thin layer from the earth atmosphere with ~550 km in thickness. It is well known that the solar ultraviolet radiation plays a key role in the ionosphere ionization.

The decreasing of accuracy in GNSS positioning and navigation is mainly due to the slower group velocities of electromagnetic (EM) waves passing through the ionosphere. An interruption of GNSS signal and signal amplitude changes over time can happen due to the ionospheric irregularities, which are constantly changed in space and time. From the various sources of error in the GNSS positioning and navigation, the error due to the delay of the signal passing through the ionosphere is one of the largest and most variable, particularly when using single-frequency receivers (Parkinson & Spilker, 1996). Single-frequency receivers (most consumer-grade receivers are single frequency) require an external input for making the correction of the ionospheric delay.

An additional complication is the fact that the GNSS radio signal moves laterally (sideward) in the ionosphere. The main delay of radio signal is due to the total content of electrons (Total Electron Content - TEC) of the ionosphere. The signal delay is roughly proportional to the TEC present in a column lying along the ray path from the satellite to the receiver located in the ground station. The volume concentration of electrons depends on the geomagnetic latitude of which the receiver is located, time of the day, and satellite's height above the horizon. Significantly greater delays occur for signals from the satellites located close to the horizon, as the signals pass through the greater part of the ionosphere. The determination of TEC in the ionosphere using GPS is widely used method for examining the variations in the ionosphere during quiet space weather (Baran et al., 2003; Ya'acob et al., 2010) and in cases of strong geomagnetic storms (Ho et al., 1998; Afraimovich et al., 2002; Jakowski et al., 2002; Bisi et al., 2008; Rao et al., 2011). The TEC profiles and maps from GPS data are compared with the global ionospheric model like IRI (e. g. Arikan et al., 2007). Especially in disturbed space weather conditions, the forecasting of the TEC-values is critical for communication, radar and navigation systems employing EM waves to cope with the effects of the unpredictable variability of ionospheric parameters.

In this article the problems of the effects of strong geomagnetic storms on GPS measurements and basic equations for the distribution of electromagnetic waves in the ionosphere plasma are briefly outlined. A comparative analysis of the planetary geomagnetic indices and the ionospheric parameters with the estimated time delays of the EM signals and TEC is performed. Initial investigations on the effects of strong geomagnetic storm on GPS measurements in the IGS/EPN permanent station SOFI are conducted. As an example, the case of geomagnetic storm development spanning the period from 7 to 12 Nov. 2004 is considered and the variations of the main ionospheric parameter TEC are represented.

## 2. Influence of the strong geomagnetic storms on the GNSS measurements

The EM wave moves with less group velocity $u_G$ across the Earth ionosphere than outside it and gets respectively a time delay that depends of the ionospheric plasma conditions. The time delay can be represent by the dispersion relation for EM wave propagation:

(1) $$\omega^2 = \omega_p^2 + c^2 k^2,$$

here $\omega$ is the angular frequency, $\omega_p$ is the plasma frequency, $k$ is the wave vector and c is the velocity of light in vacuum. In the presence of an external magnetic field, i.e. $B \neq 0$, two extreme cases are considered.

i. The EM wave moves perpendicular to the geomagnetic field.

The dispersion equation in this case is just like the equation (1) and the group velocity $u_G$ of the EM waves depends of the volumetric electron concentration $N$ by $\omega_p = \left(Ne^2 / \varepsilon_0 m\right)^{\frac{1}{2}}$, i.e.

(2) $$u_G = F(N).$$

ii. The EM wave moves parallel to the geomagnetic field.

In this case two dispersion equations are distinguished for two waves with different polarization.

(3) $$\frac{c^2k^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega_p^2/\omega^2}{1-(\omega_c/\omega)}$$ R - wave

(4) $$\frac{c^2k^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega_p^2/\omega^2}{1+(\omega_c/\omega)}$$ L - wave.

These two waves are circular polarized with left L and right R - polarization. In equations (3) and (4) $\omega_c = \frac{|e|B}{m}$ is the cyclotron frequency of the electron rotation with Larmor's radius, caused by the magnetic field with magnitude *B*. In the case (ii.) the group velocity $u_G$ of EM wave is a function of the volumetric electron concentration *N* and also depends on the magnitude of magnetic field *B*

(5) $$u_G = F(N, B).$$

The geomagnetic field variations caused by one geomagnetic storm are not significant in comparison with the magnitude of the main geomagnetic field. During the geomagnetic storm the time-variable part of the geomagnetic field reaches few hundred nT and the main part for the geographic latitudes of the Bulgarian territory is of the order of 50 000 nT. Based on the above mentioned considerations we can conclude that the electrons concentration and the permanent part of geomagnetic field are significant for the group EM wave velocity in the ionosphere plasma.

### 3. Mapping of total electron content (TEC) in the ionosphere

The group delay of EM signals passing through the ionosphere is frequency-dependent because the ionosphere is a dispersive medium. For GNSS systems, this feature is being used to create an "ionosphere-free" solution using signals at two different frequencies (Parkinson & Spilker, 1996).

The value of group delay or phase advance velocity of the GPS signal is determined by the total volumetric concentration of electrons along the ray path from the satellite to the receiver. It can be expressed as follow (Kintner, 2008):

(6) $$\delta t = \frac{e^2}{2c\varepsilon m_e f^2 (2\pi)^2} \int_\rho N d\rho,$$

where *c* is the velocity of light in vacuum, $\varepsilon$ is the permittivity of vacuum, $m_e$ is the electron mass and *f* is the frequency of EM wave. In this expression the only variable is the electron concentration *N* in the ionosphere. After some mathematical transformations, this expression yields the form:

(7) $$\delta t = \frac{40.3}{cf^2}.TEC,$$

where $TEC = \int_\rho N d\rho$ is the so-called slant total electron content, which is marked by $TEC_s$. TEC is defined by the volumetric concentration of electrons integrated along the ray path $\rho$ of EM signal from each GNSS satellite to the receiver.

Since the concentration of electrons is much larger in the ionosphere than in any other part of the atmosphere, the ionosphere layer has the biggest share in the calculation of TEC (Klobuchar, 1996; Mannucci et al., 1998). TEC is measured in units of $10^{16}$ electrons/m² = 1 TEC unit (TECU). One TECU produces about 0.35 nsec differential delay (L1 - L2) or error of about 0.105 m in the pseudorange between the satellite and the receiver. The nominal range of TEC is 10 to ~$10^2$ TECU with minima at midnight and maxima around the afternoon. During a solar cycle maximum, the $TEC_v$ may reach values above 200 TECU. TEC decreases slowly by night due to the recombination of electrons and ions in the ionosphere. The maximum value of TEC usually occurs in the early afternoon and the minimum is usually before sunrise. Daily fluctuations of TEC increase from north to south, as the sunlight is more direct to the equatorial regions (Ho et al, 1998; Jakowski et al., 2002). For TEC-mapping a single-layer (or thin-shell) model in which the entire charge of the electrons is concentrated in the thin shell above the earth's surface in the ionospheric F-field is most commonly accepted. In calm conditions the mean TEC-values are about 15 TECU per day.

GPS signals pass through the ionosphere, which is a shell with different concentration of the electrically charged particles. To compare the total electron content on the ray path of signals at different angles above the horizon at given GNSS station, the slant TEC must be transformed into an equivalent vertical electron content, which is marked by $TEC_V$. For small angles above the horizon $TEC_S$ can reach up to 3 times the value of TEC in the zenith. The $TEC_S$ is divided by the cosine of the angle above the horizon at an average height of the ionosphere (Klobuchar, 1996), namely:

(8) $TEC_v = TEC_s \cos z'$,

where z' is the zenith angle at the Ionospheric Pierce Point (IPP) (Fig. 1). Most often the value of the ionosphere height for calculations is assumed that corresponding to the maximum electron concentration in the F2-layer. This height varies from 250 to 350 km for middle latitudes and from 350 to 500 km in the equatorial latitudes, as most often it is taken to be 350 km. Permanent GNSS stations, which are located

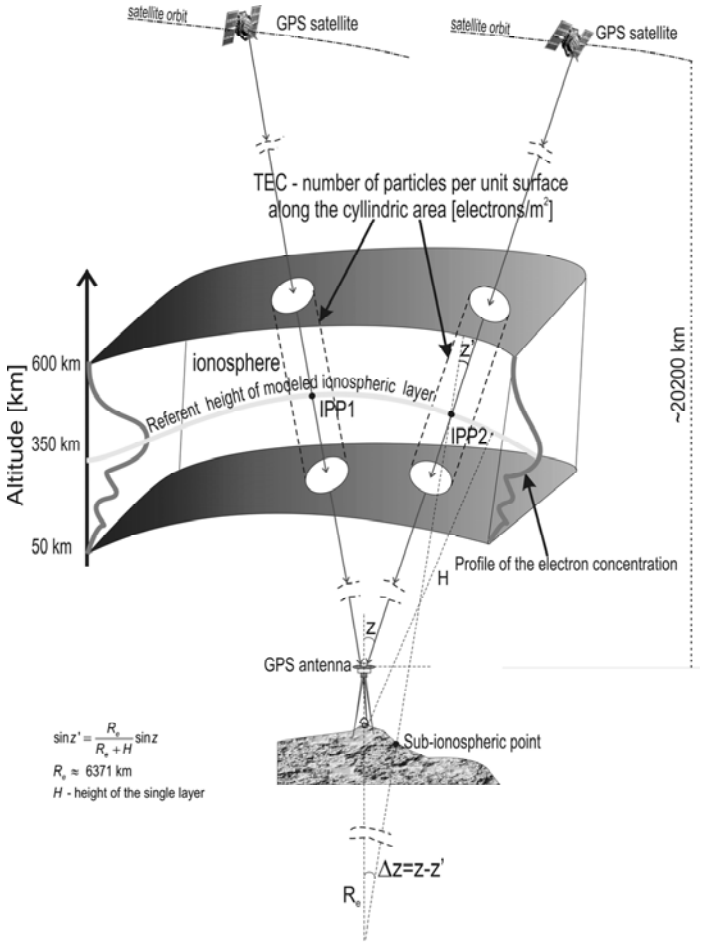



Fig. 1. TEC determination using GPS/GNSS data

on a relatively short distances of each other, make it possible to perform a more detailed TEC-mapping due to the ionospheric irregularities.

In quiet ionospheric conditions, the time delay of the measured pseudorange on L1-frequency can reach from one to several meters. But, under the active ionosphere conditions, such as daytime during the peak of the 11-year solar cycle that governs ionosphere activity, ionospheric delays can reach 50 meters or more (Parkinson & Spilker, 1996). The determination of precise relationships between different parameters included in the models of TEC-mapping with more precise temporal and spatial resolution is still the subject of numerous studies (Arikan et al., 2007; Jakowski et al., 2002; Ya'acob et al, 2010; Rao et al., 2011; Hernández-Pajares et. al., 2011).

#### 4. Permanent IGS/EPN site SOFI

The permanent station SOFI ($42.556^0$N, $23.395^0$E) as one of the monitoring stations of the International IGS Service and the European Permanent Network (EPN) (http://www.epncb.oma.be) was built in 1997 near the "Ovnarnika" locality (Milev et al., 1998). It is located in the Observatory of

the Military geographic service. The GNSS antenna is mounted on a concrete pillar on the building roof and has a height of 6.90 m above the earth's surface. The equipment (antenna and receiver) is replaced several times since 19.05.1997 (the date of the beginning of its work). In the early years the signals only from the satellite navigation system GPS were registered, and since 2005 satellite signals from the Russian navigation system GLONASS are also recorded. Additionally, measurements of some meteorological parameters are performed in order to take into account their influence by applying appropriate corrections to the GNSS observations during the post processing.

The International IGS Service developed the global ionospheric gridded data representing on the TEC-maps, which are computed using data from about 400 permanent GNSS stations world-wide. The IGS/EPN station SOFI is one of the few stations, located on the Balkan Peninsula, which is included in the international analysis centers for GNSS data processing for the space weather research. Analysis centres deliver their results of $TEC_v$ in the IONosphere Exchange (IONEX) format and receiver Differential Code Bias ($DCB_s$) (Schaer, 1999). The IONEX format allows storing the $TEC_v$ and its estimates in a grid format, and their usage for different investigations.

## 5. Solar phenomena, planetary geomagnetic indexes and the storm development from Nov. 2004 on the territory of Bulgaria

The strong geomagnetic storm, registered in the period 7-12 Nov. 2004 is proceeded of five solar Coronal Mass Ejections (CMEs) on 4, 6 and 7 Nov. The starting time of these five chromosphere's events according to data of the satellite LASCO C2 are shown in Table 1 (Bisi et al. 2008). These events are the possible causes of the strong geomagnetic storm during the next few days. In the same table, the start time of the interplanetary medium and interplanetary magnetic field disturbances at the Earth orbit registered by satellite ACE are shown too. As a result of the chromospheric events two minimums of the planetary geomagnetic index $D_{st}$ are registered on the Earth surface, which describe the storm on 8 Nov. in 07:00 UT and on 10 Nov. in 10 UT. The geomagnetic index for the studied period is shown on Fig.2.

On 8, 9 and 10 Nov. 2004 the planetary $K_p$ index reaches values more than 8 (Fig.3). On the territory of Bulgaria the geomagnetic storm is expressed by strong decreases of the horizontal magnetic field component *H* which reaches values to -250 nT. The record of H-component variation, registered in the geomagnetic observatory (GO) Panagyurishte (PAG) (42.485°N, 24.177°E) is presented on Fig.4.

The ionospheric conditions on the Bulgarian territory during this storm are registered by the ionospheric station in Sofia (SQ143) ($42.70^0$ N, $23.40^0$ E). The values of critical frequencies $f_oE$ and $f_oF2$ on 10 Nov. 2004 are shown on Fig. 5. During this day the frequencies reach maximal values for the whole geomagnetic storm period - from 7 to 12 Nov. 2004. As is clearly visible from Fig. 5 the values of $f_oF2$-critical frequency for the F2-layer are of the order 5 - 7 MHz during the period from 08:00 to 19:00 LT (06:00-17:00 UT).

Table1. Coronal mass ejections, which precede the storm during 7-12 Nov. 2004 according to data from SOHO|LASCO C2, interplanetary disturbances on the data from ACE satellite and the minimums of $D_{st}$ index.

| Possible LASCO C2 source (CME) | Interplanetary counterpart first seen at ACE | Geomagnetic activity ($D_{st}$ minimum) |
|---|---|---|
| 4 Nov. 2004 - 09:54 UT Halo | 7 Nov. 2004 - 22:30 UT | 8 Nov. 2004 - 07:00 UT |
| 4 Nov. 2004 - 23:30 UT Partial Halo | 7 Nov. 2004 - 22:30 UT | 8 Nov. 2004 - 07:00 UT |
| 6 Nov. 2004 - 01:32 UT Halo | 9 Nov. 2004 - 20:25 UT | 10 Nov. 2004 - 10:00 UT |
| 6 Nov. 2004 - 02:06 UT Partial Halo | 9 Nov. 2004 - 20:25 UT | 10 Nov. 2004 - 10:00 UT |
| 7 Nov. 2004 - 16:54 UT Halo | 9 Nov. 2004 - 20:25 UT | 10 Nov. 2004 - 10:00 UT |

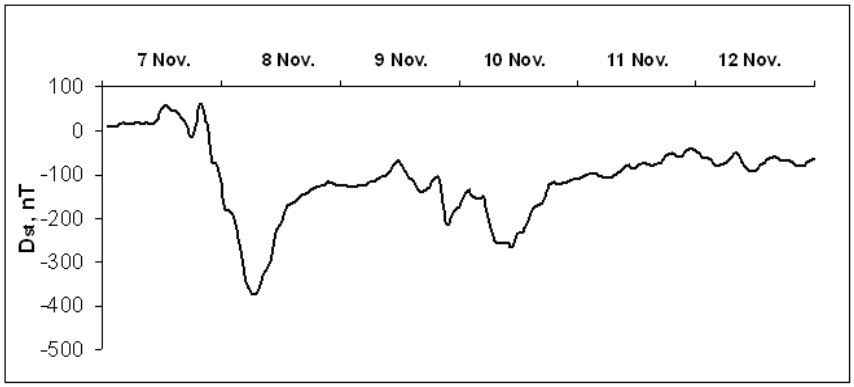



Fig. 2. Planetary geomagnetic index $D_{st}$ for the period 7 -12 Nov. 2004

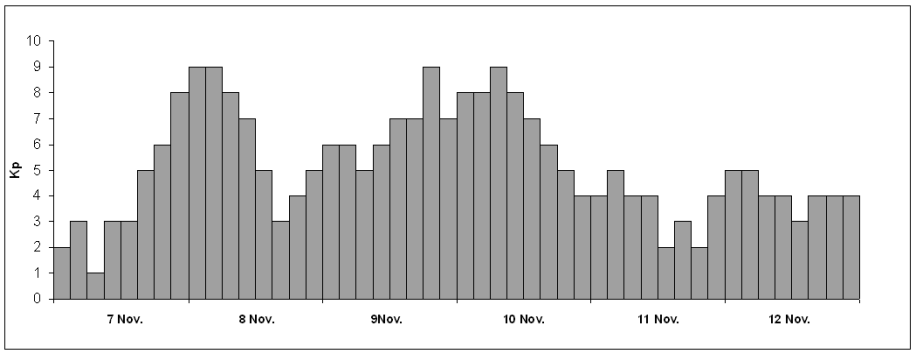



Fig. 3. Planetary geomagnetic index $K_p$ for the period 7 -12 Nov. 2004

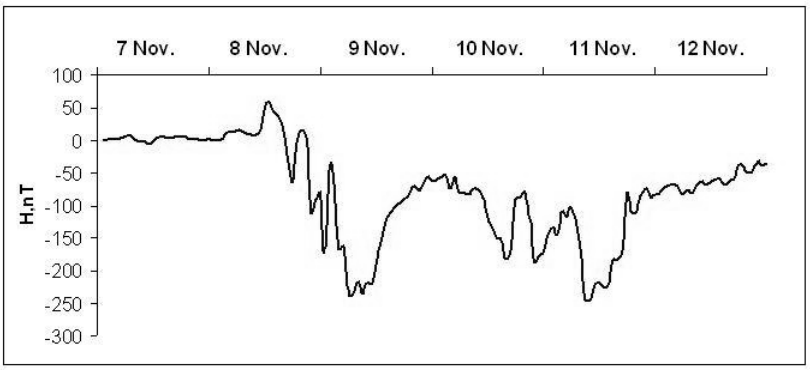



Fig. 4. Variation of magnetic *H*-component in the GO Panagyurishte (PAG)

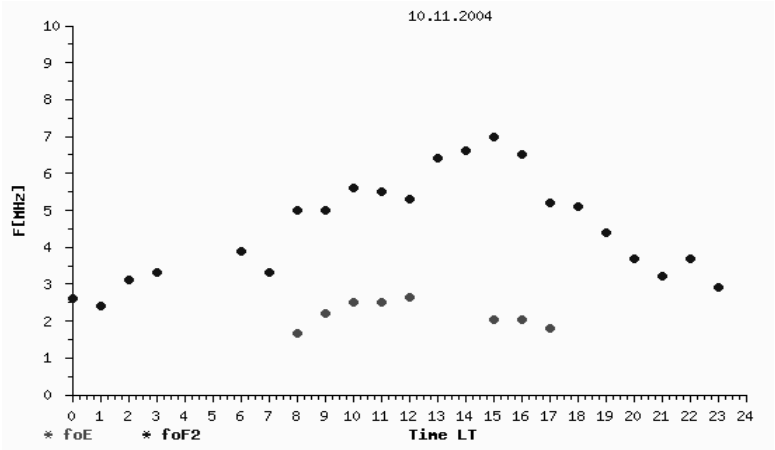



Fig. 5. Critical frequencies obtained from ionospheric station Sofia (SQ143) on 10 Nov. 2004

### 6. Investigation of the geomagnetic storm influence on GNSS observations in the station SOFI

To investigate the geomagnetic storm influence upon the GPS signals we analyzed as example the measurements from IGS/EPN station SOFI for the period 7 - 12 Nov. 2004, when the geomagnetic storm is observed. The RINEX (Receiver Independent Exchange) files (312-317 DOY), navigation and differential code bias (DCB) files provided by the IGS websites are used to calculate $TEC_v$.

From the beginning of Nov. 2004 the solar activity is enhanced, causing the geomagnetic storm. The last is the source of the electron contents increasing in the ionosphere over Sofia in comparison with the typical quiet geomagnetic days. During such quiet days the TEC no exceeds 5-10 TECU.

The maximal values of the electron concentration are around noon for every day from the storm period. TEC-values are different for the satellite constellation visible from the IGS/EPN site SOFI. Fig. 6 shows the local sky plots of all visible satellites on 10 Nov. 2004 and during the period 11:00-12:30 UT, their number and PDOP. A graph of the obtained $TEC_v$ calculated for sub-ionospheric pierce points (IPP, see Fig. 1) for the elevation $15^0$ above horizon is presented on Fig. 7. On the same figure the maximum values more than 40 TECU are observed for the relatively short period 11:00-12:30 UT. The maximum values of time delay in the ionospheric plasma for the same time interval are

also high and reach more than 14 nsec. This leads to more than 4.2 m error for the measured pseudorange using two-frequency GPS receivers. Therefore we can accept that during this period spanning one and half hour, the GPS system was working under the strong geomagnetic storm influence, which causes big errors in the positioning and navigation.

### 7. Conclusions

A maximum variation of the electron concentration N and TEC on 10 Nov. 2004 during 11:00 to 12:30 UT is established when a biggest delay of the GPS signals is determined comparing to the rest days of the strong geomagnetic storm. During this period the record of GO Panagyurishte (PAG) shows a second strong decrease in the horizontal geomagnetic *H*-component of about -180 nT. Data for the same period of the ionosphere station Sofia (SQ143) show values of critical frequencies, reaching ~7 MHz. There is a sudden change of the ionospheric parameter $f_0F2$ with amplitude about 1 MHz within the period 11:00 – 12:00 UT (12:00 -13:00 LT). This is probably due to the traveling ionospheric disturbances

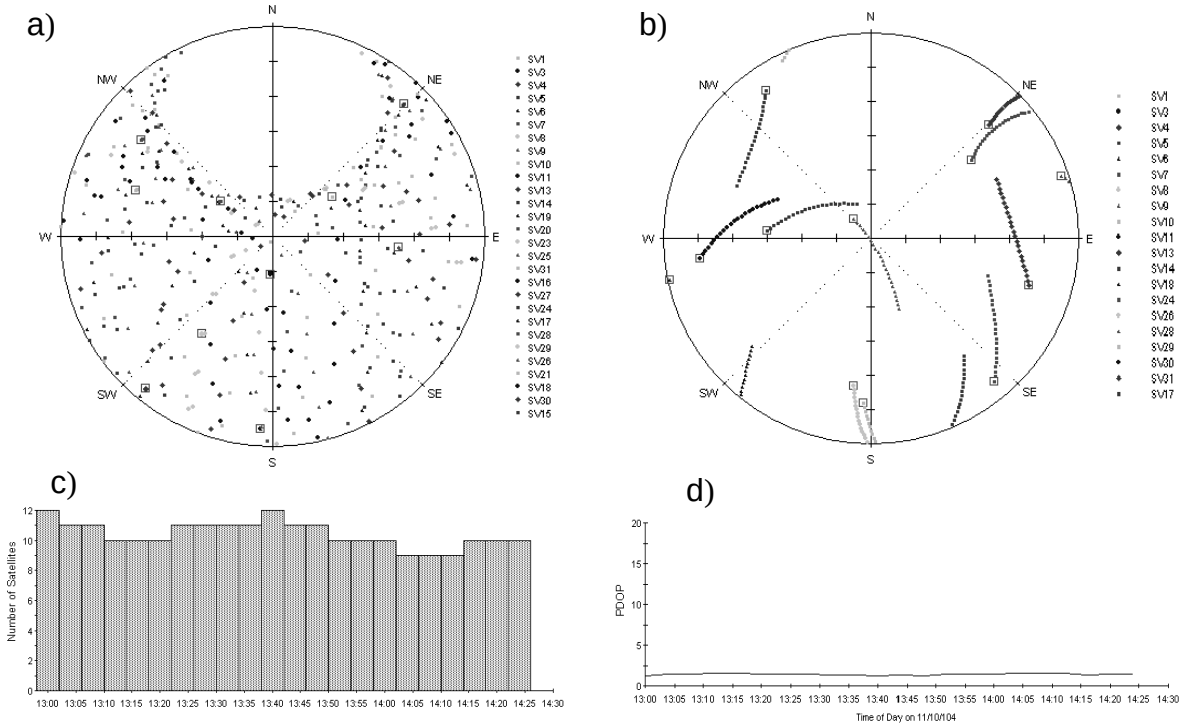



Fig. 6. a) Local sky plots of the satellite constellation visible from IGS/EPN site SOFI on 10 Nov. 2004 (visible satellites are marked with squares); b) local sky plot for the period 11:00-12:30 UT; c) number of visible satellites at one time; d) PDOP

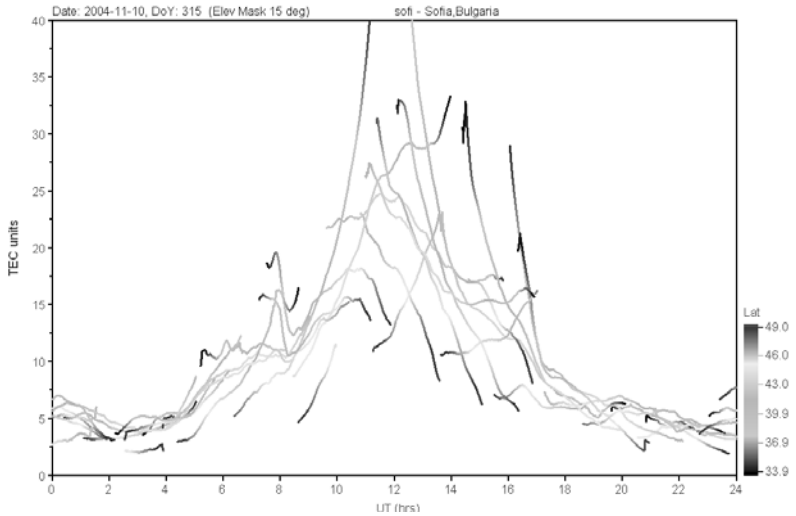



Fig. 7. TEC values determined for observed satellites on 10 Nov. 2004 in IGS/EPN site SOFI

with dynamic jump of the electronic concentration at that time over Sofia. The established maximum TEC-value is 47 TECU based on the GPS observations (~4.9 m error in the measured pseudoranges

using two-frequency GPS receiver). This TEC-value can be explained by the influence of the northern edge of the equatorial ionosphere anomaly on EM signals from the visible satellites depicted in bottom side on Fig. 6b.

In this first study a strong local inhomogeneity of the ionosphere and variations in the signal parameters of GPS system are established during the strong geomagnetic storm spanning the period 7-12 Nov. 2004. The results show that during geomagnetic storms large errors in GNSS navigation can be caused. In some cases the connection between ground-based stations and satellites can be interrupted (Hernández-Pajares et. al., 2011). It is necessary to increase the spatial and temporal resolution of the TEC-mapping and forecasting based on the GNSS data from nearby located permanent stations. Denser network from permanent stations allows improving the accuracy in the ionospheic corrections for GNSS navigation using different receiving equipments.

Based on this study we conclude that the mutual analysis of data from permanent GNSS stations, geomagnetic observatories and ionospheric stations contributes to the investigation of ionospheric conditions in low and high geomagnetic activity. As is known, this activity is directly related to the global changes in the space weather. The impact of the interplanetary changes caused by solar activity reflects on the local changes of the ionospheric state above Sofia as shown in this work. Future investigations are needed to improve and guarantee the high accuracy of the radio-based navigation systems used on the Bulgarian territory, by understanding, mapping and predicting the physical phenomena and technological failings which can affect navigation signals.

***Acknowledgements:*** *The authors express their gratitude to the World Data Center for Geomagnetism maintained by the University of Kyoto, Japan for providing geomagnetic data (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp) and Dr. S. Gopi Krishna for providing software to calculate the TEC from GPS measurements.*

**References:**

1. A f r a i m o v i c h, E. L., E. A. K o s o g o r o v, O.S. L e s y u t a. Effects of the August 11, 1999 total solar eclipse as deduced from total electron content measurements at the GPS network. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 64, 2002, pp. 1933–1941.
2. A r i k a n, F., O. A r i k a n, C. B. E r o l. Regularized estimation of TEC from GPS data for certain midlatitude stations and comparison with the IRI model, Advances in Space Research, 39, 2007, pp. 867–874.
3. B a r a n, L. W., I. E p h l s h o v, I. I. S h a g I m u r a t o v, V. P. I v a n o v, A. F. L a g o v s k y, The response of the ionospheric total electron content to the solar eclipse on August 11, 1999. Advance Space Research 31 (4), 2003, pp. 989–994.
4. B i s i, M. M., B. V. J a c k s o n, P. P. H i c k, A. B u f f i n g t o n, D. O d s t r c i l, and J. M. C l o v e r. Three-dimensional reconstructions of the early Nov. 2004 Coordinated Data Analysis Workshop geomagnetic storms: Analyses of STELab IPS speed and SMEI density data, J. Geophys. Res., 113, A00A11, 2008, doi:10.1029/2008JA013222.
5. H e r n á n d e z - P a j a r e s, M., J. M. J u a n, J. S a n z,·À. A r a g ó n - À n g e l,·Al. G a r c í a - R i g o, D. S a l a z a r,·M. E s c u d e r o. The ionosphere: effects, GPS modeling and the benefits for space geodetic techniques, J Geod., 85:887–907, 2011, DOI 10.1007/s00190-011-0508-5.
6. H o, C. M., A. J. M a n n u c c i, L. S p a r k s, X. Pi, U. J. L i n d q w i s t e r, B. D. W i l s o n , M. J. R e y e s. Global ionospheric TEC Perturbations Monitored by the GPS Global Network during Two Northern Hemisphere Winter Storm, Journal of Geophysical Research, Vol. 103, A11, pp. 26,409-26,420, 1998, doi:10.1029/98JA01237
7. J a k o w s k i, N., S. H e i s e, A. W e h r e n p f e n n i g, S. S c h l u t e r, R. R e i m e r. GPS/GLONASS-based TEC measurements as a contributor for space weather forecast, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 64, 2002, pp. 729–735.
8. K i n t n e r, P. M. A Beginner's Guide to Space Weather and GPS, Lecture notes, 2008, 12 p.
9. K l o b u c h a r, J. Ionospheric Effects on GPS, Global Positioning System: Theory and Applications, B. W. Parkinson and J. J. Spilker (eds.), Vol. 1, Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, Washington, DC, pp. 485–515, 1996.
10. M a n n u c c i, A., B. W I l s o n, D. Y u a n, C. H o, U. L i n d q w i s t e r, T. R u n g e. A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements, Radio Sci, 33(3):565-582, 1998, doi:10.1029/97RS02707
11. M i l e v, G., M. M i n c h e v, K. V a s s i l e v a , Pl. G a b e n s k i, T. B e l i a s k i, L. S t o y a n o v, E. P e n e v a, E. M i h a i l o v. European reference systems and Bulgarian participation in their realizations, In: Proceedings of scientific session "50$^{-ty}$ anniversary of CLG", 1998, Sofia, 15-24.
12. P a r k i n s o n, B. W., J. J. S p i l k e r (eds.). Global Positioning System: Theory and Applications, vols. 1 and 2, American Institute of Aeronautics, Inc., 370 L'Enfant Promenade, SW, Washington, DC, 1996.
13. R a o, N. V., T. M a d h u, K. L a l K i s h o r e. Study of Major Geomagnetic Storms Influence on TEC over Hyderabad Station, International Journal of Electronics Engineering, 3 (1), 2011, pp. 59– 66.
14. S c h a e r, S. Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, PhD thesis, 164 pp, Bern University, Bern, Switzerland, 1999.
15. Y a 'a c o b, N., M. A b d u l l a h, and M. I s m a i l. GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the Equatorial Region, In: Trends in Telecommunications Technologies, Ch. J. Bouras (ed.), 2010, pp. 485-508.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ВИЗУАЛНА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА СВЛАЧИЩА ПО САТЕЛИТНИ ДАННИ СЪС СВРЪХВИСОКА ПРОСТРАНСТВЕНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ

**Ваня Найденова**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: vnaydenova@gmail.com*

***Ключови думи:*** *свлачища, дистанционни изследвания, ГИС, дешифриране*

***Резюме:*** *Основната цел на настоящето изследване е да се картографират свлачищните процеси чрез използване на данни от дистанционните изследвания и приложение на ГИС технологии. Настоящият доклад е насочен към картографиране на свлачищата, свлачищните откоси и езера на територии силно засегнати от антропогенна дейност. Обект на изследване е територията на бившия въглищен рудник „Кътина". Съставена е инвентаризационна карта на свлачищата и са анализирани класовете земно покритие засегнати от тях. За целта е извършена визуална интерпретация на сателитни данни със свръхвисока разделителна способност от QuickBird, както и аерофото снимки и са проведени теренни изследвания.*

# VISUAL INTERPRETATION AND MAPPING OF LANDSLIDES USING SATELLITE DATA WITH VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION

**Vanya Naydenova**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: vnaydenova@gmail.com*

***Key words:*** *landslides, remote sensing, GIS, deciphering*

***Abstract:*** *The main purpose of the present study is landslide mapping to be conducted using remote sensing data and GIS technologies. It is focused on mapping of landslides, landslides scarps and landslide lakes on territories seriously affected by anthropogenic activity. Subject of the study is the former coal mine "Kutina". An inventory landslide map was created and the land cover classes affected by the landslides were analyzed. For this purpose, visual interpretation of QuickBird satellite data and aerial photos was made and field studies were conducted.*

## Въведение

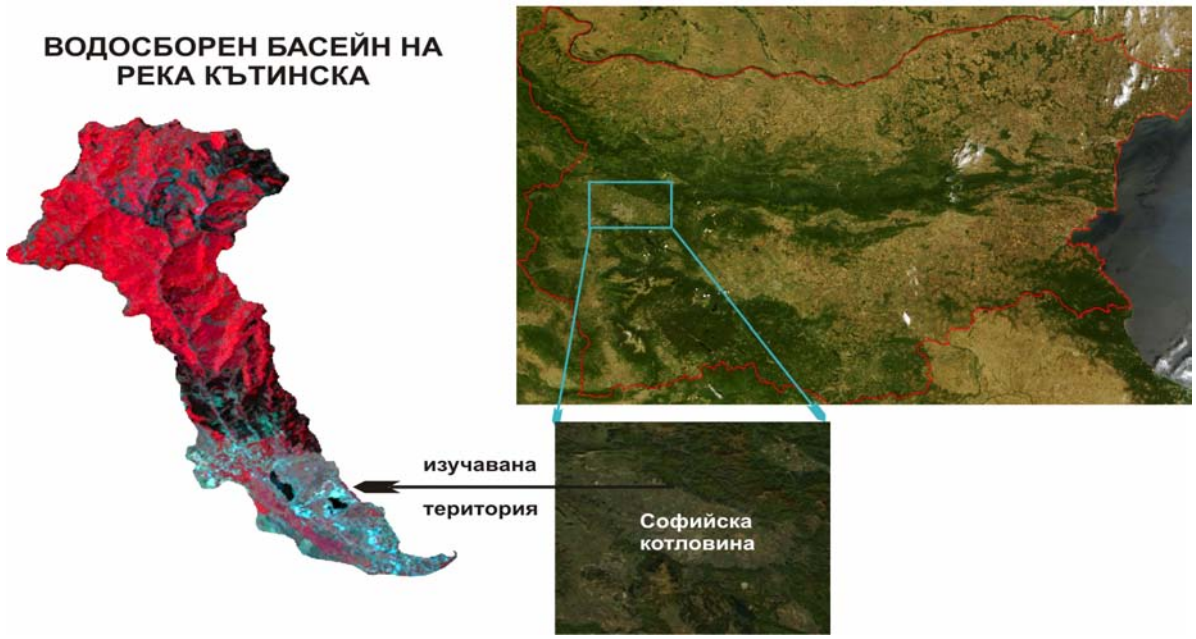
Изготвянето на инвентаризационни карти на свлачищата се явява основен момент при изследване на свлачищните процеси а също така и за оценка на риска от свлачища. Процесът на тяхното съставяне с използване на конвенционални методи е времеемък, много често затруднен от наличието на растителна покривка или трудна проходимост на терена. В повечето случаи инвентаризационните карти на свлачищата очертават техните граници и дават инофмрация свлачищните елементи *(McKeana, J., J. Roering, 2004)*. ГИС заемат важно място в изследванията на свлачищата, предоставяйки възможност за интегриране на разнородни пространствени и времеви данни и тяхното съхранение, обработка и анализ. Две от основните приложения на ГИС технологиите са свързани с изграждане на гео-бази данни за свлачищните територии и изготвяне на инвентаризационни карти, както и с пространствено моделиране и оценка на риска от свлачища *(Dukau, R., A. Cavallin, S. Jager, 1996).* Първите опити за картографиране на свлачищни процеси с помощта на сателитни изображения в оптичния диапазаон са извършени през 90-те години на 20 в., но поради незадоволителната

разделителна способност на сензорите през този период, тези данни са имали ограничено разпространение *(Mantovani, F., R. Soeters and C. van Westen, 1996)*. С напредъка на дистанционните изследвания и възможността за използване на сателитни изображения с висока пространствена разделителна способност, цифрови модели на релефа с висока точност и др. те се превръщат в ценен източник на информация при изследване и мониторинг на свлачища.

***Основната цел*** на настоящето изследване е да се картографират свлачищните процеси чрез изпозлване на данни от дистанционните изследвания и приложение на ГИС технологии. Настоящият доклад е насочен към картографиране на свлачищата, свлачищните откоси и езера на територии силно засегнати от антропогенна дейност.

***Обект на изследване***

Обект на настоящето изследване е територията на бившия въглищен рудник Кътина, разположен на територията на Район Нови искър, Столична община. Въглищният рудник Кътина, попада във водосборния басейн на р. Кътинска (Фиг. 1) и се експлоатира в периода 1945 - 1973 г., вследствие на което естествения ход на протичане на природните процеси е серизоно нарушен. Територията е засегната от активни склонови процени, като най-силно представени са свлачищата.




Фиг. 1. Разположние на Кътинския водосборен басейн

**Използвани методи и данни**

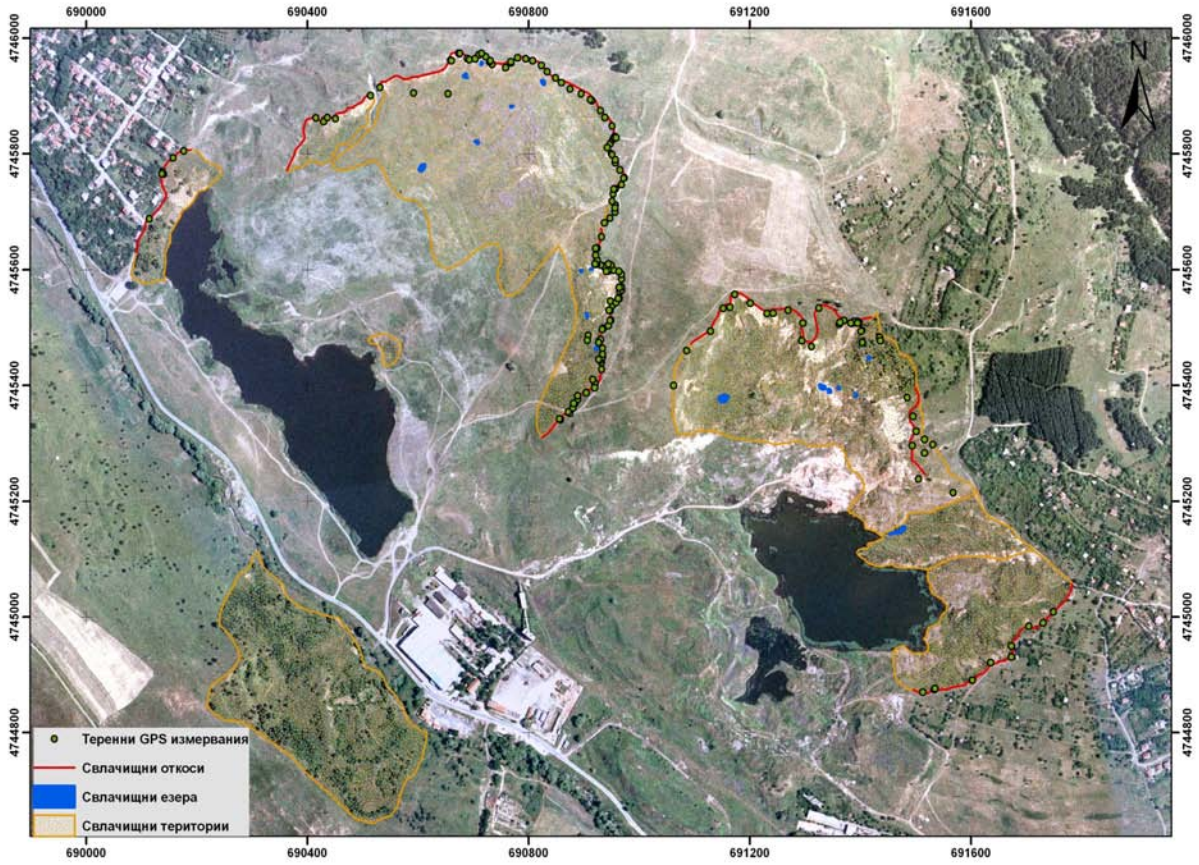
Съществуват много различни методики за анализ и оценка на свлачищните процеси и риска от тях, представени в работите на *Mantovani, F., Soeters, R., and van Westen, C. (1996), Saha, A .K et al (2002), Liu, J. G. et al (2004),* Zezere, J. L. et al (2004), *Metternicht, G. et al (2005)* и др. Един от най-подходящите методи за едромащабни изследвания на свлачищните процеси по отношение на възможността на получаване на данни от дистанционните изследвания и тяхната полезност е анализът на разпространение (Distribution analysis) *(Mantovani, F., R. Soeters and C. van Westen, 1996).* Този анализ включва директно картографиране на свлачищата и други склонови процеси и дава информация само за местата на проявление на свлачищата *(Mantovani, F., R. Soeters and C. van Westen, 1996).*

Извършена е визуална интерпретация и дешифриране на сателитни изображения със свръхвисока пространствена разделителна способност на спътниците Quickbird и Ikonos и аерофотоснимки. За целта са използвани различни комбинации на каналите на сателитните изображения, както в реални, така и в псевдо цветове. Основни косвени признаци използвани при интерпретацията и дешифрирането на свлачищни територии са нарушаване на целостта на растителната покривка, ясно различими свлачищни откоси, наличие на свлачищни езера и др. Резултатите от визуалната интерпретация и дешифрирането на сателитните изображения и аерофото снимки е допълнено с данни от теренни изследвания. За периода 2005 – 2011 г. са

проведени 11 теренни изследвания, насочени към картографиране на свлачищните територии и провеждане на GPS измервания.

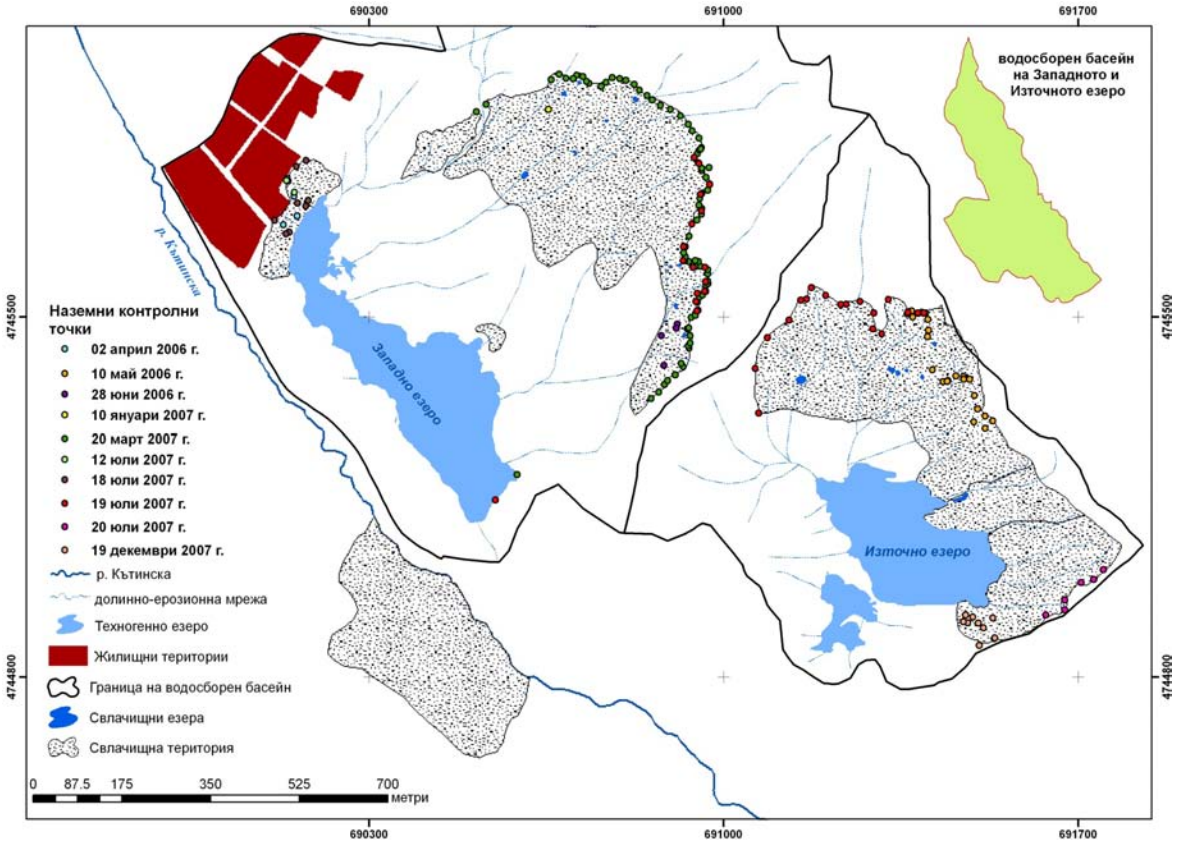
**Резултати**

В резултат от визуалната интерпретация на сателитни изображения с висока и свръх-висока пространствена разделителна способност и аерофотоснимки бе съставена е инвентаризационна карта, показваща пространственото разпределение на хидрографската мрежа и свлачищата в района (Фиг. 2 и Фиг. 3). Свлачищните процеси възникват след прекратяване на добива на въглища. Проведените теренни изследвания потвърждават наличието на свлачища в четири участъка от водосборния басейн на р. Кътинска (Фиг. 4).

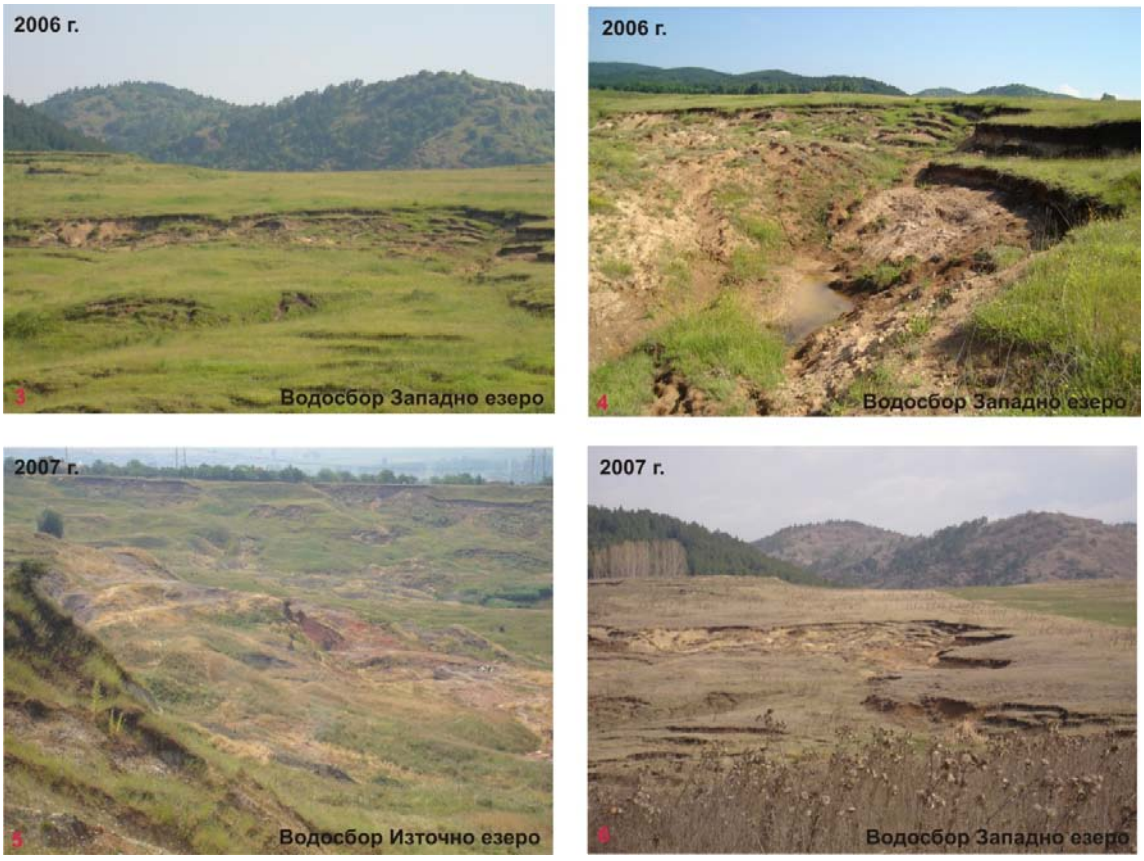



Фиг. 2. Местоположение на свлачищата на територията Кътинския водосборен басейн и наземни контролни точки, в които са проведени GPS измервания

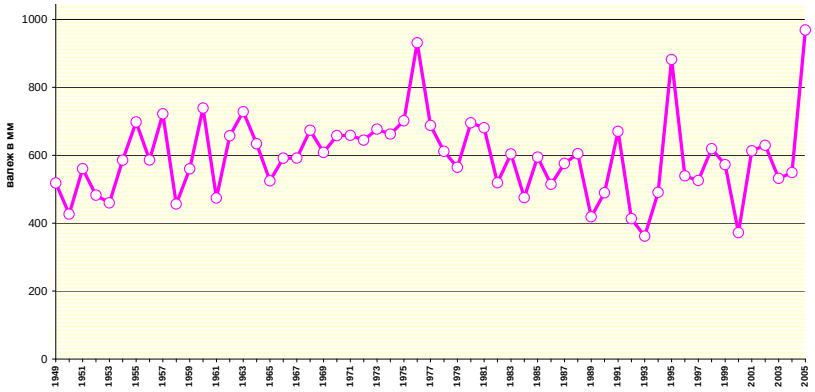
Основната част от свлачищата попадат на територията на Кътинския въглище участък, във водосборните басейни на Западното и Източното техногенно езеро. Общата площ на картографираните свлачища е 448476.5 $m^2$, като от тях 356259 $m^2$ попадат във водосборните басейни на двете езера, което е 14.3% от площта им. Едно от свлачищата е разположено на границата със с. Кътина, което през 2005 г. се активизира и засегна дворните места на някои от къщите. Активизацията на свлачището е резултат от интензивните валежи през 2005 г., когато годишните суми на валежите достигат максимални стойности за периода от 1949 г. до 2005 г. (Фиг. 5). Териториите засегнати от свлачища се разполагат върху неогенски и кватернерни слабоспоени наслаги – пасъчници, чакъли, пясъци, песъчливи глини (Фиг. 6). Повечето от свлачищата в района на Кътина са плитки, което е свързано с литоложките и хидрогеоложки условия на района. Активизацията им е свързана и с режима на валежите и високото ниво на подпочвените води.



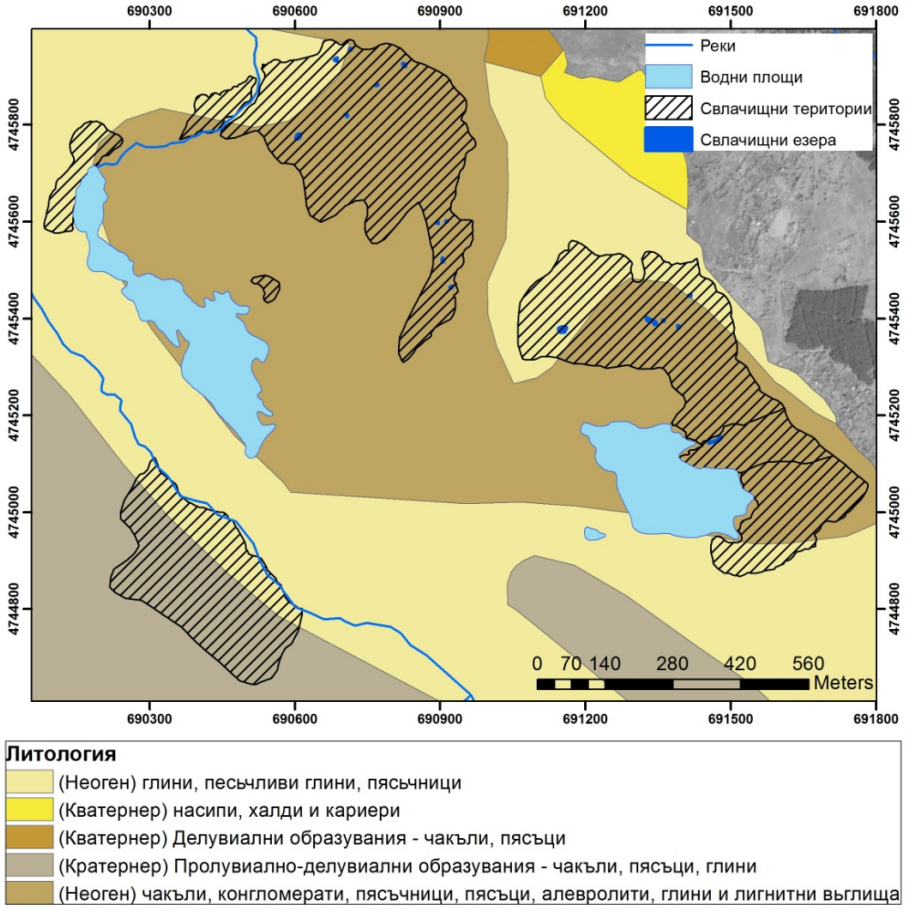

Фиг. 3. Инвентаризационна карта на свлачищата и съвременната хидрографска мрежа на територията на част от Кътинския водосборен басейн и данни от проведените теренни изследвания




Фиг. 4. Активни свлачища на територията на бившия въглищен рудник „Кътина”



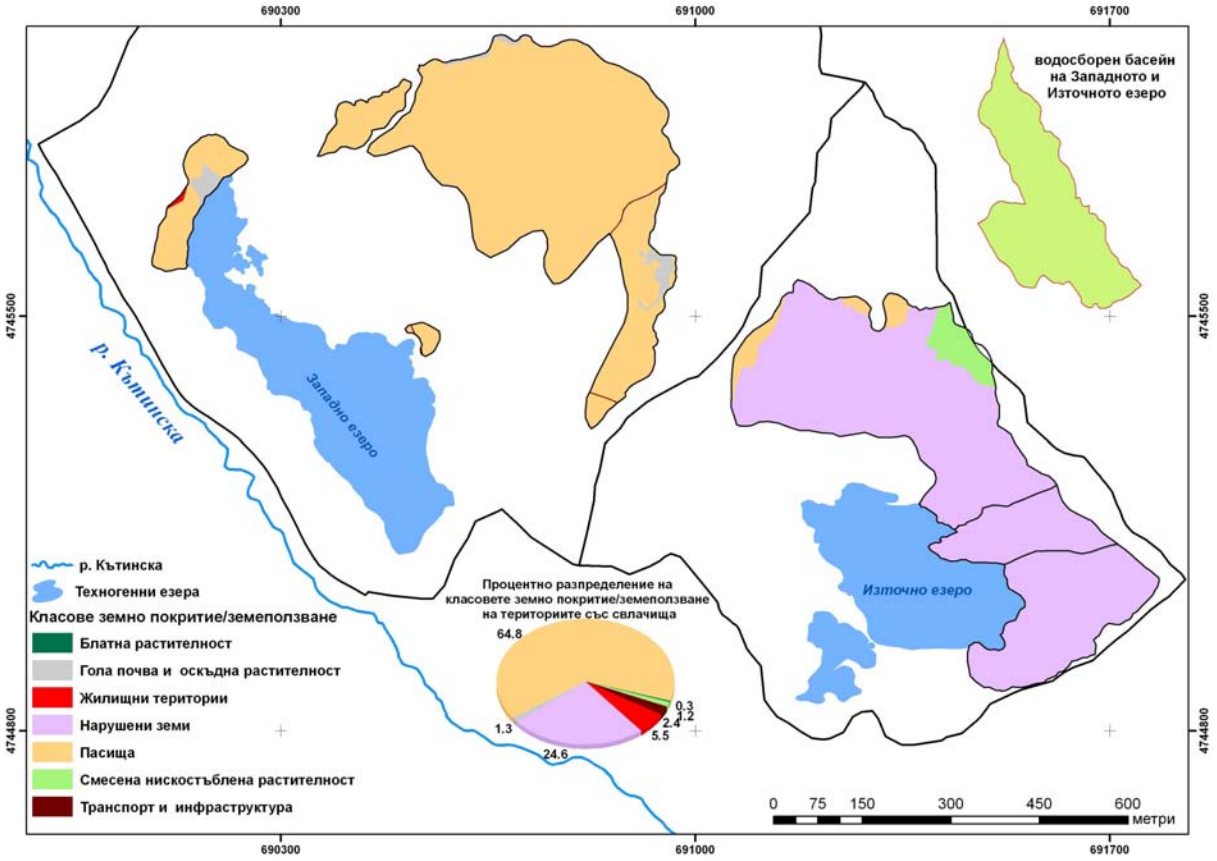

Фиг. 5. Годишни суми на валежите за периода 1949 - 2005 г. за ст. Курило



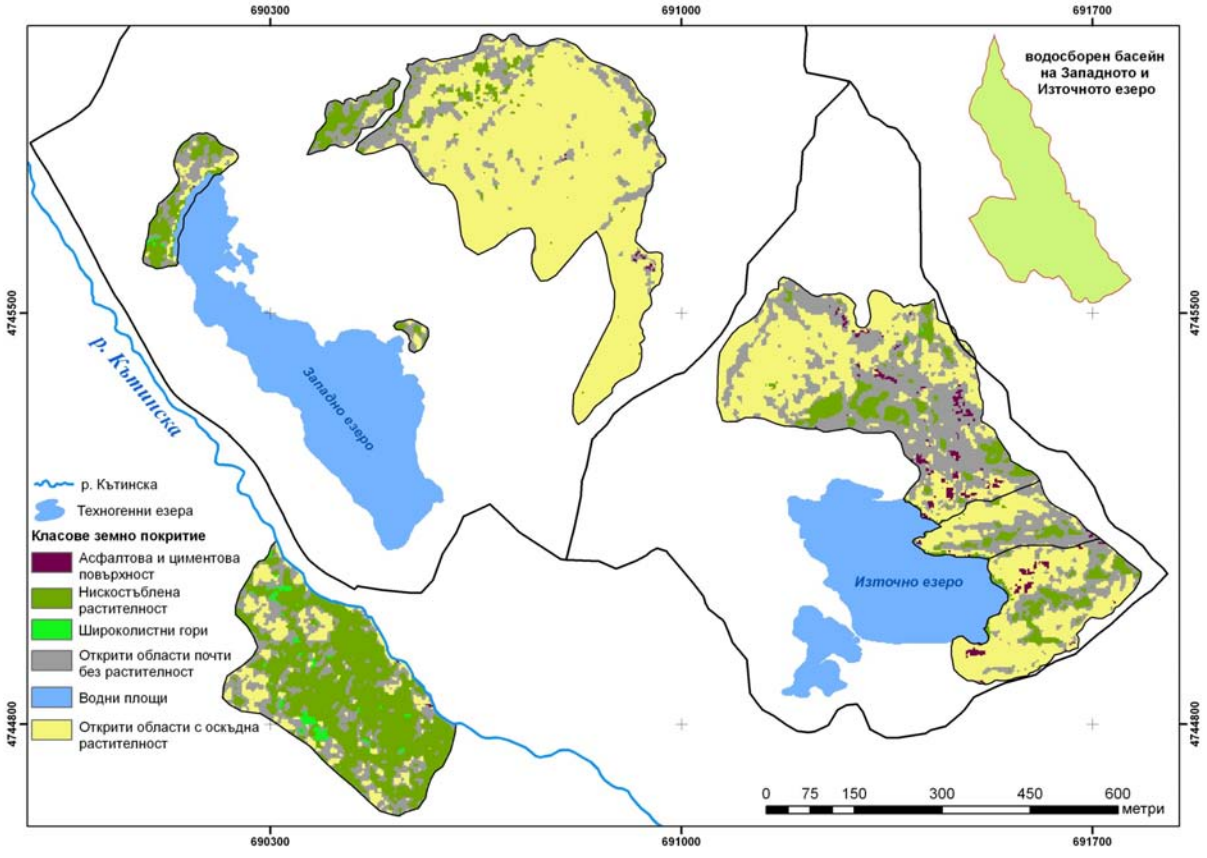

Фиг. 6. Литоложка карта на териториите засегнати от свлачища

Анализирани са класовете земно покритие, заети от свлачища по аерофотоснимки от 2006 г. (Фиг. 7) и по данни на Quickbird от 2008 г. (Фиг. 8). Свлачищните процеси на територията на двата водосбора на езерата са засегнали 7 класа земеползване, като най-голям относителен дял след прекратяване на експлоатацията на лигнитни въглища имат пасищата. Вторият клас, който е със значително процентно представяне, е класът на нарушените земи. Тези територии са силно засегнати от добива и без извършена рекултивация. На този етап те са практически неизползваеми и непригодни за извършване на стопанска дейност. От транспортната инфраструктура са засегнати предимно черни и почвени пътища, а 5.5.% от жилищните територии (предимно дворни места на с. Кътина) попадат в свлачищната зона след 2005 г.

Свлачището, разположено извън територията на ключовите участъци, обхваща предимно земи, заети от нискостъблена растителност, с редки широколистни дървесни видове и разпръснати участъци, с открити пространства без или с оскъдна растителност. Това свлачище е възникнало в резултат на корекцията на речното легло на р. Кътинска при започване на добива на въглища, поради нарушаване на десния долинен склон на реката.




Фиг. 7. Карта на класовете земно покритие/земеползване на територите, заети от свлачища за водосборните басейни на Западното и Източното езеро за 2006 г.




Фиг. 8. Карта на класовете земно покритие на територите, заети от свлачища през 2008 г.

**Заключение**

В резултат на антропогенизацията и откритата експлоатация на въглища, природното равновесие в района е силно нарушено. Развитието на въгледобива допринася за засилването на ерозионните процеси и предизвиква възникване на свлачищни процеси. Предвижда се да се продължат изследванията в района на Кътинския водосборен басейн, като информацията ще се допълва с резултати от интерпретацията и обработката на аероскомисчески данни, както и с данни от теренните изследвания.

**Литература:**


1. M c K e a n a, J., J. R o e r i n g. Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. Geomorphology 57 (2004) 331–351
2. D u k a u, R., A. C a v a l l i n, S. J a g e r. 1996. Databases and GIS for landslide research in Europe. Geomorphology, 15, p. 227-239.
3. M a n t o v a n i, F., R. S o e t e r s, and C. v a n W e s t e n. 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology, 15, p. 213-225.
4. L l u, J. G., P. J. M a s o n, N. C l e r i c i, S. C h e n, A. D a v i s, F. M i a o, H. D e n g, L. L i a n g. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui–Badong. Geomorphology 61 (2004) 171–187
5. S a h a, A., R. G u p t a and M. A r o r a. 2002. GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. // International Journal of Remote Sensing, , vol. 23, no. 2, 357–369
6. Z e z e r e, J., E. R e i s, R. G a r c i a, S. O l i v e i r a, M. R o d r i g u e s, G. V i e i r a, and A. F e r r e i r a. 2004. Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal) // Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, European Geosciences Union, p. 133–146.
7. M e t t e r n i c h t, G., L. H u r n i, R. G o g u. 2005. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. // Remote Sensing of Environment, 98, p. 284–303.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# КАРТОГРАФИРАНЕ НА ТУРИСТИЧЕСКИТЕ РЕСУРСИ НА РАЙОН НОВИ ИСКЪР НА БАЗАТА НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ И ГИС

**Ваня Найденова, Стефан Стаменов**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: vnaydenova@gmail.com*

***Ключови думи:*** *природни и културни туристически ресурси, картографиране, спътникови и наземни данни*

***Резюме:*** *Настоящият доклад е насочен към използване на ГИС технологиите и данни от дистанционните изследвания в областта на туризма. За целта е извършено картографиране на природните и културни туристически ресурси на територията на район Нови Искър. Данните са въведени е гео-базата данни за Нови Искър и са съставени тематични карти на природните и културните ресурси.*

# TOURIST RESOURCE MAPPING OF NOVI ISKUR REGION USING SATELLITE DATA AND GIS

**Vanya Naydenova, Stefan Stamenov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: vnaydenova@gmail.com*

***Keywords:*** *natural and cultural tourist resources, mapping, satellite and ground-based data*

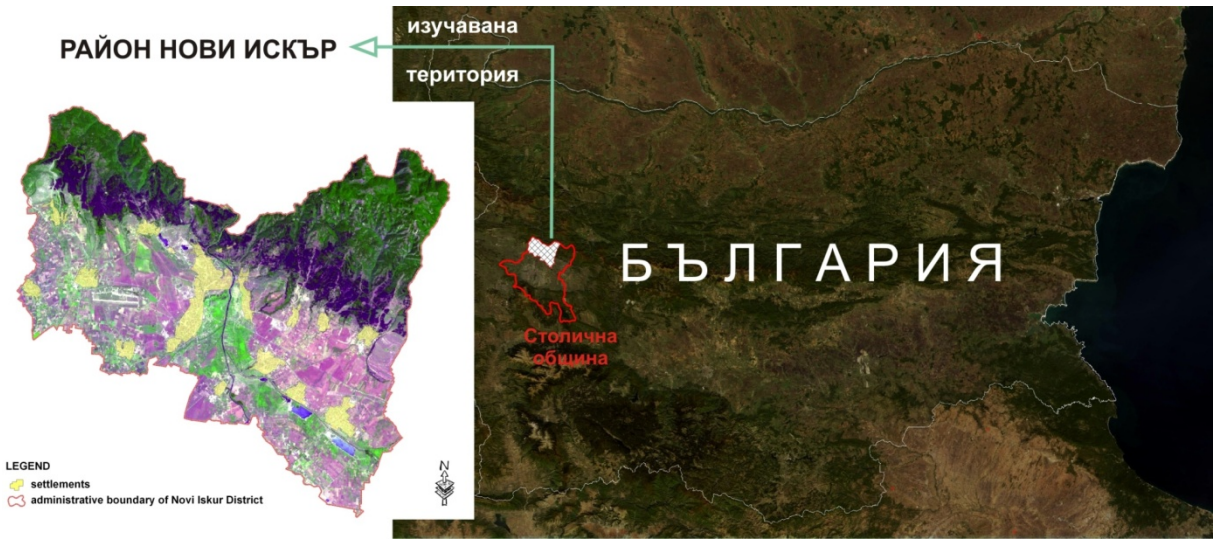
***Abstract:*** *The present paper is focused on the application of GIS technologies and remote sensing data for studies in the field of tourism. Mapping of natural and cultural tourism resources in the territory of Novi Iskar is carried out. The obtained data are entered geo-database Novi Iskar and thematic maps of natural and cultural resources are composed.*

## Въведение

Географските информационни системи намират сериозно приложение при управлението и планирането на туризма. Те се използват за извършване на различни видове пространствен анализ, събиране, обработка и съхранение на данни за туризма, визуализация на пространствени данни и др., предоставяйки графики, диаграми, карти и други услуги за планиране и управление на турзима *(Wei, 2012)*. Едно от основните приложения на ГИС е възможността за картографиране и изготване на точни, подробни и разнобразни цифрови карти, в т.ч. и на туристическите ресурси.

Основната цел на настоящия доклад е да се картографират туристическите ресурси (природни и културни) на район Нови Искър чрез използване на геоинформационни технологии – данни от дистанционните изследвания, ГИС и картография.

Обект на изследване е район Нови Искър, който попада в границите на Голяма Столична община и се намира на север от гр. София. Район Нови Искър е слабо развит в туристическо отношение район.




Фиг. 1. Местоположение на район Нови Искър

**Използвани методи и данни**

За целите на картографирането на туристическите ресурси за използвани дистанционни и наземни данни, данни от съществуващи изследвания и описания на наличните туристически обекти, и данни от проведени теренни изследвания. Настоящия доклад се базира на използване на методите на дистанционните изследвания и приложение на ГИС технологии, като са извършени следните дейности:

- Визуална интерпретация и дешифриране на природни обекти и ресурси, земното покритие и инфраструктура по сателитни изображения с висока пространствена разделителна способност - водни обекти, речна мрежа, растителна покривка, населени места и др.
- Проведени са теренни GPS измервания на културни туристически обекти и фото заснемане, които са въведени в гео-базата данни за района.
- Извършени са ГИС анализ и обработка на данните и са подбрани подходящи средства и техники на визуализация на туристическата информация за район Нови Искър.

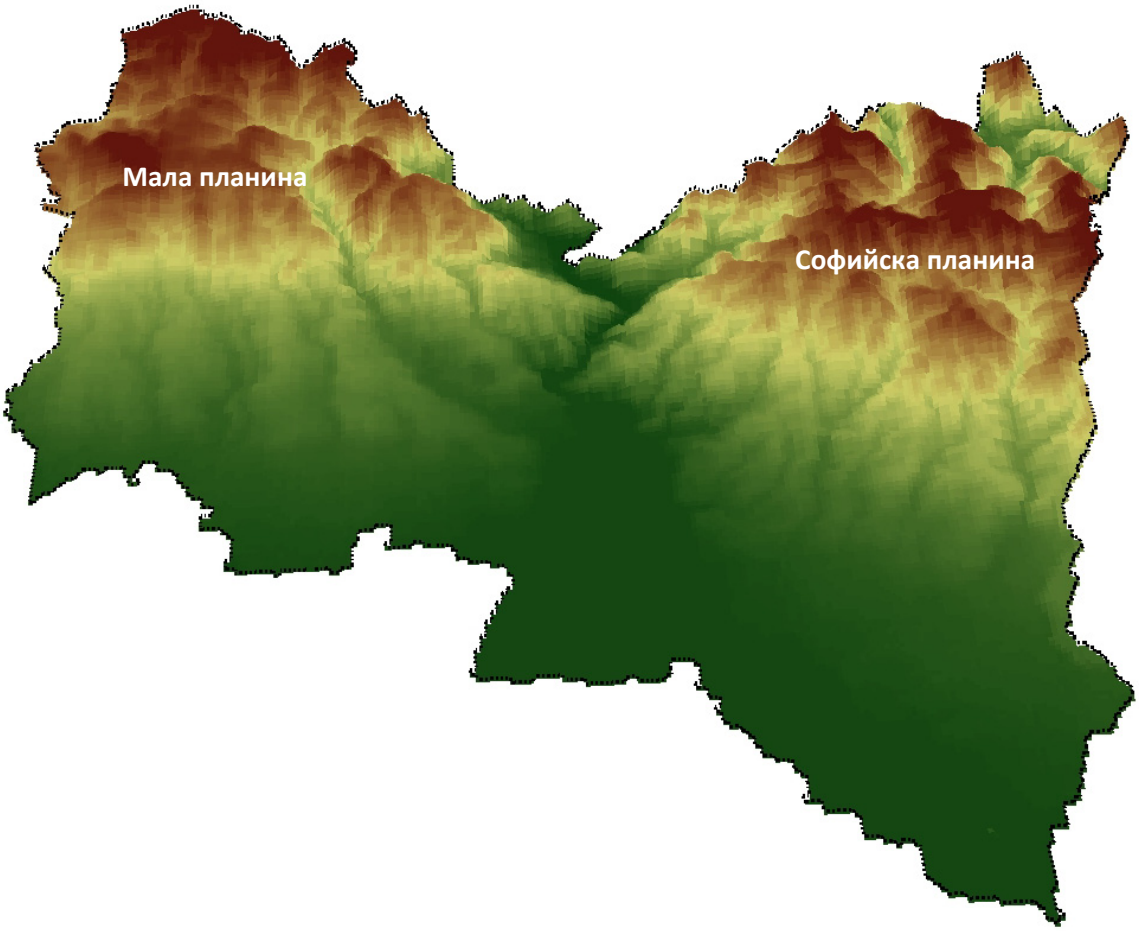
*Туристически ресурси*

Картографираните налични природни и културни ресурси на район Нови Искър са описани в табл. 1, като са съставени няколко тематични карти.

Таблица. 1. Природни и културни туристически ресурси

| **Природни ресурси** | **Площ (км$^2$)** | **Културни ресурси** | **Брой** |
|---|---|---|---|
| Водни ресурси | 3 | Паметници | 5 |
| Горски ресурси | 81 | Войнишки паметници | 7 |
| Естествени ливади | 10.8 | Параклиси | 2 |
| Природни забележителности | 0.16 (16 ха) | Църкви | 14 |
| | | Мемориален комплекс | 1 |
| | | Манастири | 3 |
| | | Тракийски могили | 8 |
| | | Етнографски музей | 1 |
| | | Оброчни кръстове | 9 |
| | | Крепости | 1 |
| | | Архитектурни обекти | 3 |
| | | **Общо:** | **54** |

Природните туристически ресурси на територията са представени от разнообразен релеф, като 1/3 от територията попада в планинската зона на Западна Стара планина. На северната част на административния район Нови Искър попадат южните сконове на Мала и Софийска планина, който са силно разчленени от притоците на р. Искър. (Фиг. 2). Направен е 3D модел на релефа, на който ясно си личи разчленеността на планинската част от територията. Съставена е карта на природните ресурси на район Нови Искър, като са използвани наземни и дистанционни данни (Фиг.3). Речната мрежа е сравнително гъста, територията се пресича от р. Искър и нейните притоци.

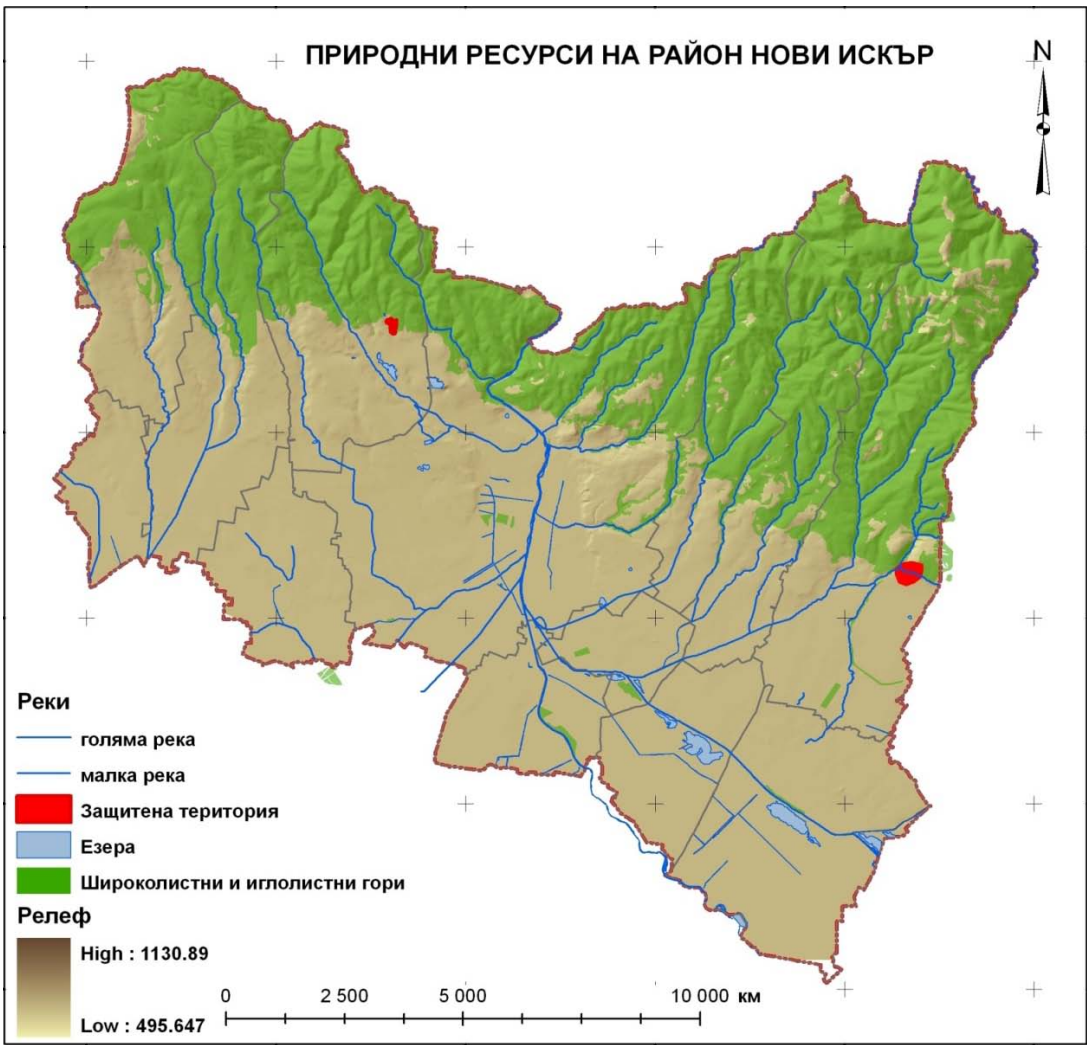



Фиг. 2. 3D Цифров модел на релефа на район Нови Искър по данни от SRTM

На територията на район Нови Искър са разположени и две защитени територии - природна забележителност „Кътински пирамиди" и защитената местност „Турченица" (Табл. 2).

Таблица 2. Туристически обекти със статут на защитени територии

| ***Природна забележителност Кътински пирамиди*** | ***Турченица – защитена местност*** |
|---|---|
| Площ: 12.50 хектара<br>Обявена със *Заповед No.927*/10.04.1962 г.<br>Цели на обявяване: Опазване на земни пирамиди<br> | Площ: 3.50 хектара<br>Обявена със Заповед No.РД1104/03.09.2003 г.<br>Цели на обявяване :<br>1. Опазване на иглолистна култура от бял и черен бор, зелена дугласка и сребрист смърч.<br>2. Културата представлява сбор от географски произходи от бял и черен бор, с които са залесявани южните склонове на Стара планина. |




Фиг. 3. Карта на природните ресурси на район Нови Искър

Чрез геолого-проучвателни сондажи са открити минерални извори в кв. Кумарица, кв. Гниляне, с. Кътина, с. Чепинци и с. Световрачене. Водата им е подходяща за лечение на редица болести, според научните изследвания - направени от Института по курортология, физиотерапия и рехабилитация *(Пенчев, П. В. Величков, 2011)*. В района на Кътинските пирамиди се срещат 2 два балкански ендемита Scabiosa triniaefolia и Chamaecytisus jankae, и орхидеята Himanthoglossum caprinum, която е обект на защита от Международната конвенция за защита на търговията със застрашени видове – CITES. *(Dimitrov, D., V. Vutov. 2006)*, а в района на бившия рудник „Кътина" са открити защитени видове птици и един глобално застрашен вид смок-мишкар (Elaphe longissima) *(Report to YEC OFFICE, July 1993)*

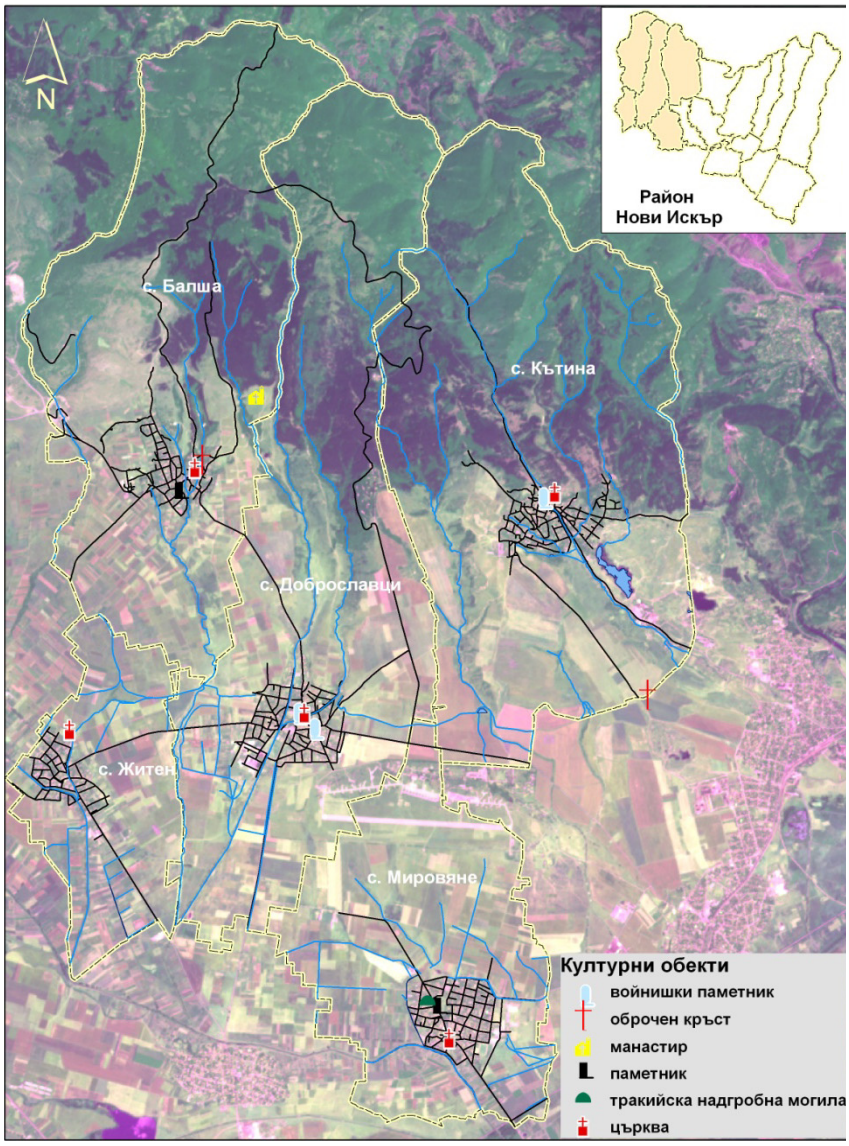
Културни туристически ресурси

На територията на гр. Нови Искър са разположени 54 културно-исторически обекта – паметници, в т.ч. и войнишки, църкви, манастири и 1 параклис, 1 етнографски музей в с.Чепинци, архитектурни обекти, тракийски надгробни могили и множество оброчни кръстове. (Таблица 1), като голяма част от тях са обявени за паметници на културата с национално и местно значение в регистрите на НИПК *(Списък на паметниците на културата)* (Таблица 3). Над 2/3 от всички културни обекти на територията на район Нови Искър са обявени за паметници на културата, като най-многобройни са художествените паметници на културата. Интерес представляват трите манастира, които са част от Мала Света Гора – Чепински, Балшенски и Курилски манастир. Курилският манастир „Св. Иван Рилски" и Чепинският манастир „Три Светители" са обявени за художествени паметници на културата. В района на Нови Искър се намират и останки от народната старина „Белиград", намираща се на входа на Искърския пролом.

Към културните туристически ресурси се отнасят и ежегодно провежданите „Празниците на Искърското дефиле”, като домакин на събитието се избира всяка година на ротационен принцип между общините Своге, Нови Искър и Мездра.

Таблица 3. Туристически обекти със статут на паметници на културата

| Статут на паметниците на културата за район Нови Искър | Брой обекти |
|---|---|
| **Народна старина** | 3 |
| **Художествен паметник на културата с “национално значение”** | 3 |
| **Художествен паметник на културата с “местно значение”** | 1 |
| **Художествен паметник на културата** | 13 |
| **Архитектурно-художествен паметник на културата с “национално значение”** | 1 |
| **Архитектурно-строителен паметник на културата** | 2 |
| **Археологически паметник на културата с “национално значение”** | 7 |
| **Археологически паметник на културата** | 1 |
| **Исторически паметник на културата** | 4 |
| **Исторически паметник на културата с категория “за сведение”** | 2 |



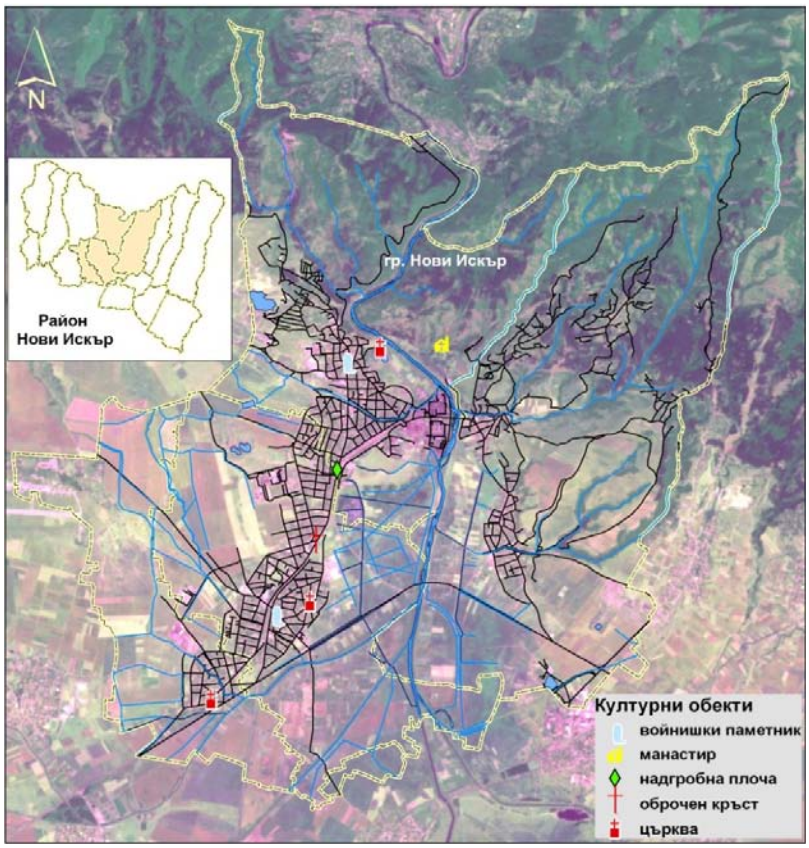
**Войнишки паметници в Доброславци**

**Старата черква в с. Балша**

**Оброчен кръст край с. Кътина**

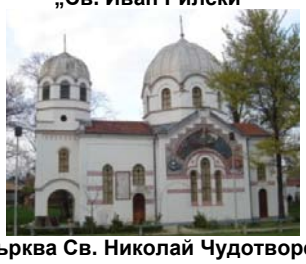
**Църквата в с. Кътина**

Фиг. 4. Карта на културните обекти на територията на землищата на селата Балша, Догрославци, Кътина, Житен и Мировяне, район Нови Искър



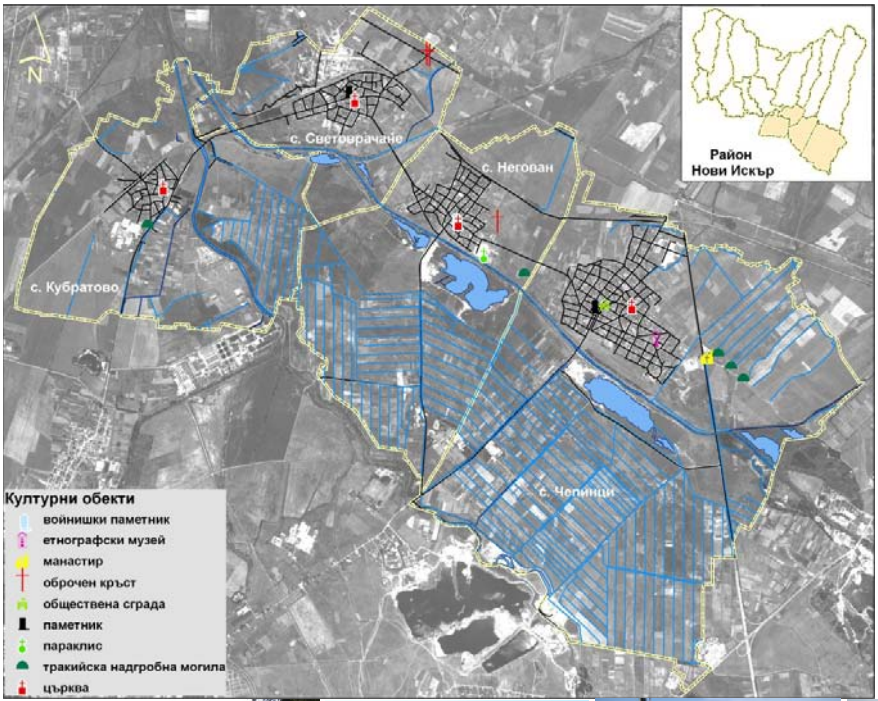
Църква „Успение Богородично”

Курилски манастир
„Св. Йван Рилски”



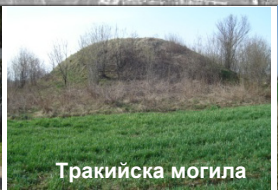
Църква Св. Николай Чудотворец

Фиг. 5. Карта на културните обекти на територията на землището на гр. Нови Искър

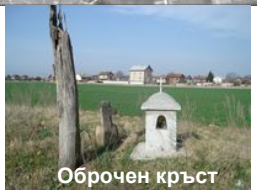


Етнографски музей –
Кулата на Петко Огойски

Войнишки паметник и
църквата в с. Негован



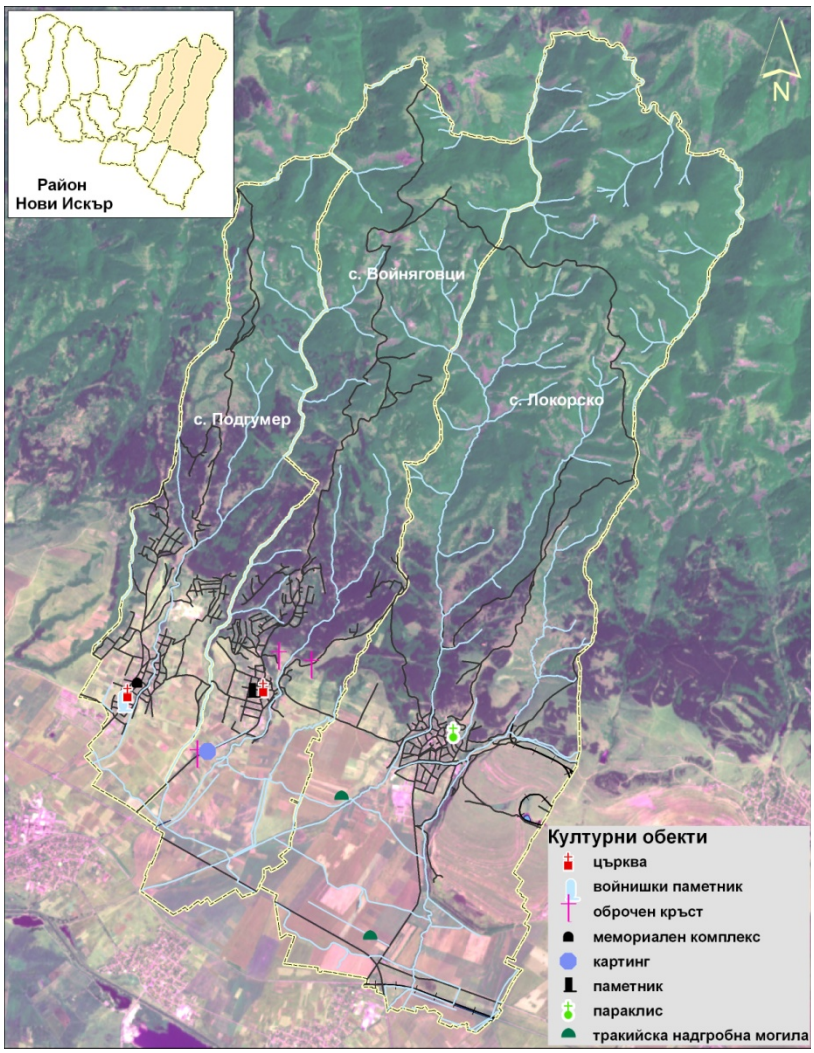
Тракийска могила



Оброчен кръст

Параклиси – с. Негован

Фиг. 6. Карта на културните обекти на територията на землищата на селата Кубратово, Световрачане, Негован и Чепинци, район Нови Искър



**Войнишки паметник и църквата в с. Подгумер**

**Параклис в с. Локорско**

**Църквата „Св. Петка” с. Войняговци**

Фиг. 7. Карта на културните обекти на територията на землищата на селата Подгумер, Войняговци и Локорско, район Нови Искър

### Заключение

В резултат от проведеното изследване е създадена подробна база данни за природното и културно-историческо наследство на района, земното покритие и природни ресурси и инфраструктура. Дешифрирани са водните обекти, речната мрежа, пътна мрежа (в т. ч. черни и почвени пътища). Измерени са наземни контролни точки на 54 културни обекта, като е направено и фотозаснемане. Събраната информация е интегрирана и въведена в гео-базата данни за район Нови Искър. Въведени са данни за горите и цифров модел на релефа (по данни от SRTM) и границите на защитените територии. Съставените карти на природните и културни туристически ресурси за район Нови Искър ще бъдат използвани при бъдещи изследвания за оценка на перспективите за развитие на туризма в района и съставяне на примерни туристически маршрути.

### Литература:

1. W e i, W e i. "Research on the Application of Geographic Information System in Tourism Management." Procedia Environmental Sciences 2011 International Conference of Environmental Science and Engineering, vol. 12, Part B.0 (2012): 1104-1109. ISSN 1878-0296
2. Заповед № 927/ 12.04.1962 г., гр. София на Главно управление на горите при Министерски съвет за обявяване на Природна забележителност “Кътински пирамиди”
3. П е н ч е в, П. В. В е л и ч к о в, 2011. Находищата на минерални води в района на София
4. D i m i t r o v, D., V. V u t o v. 2006. Flora and vegetation of the protected areas Stobski Piramidi and Kutinski piramidi. // In: Proceedings of the 4th Balkan Botanical Congress (20-26 June 2006, Sofia), Sofia, 2006, 83-91
5. Report to YEC OFFICE: Biological survey of four candidate dumping sites in the region of Sofia Great Municipality and their ecological assessment, July 1993, Sofia
6. Списък на паметниците на културата с категория „национално значение” на територията на град София.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# СЪВРЕМЕННО ЗЕМНО ПОКРИТИЕ И ЗЕМЕПОЛЗВАНЕ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ВЪНШНИЯ ГРАД НА СРЕДНОВЕКОВНАТА БЪЛГАРСКА СТОЛИЦА ПЛИСКА ПО ДАННИ ОТ САТЕЛИТНО ИЗОБРАЖЕНИЕ С ВИСОКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ

**Стефан Стаменов**

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

***Ключови думи:*** *земно покритие, земеползване, класификация, класификационна система, сателитно изображение, визуална интерпретация, теренна верификация*

***Резюме:*** *Настоящото изследване цели да представи работата по картиране на съвременното земно покритие и земеползване на територията на Външния град на средновековна Плиска. Предложена е класификационна схема, съобразена с потенциални археологически обекти. Територията е картирана по метода на компютърно подпомогнатото визуално дешифриране и интерпретация на сателитни изображения. Направена е верификация на терен на постигнатите резултати.*

# MODERN LAND COVER AND LAND USE OF THE OUTER TOWN OF THE MEDIEVAL BULGARIAN CAPITAL PLISKA USING SATELLITE IMAGES WITH HIGH SPATIAL RESOLUTION.

**Stefan Stamenov**

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

***Key words:*** *Land cover, land use, classification, classification system satellite image, visual interpretation, terrain verification.*

***Abstract:*** *The purpose of this research is to present the results from mapping the modern land cover and land use of the territory of the Outer Town of medieval archaeological site Pliska. A new classification system has been created, based on the potential archaeological sites in the area. The area has been mapped using the method of computer aided visual interpretation of satellite images. The results has been verified by field check in specially chosen control points.*

## Въведение

Изследването и картирането на земното покритие и земеползването чрез дистанционни методи и спътникови технологии активно се използва за целите на управлението на териториите на множество държави. За последните 60 години са разработени десетки класификационни системи от национално и международно ниво. / *Anderson, J. et al. 1976; CORINE land cover.1994; Di Gregorio Antonio, Louisa J.M. Jansen 1998; Richardson Bart, Ethan Perry, 2003; CLC2006 technical guidelines, 2007; http://www.fao.org/nr/land/use/classification-systems/en/ /.* Според предложената дефиниция в наръчникът на Организацията за храните и земеделието към Обединените нации (FAO) земно покритие е „Видимото (био)физично покритие на земната повърхност", а земеползване включва „условията, дейностите и намесата, които хората предприемат към определено земно покритие за да го изграждат, променят или поддържат". / *Di Gregorio Antonio, Louisa J.M. Jansen, 1998./.* По сходен начин са дефинирани двата термина в наръчникът на проекта Корине земно покритие / *CORINE land cover.1994. pp. 16. /.*

## Цел и обект на изследването

Целта на настоящото изследване е да представи получените резултати от картирането на земното покритие и земеползване на територията на Външният град на средновековният български град Плиска. Обектът на изследване се намира в Североизточна България на около

17 км източно от гр. Шумен /фиг. 1/. Той е с площ от 23.5 кв. км., като върху неговата територия е заета предимно от земеделски земи. В южната част е разположен съвременният гр. Плиска с площ от 1.5 кв. км.

Фиг. 1. Местоположение на обекта на изследване

**Класификационна схема на земното покритие на Външния град**

Табл. 1. Класификация на земното покритие и земеползването на територията на Външният град на средновековна Плиска

| Код | Ниво 1 | Ниво 2 |
|---|---|---|
| 1 | Застроени земи | Жилищни територии |
| | | Транспорт и инфраструктура |
| | | Индустриални територии |
| 2 | Земеделски земи | Обработваеми земи |
| 3 | Растителна покривка | Тревиста растителност |
| | | Смесена тревиста и храстова растителност |
| | | Смесена тревиста и дървесна растителност |
| | | Смесена дървесна и храстова растителност |
| 4 | Водни площи | Реки |
| | | Канали |

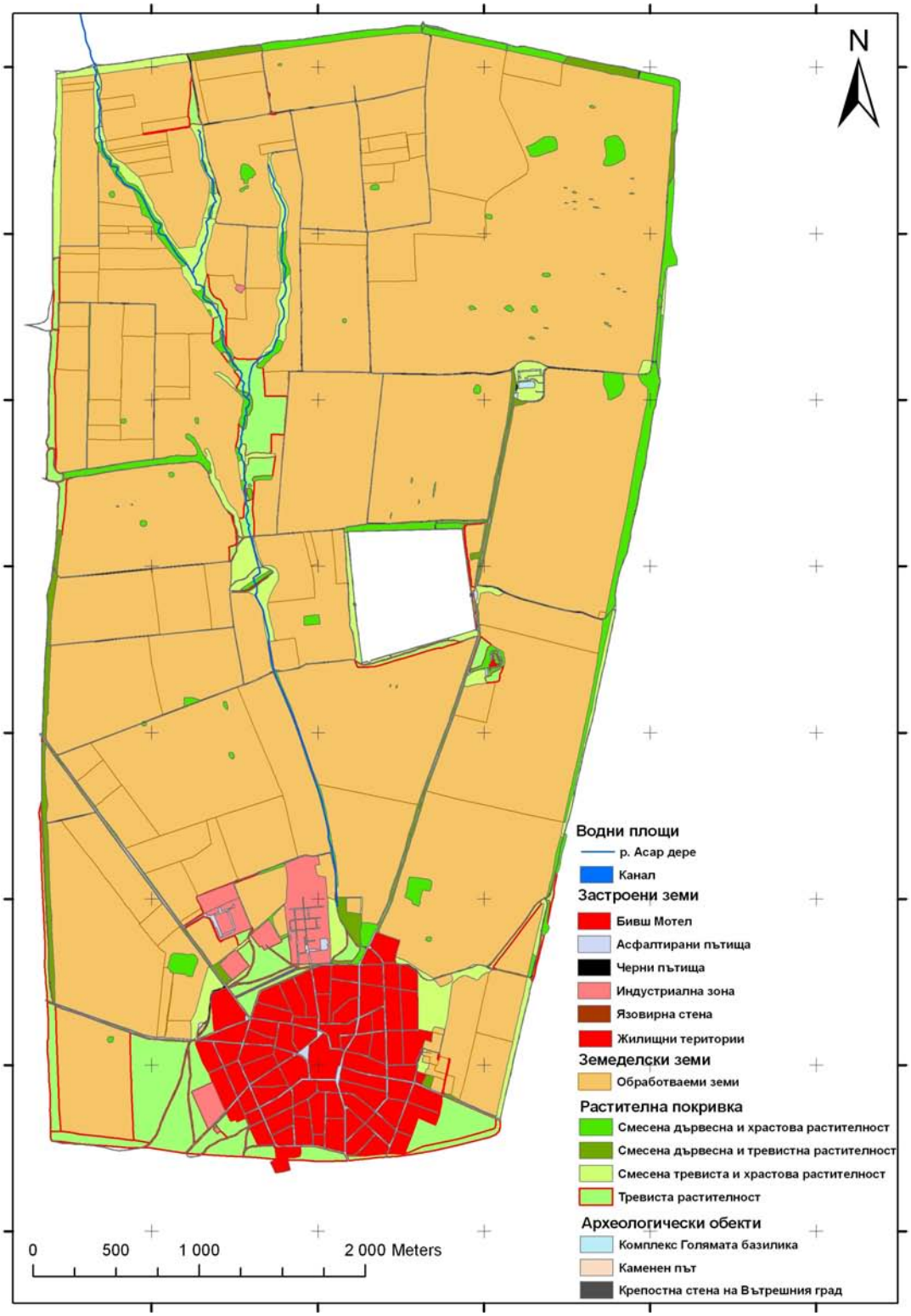
Класификационната схема на земното покритие на територията на Външният град на средновековна Плиска е разработена въз основа на класификацията на Американската геоложка служба (Anderson J. et al. 1976; Anderson J. et al. 2001), класификационната схема на Европейската агенция по околна среда - CORINE Land Cover (CORINE land cover 1994; CLC 2006). Използвани са също така класификационните схеми на Организацията по прехрана и земеделие към Обединените нации. (Di Gregorio A., Jansen M. 1998) и класификацията на Департамента за природни ресурси в Минесота (Richardson B., E. Perry 2003). Споменатите класификации са разработени за класифициране на земното покритие на големи територии, където неговото разнообразието е далеч по-голямо от това на територията на Външния град на Плиска. Предложената в това изследване класификационна схема отговаря за даденостите на земното покритие в района и в същото време се явява опит да се изработи класификационна схема на земно покритие отговаряща на изискванията за теренна археологическа работа. Предложената класификационна схема цели земното покритие да се класифицира въз основа на отношението му към археологическите обекти и потенциалното наличие на такива в района.

Картирането на земното покритие на територията на Външният град е извършено с помощта на компютърно подпомогнатата визуална интерпретация и дешифрирани, като са използвани панхроматично сателитно изображение от сензора Worlview-1, заснето през есента

на 2009г. Също така е използвано мултиспектрално сателитно изображение от сензора IKONOS заснето през пролетта на 2010г.

**Резултати**

Въз основа на предложената класификационна схема в таблица 1 е съставена карта на земното покритие и земеползване на територията на Външния град на археологически обект Плиска (фиг. 2). Получените от визуалното дешифриране на сателитните изображения резултата са верифицирани по метода на теренните обходи и като резултат от това е изготвена карта на контролните точки на верификация (фиг 3).

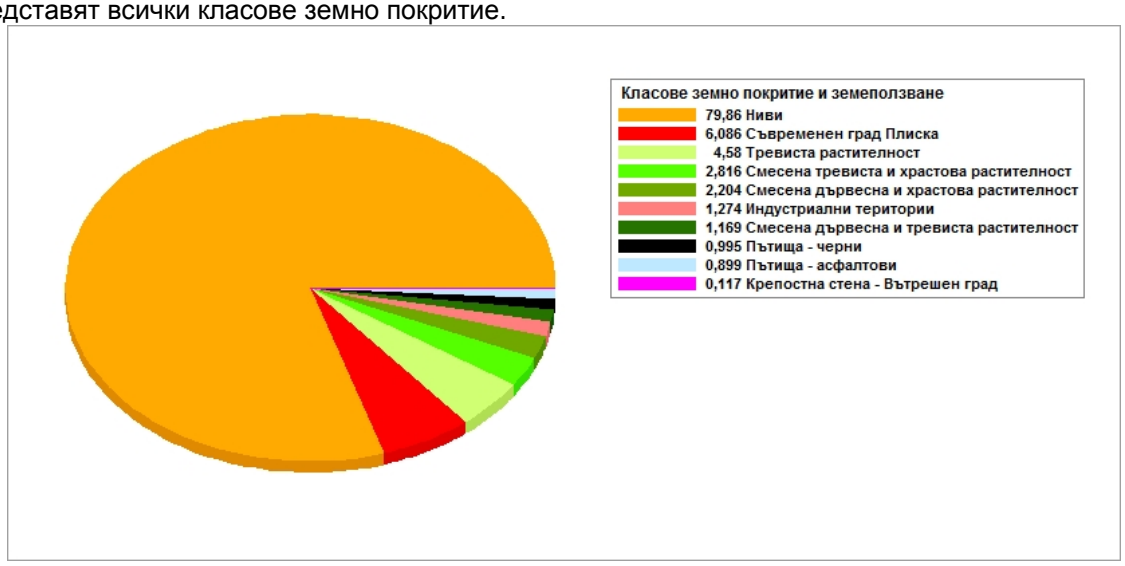



Фиг. 2. Карта на земното покритие във Външния град на средновековния град Плиска

Фиг. 3. Карта на контролните точки където е направена теренна верификация на дешифрираното земно покритие

Изработената и представена тук карта на земното покритие и земеползване на територията на Външния град дава информация за разпределението на различните класове по площ и разположение. Преобладаващ е клас ниво 1 земеделските земи, представен от клас ниво 2 обработваеми земи – ниви, засявани със зимни и пролетни земеделски култури. В южната част на Външния град са разположени районите от клас ниво 1 застроени земи, включващи класовете ниво 2 жилищни територии, индустриални територии и транспорт и инфраструктура. Клас ниво 2 транспорт и инфраструктура е разпространен върху цялата територия на Външния град. Клас ниво 1 растителна покривка е представен от четири класа

ниво 2: тревиста растителност, смесена дървесна и тревиста растителност, смесена дървесна и храстова растителност и смесена храстова и тревиста растителност. Клас ниво 1 водни площи заемат незначителна територия, влияят върху териториалното разпространение на клас ниво 1 растителна покривка, тъй като около протичащата през Външният град река Асардере земите не се обработват.
Теренната верификация на класовете земно покритие е извършена на места подбрани по сателитното изображение по време на неговата компютърно подпомогната визуална интерпретация и дешифриране. Контролните точки за верификация (фиг. 3) са подбрани за да представят всички класове земно покритие.




Фиг. 4. Диаграма на процентното съотношение на отделните класове от ниво 2

Направена е диаграма на която е представено процентното съотношение на някои от класовете земно покритие, които заемат по-значителни площи от територията на Външния град на археологически обект Плиска.(фиг.4). От нея става ясно, че преобладаващият клас ниво 2 обработваеми земи, заема почти 80% от територията, а останалите 20% се поделят между останалите класове. От тях са клас ниво 1 застроени територии, заемащ около 9% и клас ниво 1 растителна покривка заемащ около 11% от територията на изследвания район.

**Заключение**

Направеното изследване представя получените резултати от картирането на съвременното земно покритие и земеползване на територията на Външния град на средновековна Плиска. Картирането е извършено по разработена за целта класификационна схема по метода на компютърно подпомогнатото визуално дешифриране и интерпретация. Постигнатите резултати са верифицирани на терен в избрани за целта контролни точки. Целта на разработената класификационна схема е да се обособят класове, чиято специфика е съобразена с археологическият потенциал на района и която би определила някои условия за тяхното бъдещо проучване и опазване. Представена е също така кръгова диаграма на процентното съотношение на по-значителните класове земно покритие и земеползване. Извършената картировка може да бъде детайлизирана чрез бъдещи проучвания с помощта на дистанционни и теренни методи.

**Литература:**

1. Anderson, James R., Ernest E. Hardy, John T. Roach, Richard E. Witmer. 2001. A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data. Geological Survey Professional Paper 964. A revision of the land use classification system as presented in U.S. Geological Survey Circular 671.
2. Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, W. E. 1976. A land useand land cover classification system for use with remote sensing data.USGS professional paper 964 (pp. 138– 145). Reston, Virginia' U.S.Geological Survey.
3. CLC2006 technical guidelines. EEA Technical report No 17/2007, EEA, Copenhagen 2007.
4. CORINE land cover.1994. http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover
5. Di Gregorio Antonio, Louisa J.M. Jansen, 1998. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998
6. Richardson Bart, Ethan Perry, 2003. Minnesota Land Cover Classification System User Manual. Minnesota Department of Natural Resources Central Region.2003.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ВЛИЯНИЕ НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ ВЪРХУ ОБЩОТО СЪДЪРЖАНИЕ НА ОЗОНА

**Богдана Мендева, Димитър Кръстев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: bmendeva@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Слънчева активност, общо съдържание на озона (ОСО), годишен ход на ОСО.*

***Резюме:*** *Изследван е отговорът на атмосферния озон на промените в слънчевата активност. За целта са използвани данни за общото съдържание на озона (ОСО) от спътниковите експерименти TOMS-EP и SCIAMACHY над София, България по време на 23-я слънчев цикъл (1997 - 2008 г.).*

*Представен е годишният ход на озона за 2003 г. (максимумът на 23-я цикъл) и той е сравнен с тези за 1997 г. и 2008 г. ( минимумите на този цикъл).*

*Слънчевата активност се характеризира с броя на слънчевите петна W, слънчевия радиопоток на дължина на вълната 10.7 cm (F10.7) и MgII слънчев индекс. Оценката за влиянието на слънчевата активност върху ОСО е направена чрез анализ на озонния отговор на някои отделни случаи на резки промени в хода на W , F10.7 и Mg II в изследвания период.*

# INFLUENCE OF THE SOLAR ACTIVITY ON THE TOTAL OZONE CONTENT

**Bogdana Mendeva, Dimitar Krastev**

*Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: bmendeva@abv.bg*

***Keywords:*** *Solar activity, total ozone content (TOC), annual course of TOC.*

***Abstract:*** *The response of the ozone in the atmosphere to the solar activity changes has been studied. Data of the total ozone content (TOC) from the satellite experiments TOMS-EP and SCIAMACHY over Sofia, Bulgaria during the 23-rd solar cycle (1997-2008) are used.*

*The annual ozone course in 2003 (maximum of the 23-rd solar cycle) is presented and compared with those for 1997 and 2008 (minima of this cycle).*

*The solar activity is characterized by the sunspot daily numbers W, the solar radio flux at 10.7 cm (F10.7) and the MgII wing-to-core ratio solar index. The estimation of the influence of the solar activity on the TOC is made by an analysis of the ozone response to some separate cases of sharp changes in the course of W, F10.7 and Mg II in the examined period.*

## Увод

Влиянието на слънчевата активност върху динамиката на атмосферния озон е един спорен въпрос в науката за Земята. Механизмът на връзката озон – слънчева активност е обект на много изследвания [1, 2, 3]. Може да се предположи, че нарастването на ултравиолетовата радиация по време на периоди с висока слънчева активност води до съответно нарастване на концентрацията на озона. Повечето изследователи са получили положителна корелация озон – слънчева активност, други – отрицателна такава. Chandra и McPetters [4] са показали, че около 2% промяна в общото съдържание на озона (ОСО) във високата атмосфера могат да бъдат приписани на промяната в слънчевия УВ поток по време на слънчевия цикъл. Ефектите на слънчевата активност може да зависят от географската ширина, като на големи ширини високоенергетичните частици могат да играят значителна роля. Brasseur [1] е докладвал, че нараствания в слънчевата радиация в интервала 208-265 nm, равни на 3% и 5% предизвикват промени от 1.1% и 1.3% в ОСО на екватора. Тези промени се

увеличават с ширината и достигат до 1.5% и 1.7% в полярните области. Обаче Fleming et al. [5] са получили един положителен 27-дневен отговор на тоталния озон на УВ потока, независимо от ширината, навсякъде в тропиците ( $30^{o}$ S – $20^{o}$ N). Tertishnikov [6] и Makarova and Shirochkov [7], получавайки отрицателна корелация озон-слънчева активност, са направили заключението, че нарастналият поток енергетични частици в резултат на повишената слънчева активност би трябвало да увеличи йонизацията в атмосферата и да промени скоростта на химичните реакции, което води до продукция на озоноактивни съединения. Тяхното повишено количество може да предизвика осезаемо намаление на озона.

**Апаратура и методи**

Целта на настоящия доклад е да изследва отговора на атмосферния озон на промените в слънчевата активност. За това са използвани данни за общото съдържание на озона (ОСО) от спътниковите експерименти TOMS-EP и SCIAMACHY над София, България по време на 23-я слънчев цикъл (1997-2008 г.).

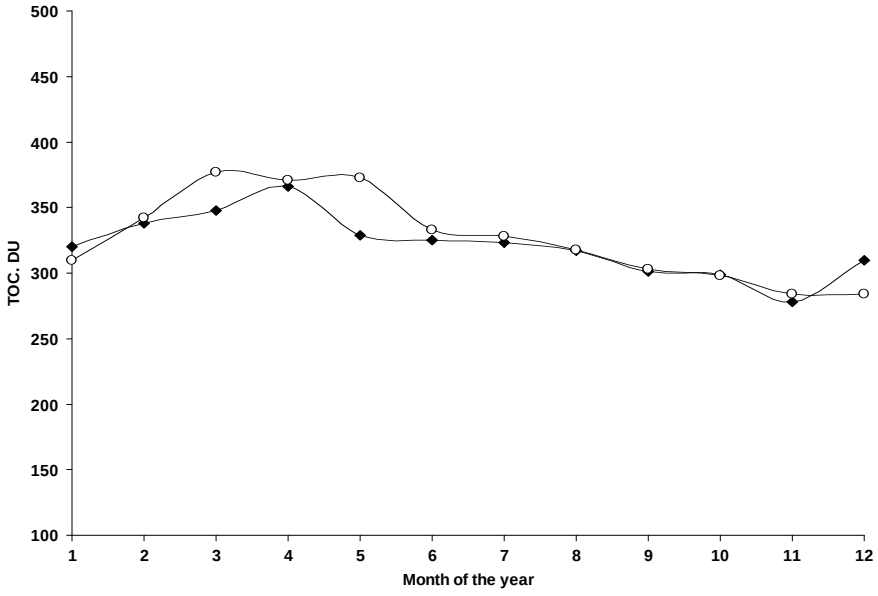
TOMS-EP (Total Ozone Mapping Spectrometer on the Earth Probe satellite) осъществява програмата на NASA за картиране и изследване на глобалното разпределение на озона в земната атмосфера. Неговите измервания покриват близката ултравиолетова област на електромагнитния спектър, където слънчевата радиация частично се поглъща от озона. Интензивността се регистрира в 6 дължини на вълните. TOMS-EP измерва общото съдържание на озона в атмосферен стълб от земната повърхност до границата на високата атмосфера при различни геофизични условия.

SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric ChartographY) на борда на спътника ENVISAT (ESA) е спектрометър, който провежда глобални измервания на различни trace gases в тропосферата и стратосферата. Данните са получени от апаратурата чрез наблюдение на пропуснатата, обратно разсеяната и отразената радиация от атмосферата в интервала дължини на вълните между 240 nm и 2400 nm. В режим “надир” е наблюдавано глобалното разпределение (стойностите на общото съдържание) на атмосферните trace gases, включително озона.

**Анализ на данните и резултати**

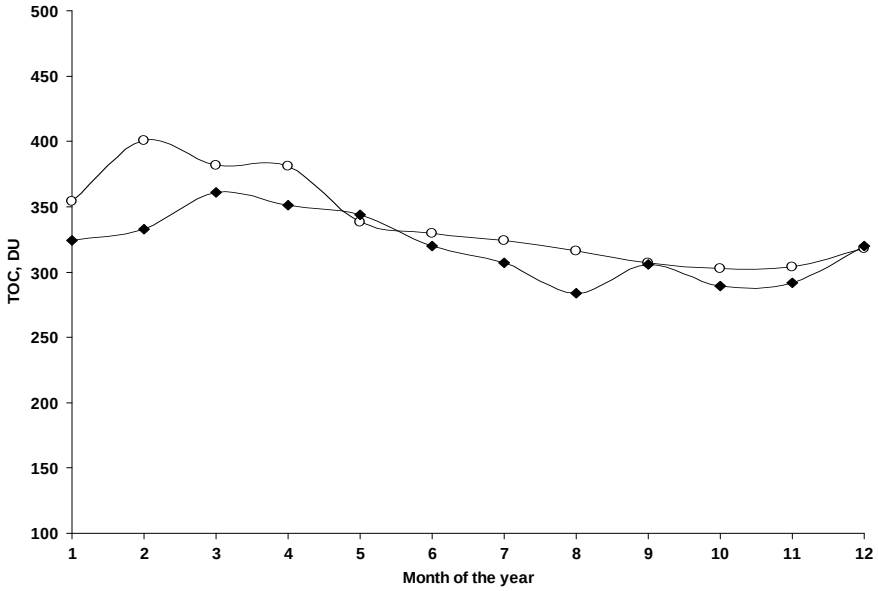
В тази работа ние разглеждаме и сравняваме годишния ход на общото съдържание на озона над България в годините на минимум и максимум на слънчева активност на 23-я слънчев цикъл (1997-2008 г.).

На фиг.1 е представен годишният ход на озона (средномесечни стойности ) за 1997 г. (минимум на 23-я слънчев цикъл) и 2003 г.(максимум на този цикъл ) по данни от TOMS-EP. Вижда се, че в годината на максимума стойностите на озона са по-високи от тези в годината на минимума, като това е добре изразено в първата половина от годината. Най-големи разлики има през месеците март и май, за които повишението е съответно 29 DU и 44 DU.




Фиг.1. Общото съдържание на озона над България в годините на минимум (1997 - ♦) и максимум (2003 - ○) на 23-я слънчев цикъл по данни от TOMS-EP

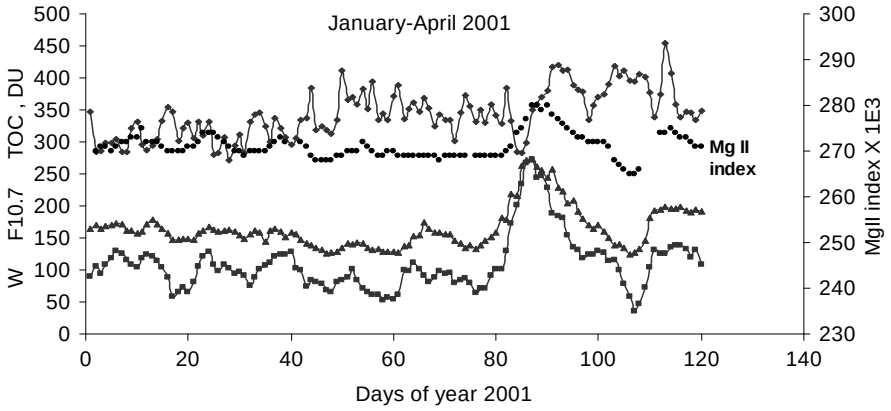
Фиг. 2 показва такова сравнение за 2003 г. (максимум на цикъла) и 2008 г. (минимум) по данни от SCIAMACHY. Тук определено средномесечните стойности на ОСО през цялата година на максимума са по-високи от тези в годината на минимума. Най-големите разлики са през февруари – 68 DU, април – 30 DU и август – 32 DU.



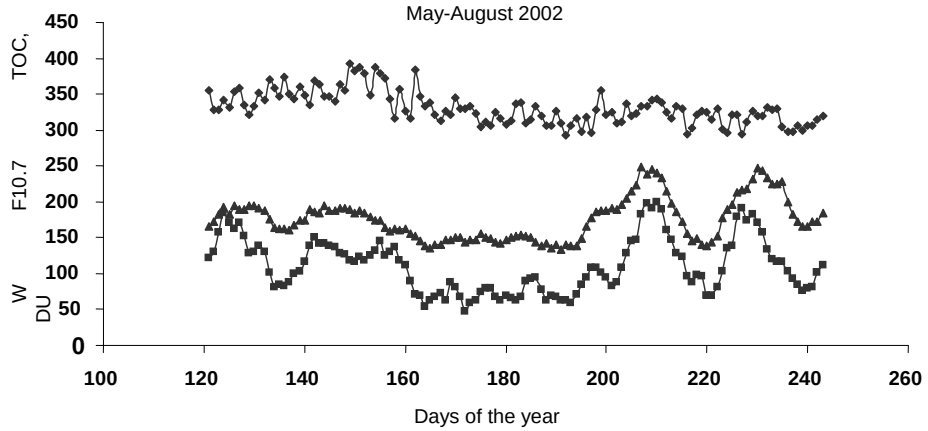

Фиг. 2. Общото съдържание на озона над България в годините на максимум ( 2003 - ○) и минимум (2008 - ♦) на 23-я слънчев цикъл по данни от SCIAMACHY

Влиянието на слънчевата активност върху ОСО беше изследвано чрез анализ на озонния отговор на резки промени в параметрите, характеризиращи тази активност: броя на слънчевите петна (W), слънчевия радиопоток на дължина на вълната 10,7 cm (F10.7) и слънчевия индекс MgII. Броят на петната корелира с наличието върху Слънцето на така наречените “УВ активни области”. Дългосрочният ход на индекса MgII е подобен на този на W.

Някои от разгледаните случаи показаха положителна корелация между ОСО и W, F10.7, MgII. Например, ходът на четирите параметъра ОСО, W, F10.7 и MgII, определен чрез техните дневни стойности през пролетта на 2001, е показан на фиг.3. След резките повишения на W, F10.7 и MgII се вижда рязко повишение и на ОСО – от 280 до 420 DU с едно фазово забавяне от 4 дни. Този пример демонстрира положителен отговор на озона на слънчевата активност. Намерени бяха и редица случаи, в които резките нараствания на слънчевата активност не предизвикаха промени в ОСО (фиг.4).




Фиг. 3. Пример на положителна корелация между озона (TOC) и параметрите на слънчевата активност W, F10.7, MgII




Фиг. 4. Пример на липса на корелация между озона (TOC) и параметрите на слънчевата активност W, F10.7

Подобни противоположни корелации (положителни и отрицателни) между озона и слънчевата активност са представени в изследванията на Varotsos [8] и Soukharev [2]. В тях озонният отговор на промените в слънчевата активност е свързан с различните фази на квазидвугодишната осцилация (QBO) на зоналните ветрове в екваториалната статосфера. По време на Западните фази на QBO се наблюдават положителни корелации, а по време на Източните фази – отрицателни такива. Основавайки се на анализа на връзките между индекса на стратосферна циркулация C1, броя на слънчевите петна W и QBO фазата, както и на получената корелация между вариациите на общото съдържание на озона и C1, Soukharev заключва, че връзката слънчев цикъл - QBO – озон се обуславя от динамиката на стратосферната циркулация.

В съответствие с гореказаното, ние бихме могли да предположим, че регистрираните озонни вариации, свързани със слънчевата активност, са предизвикани от различни промени в атмосферната циркулация, породени от слънчевата динамика.

**Литература:**


1. B r a s s e u r, G. The response of the middle atmosphere to long-term and short-term solar variability: a two dimentional model. Journal of Geophysical Research, v.98, pp.23079-23090, 1993.
2. S o u k h a r e v, B. The sunspot cycle, the QBO and the total ozone over Northeastern Europe: a connection through the dynamics of stratosphere circulation. Annales Geophysicae, v.15, pp.1595-1603, 1997.
3. H o o d, L. L. Effects of solar UV variability on the stratosphere, Pap.J., Fox, P. (Eds.), Solar Variability and its Effect on the Earth ‘s Atmosphere and Climate System, AGU Monograph Series, Washington, DC, pp.283-304, 2004.
4. C h a d r a, S. and R. D. M c P e t e r s. The solar cycle variation of ozone in the stratosphere inferred from Nimbus 7 and NOAA 11 satelites, Journal of Geophysical Research, v. 99, pp. 20665-20671, 1994.
5. F l e m i n g , E. L., S. C h a n d r a, C. J a c k m a n et al., The middle atmosphere response to short and long term solar UV variations : Analysis of observations and 2D model results. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, v. 57, pp. 333-365, 1995.
6. T e r t i s h n i k o v, A. V. Otsenki vliania solnechnoy aktivnosti na soderjanie atmosfernogo ozona, Geomagnetizm I aeronomoa, V.40, N 3, pp.141-143, 2000. (in Russian).
7. M a k a r o v a, L., A. S h i r o c h k o v. Relation between the ozone density variations and the solar wind dynamics. Proceedings of QOS-2004, Island of Kos, Greece, 2004.
8. V a r o t s o s, C. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics , v.51, pp.367-370, 1989.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# КАРТА НА ПРИРОДНОТО И КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО В ДУНАВСКАТА РАВНИНА – ОРГАНИЗАЦИЯ НА БАЗА ДАННИ И ДИЗАЙН

**Юлия Крумова, Стоян Недков**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география - Българска академия на науките*
*e-mail: jkrumova@gmail.com; snedkov@abv.bg*

***Ключови думи:*** *ГИС база данни, тематична картография, картографски дизайн*

***Абстракт:*** *Природните феномени и обектите на културно-историческото наследство на една страна са част от нейната уникална идентификация. Тяхното представяне и визуализиране ще е от особена важност за разкриване на туристическия потенциал на страната. Дунавската равнина е един слабо проучен в това отношение район. Създаването на подходящи нагледни материали ще даде възможност за опознаване и популяризиране на обектите от националното му богатство от все по-широк кръг от обществеността и ще допринесе за насочване вниманието на местните администрации към подобряване на тяхното стопанисване. В доклада са представени принципите на структуриране на база данни с такава тематика в ГИС среда и разработването на картографска концепция за съставянето на научно-справочна карта в М 1:500 000.*

# MAP OF THE NATURAL AND CULTURAL HERITAGE IN DANUBE PLAIN (DATA BASE STRUCTURE AND MAP DESIGN)

**Yulia Kroumova, Stoyan Nedkov**

*Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: jkrumova@gmail.com; snedkov@abv.bg*

***Keywords:*** *GIS data base, thematic cartography, map design*

***Abstract:*** *Natural phenomena and objects of culture-historical heritage of a country are part of its unique identity. Their appropriate representation and visualization is of crucial importance for revealing the tourist potential of the country. The Danube plain is a poorly studied are in this respect. The elaboration of appropriate visualization tools and means will enable better understanding and promotion of the national heritage objects in this area to the broad public. It will also contribute to draw the attention of the local stakeholders towards improved management of this heritage. The paper represents the principles for development of a GIS database for such objects and the elaboration of cartographic design for the establishment of scientific-reference map in scale 1:500 000.*

## Въведение

Географското положение, съвременната диференциация на релефа и разнообразието в съчетанията му с останалите компоненти на природната среда представят многообразния облик на пейзажите, флората и фауната на България. Древната история и културната самобитност на народа ни намират израз в многобройните археологически и архитектурни паметници, съхранени до нашето съвремие. Разположени на една неголяма територия, каквато е площта на страната ни, всички те представляват респектиращо условие, както при стопанското усвояване на територията, така и за опазването на околната среда и съхраняване на духовните ценности.

Природните феномени и обектите на културно-историческото наследство на една страна са част от нейната уникална идентификация. Тяхното представяне и визуализиране е от особена важност за разкриване на туристическия потенциал на страната. Дунавската равнина е един слабо проучен в това отношение район.

Чрез серия от тематични карти е представен крайният резултат от приложението на част от въведената и структурирана в ГИС (ArcGIS) среда подробна база данни за природните и културно-историческите обекти в дунавския регион по определено задание.

Фрагментите от картата на природните и културно-исторически обекти в Дунавската равнина (М 1: 550 000) представляват илюстративен материал към пътеводител „По дунавския бряг – от Ново село до Силистра“ [1]. Елементите на специалното тематично съдържание съответстват на обектите, описани в текста на справочника и са следствие от селекция, комбиниране и обобщаване на характеристиките им от разширената база данни.

**Структура на базата данни в ГИС**

ГИС представляват компютърно базирано средство, осигуряващо възможности да бъдат събирани пространствено определени (географски) данни от разнообразни източници, да се трансформират в лесен и удобен за работа формат, да бъдат подреждани, да се управляват анализират и манипулират, като резултата на “изхода” на системата да е точната необходима информация търсена от потребителя [2]. Те трябва да се схващат като средство за представяне на модел на реалния свят, понеже тези данни могат да бъдат манипулирани интерактивно и по този начин да служат за изследване на природните процеси, за анализ на тенденциите на развитие и предвиждане на възможния резултат от различни мероприятия [3]. Базата данни в ГИС се дефинира, като съвкупност от логически свързана информация, съдържаща данни за пространственото разположение, формата, свойствата и характеристиките на географските обекти. Данните са подредени в свързани помежду си дигитални таблици. Най-важната особеност на данните в ГИС е, че те са пространствено определени. Всеки обект или процес от земната повърхност може да се представи като се използват основните геометрични елементи точки, линии и полигони (при работа във векторен формат) или като съвкупност от елементарни клетки (при работа в растерен формат). Информацията за обектите под формата на атрибутивни данни се съдържа в дигитални таблици, като на всеки обект съответства конкретна част от таблицата.

При съставянето на базата данни са използвани ГИС данни за територията на страната от фонда на НИГГГ, както и информация от проекти разработвани в института. Пространствената информация за обектите на културно-историческото наследство е представена във векторен формат (shapefile) с координатна система UTM WGS84 Zone35.

Атрибутивната информация за обектите е организирана с оглед осигуряването на динамична, гъвкава и леснодостъпна среда за управлението и обработката й.

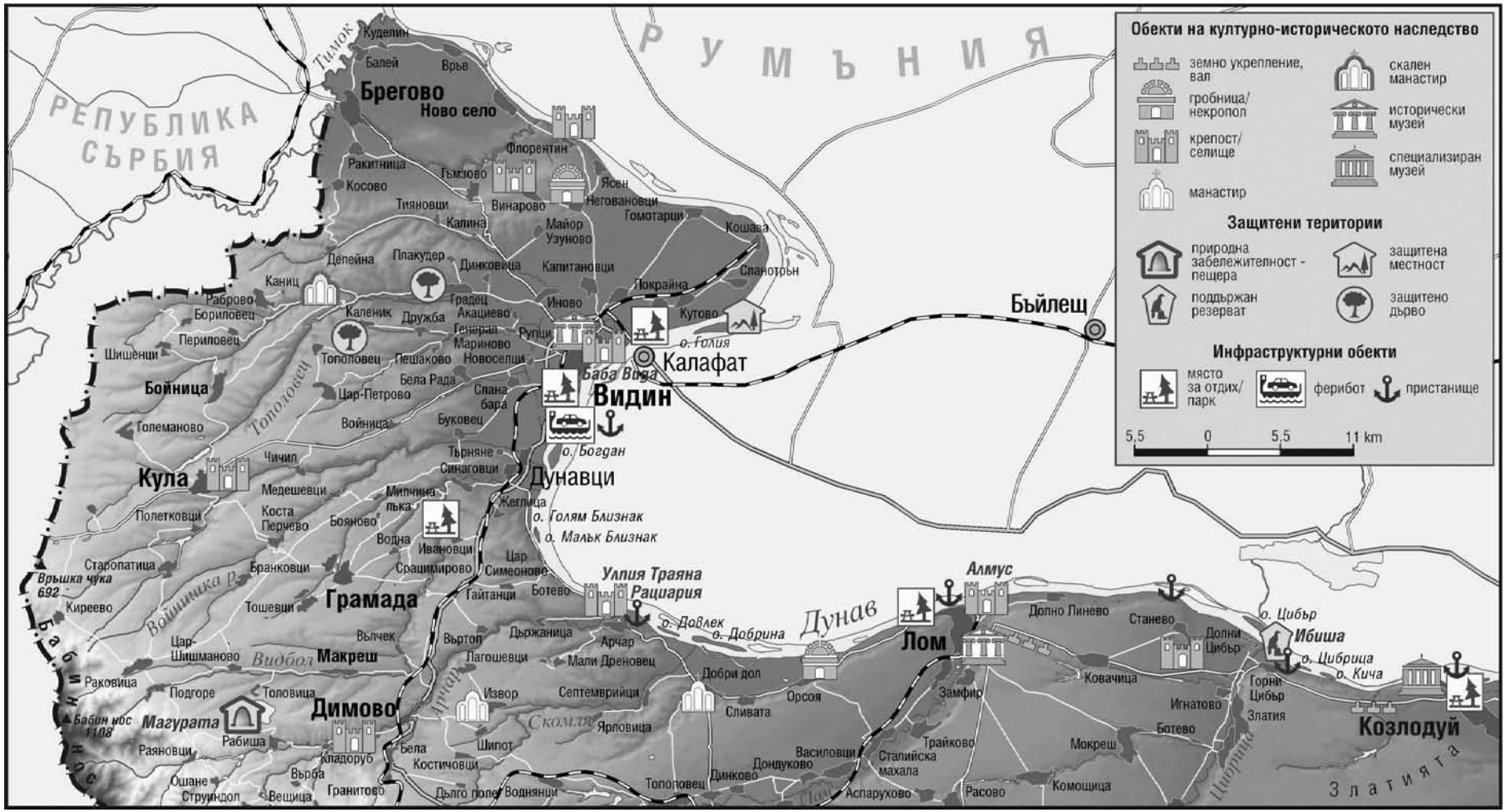
Обектите са разпределени според вида им в три групи: археологически, културни и природни. Структурирането им е подчинено на три главни групи критерии: възраст /TIMELINE (за археологическите и културните) – антични (7 в. пр. Хр. - 6/7 в.), средновековни, възрожденски, съвременни; тип/TYPE (включващ състояние и допълнителни качествени характеристики за обектите от един и същ вид); качество/QUALITY (вида и степента на точност на източниците при въвеждането на обектите).

**Картографска концепция и дизайн на картите**

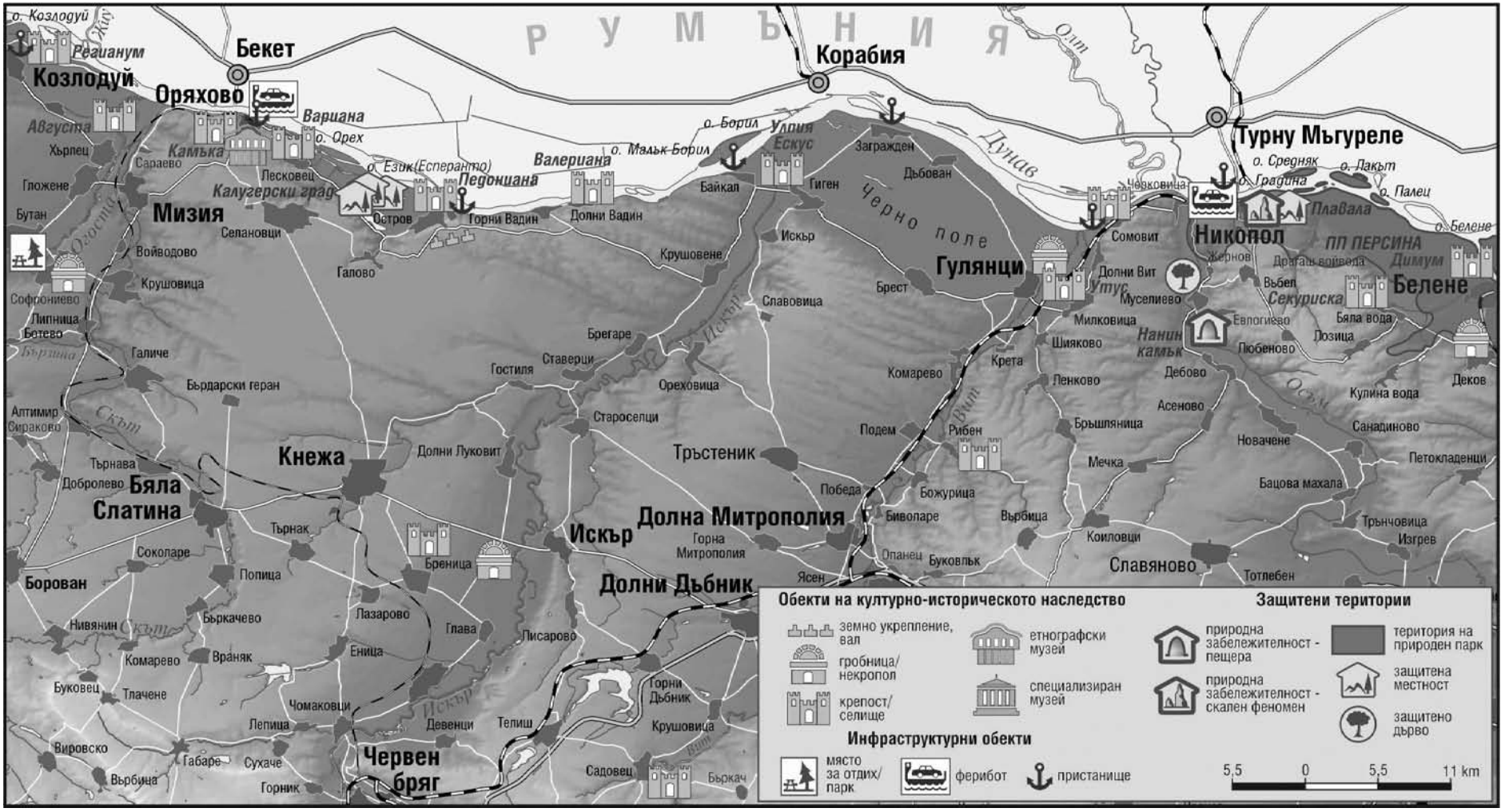
В хода на конкретните дейности при съставянето на сериите тематични карти, предназначението на картографския продукт е определящо, от една страна, при подбора на количеството обекти от специалното съдържание и степента на генерализация, което е отговорност на традиционната тематична картография. От друга страна, предназначението е от първостепенна важност при разработването на типа на образно-знаковите системи, подчинени на подбраните вече способи. Изборът на подходящите изобразителни графични средства и хармоничното цветово изграждане има пряко отношение при проектирането на картографските знаци. Обединението им в рационална и ефективна знакова система и оформянето на единна композиционна структура е отговорност на дизайна на картите/картографското оформлмение [4]. Същността на подобен избор се състои в това, към каква група читатели ще са предназначени бъдещите карти. Какъв е техният интерес към тематиката – любителски или професионален? Какво е нивото на тяхната компетентност в областта и каква е възрастта им? Каква информация се очаква да извлекат от тази карта? Изчерпателният отговор на тези въпроси дава важни идейни насоки при разработването на знаковите системи от легендите на картите [5].

Положителният ефект от графичния израз в съчетание с правилния избор на способ ще са гаранция за успешното предаване на посланието на картата като носител на информация.

Средномащабните тематични карти от настоящата разработка са от научно-справочен тип и имат научно-популярен характер. (фиг. 1 и 2).




Фиг. 1. Карта на културно-историческите и природните обекти към пътеводител „По дунавския бряг” (лист Видин – Козлодуй)




Фиг. 2. Карта на културно-историческите и природните обекти към пътеводител „По дунавския бряг” (лист Оряхово – Никопол)

Особеностите на този вид предназначение, с насоченост към по-широк кръг публика, в съчетание с изискванията за графично оформление на средномащабните карти определиха избора на 2 типа способи: с графични символи (използван преимуществено, поради точковия характер на по-голямата част от обектите) и с площни знаци (ограничено – за определени защитени територии с по-голям обхват). Разработената двукомпонентна образно-знакова система с художествени знаци е с цел придаването на нагледен и ясен графичен израз на разнообразието от природни феномени и културно-исторически обекти в региона. Легендата е разработена на базата на утвърдена знакова система за представяне на туристически ресурси и приложена в издания с подобна тематика [6]. Съобразена с принципите на картографския дизайн (графична яснота, четимост, селективност, естетичност), в нея са разграничени трите основни групи обекти посредством цветови решения. С оглед поддържането на баланса на видовете обекти в легендата в количествено отношение, в групата на културно-историческото наследство част от символите имат събирателен, обобщаващ характер (например, с един знак се представят: култов център и светилище; гробница и некропол и т. н.). Същото обстоятелство, от друга страна, наложи детайлизиране в символизацията на защитените територии и природните обекти (например, категорията „природна забележителност" е представена с три отделни знака, маркиращи защитения вид – пещера, скален феномен и флористичен вид). Подредбата на обектите от тази група е съобразена с йерархическата последователност на отделните категории в зависимост от статута на тяхната защита (фиг. 3.).

Фиг. 3. Обща легенда на картите на културно-историческите и природните обекти към пътеводител „По дунавския бряг"

Ограничения, свързани с размера на изданието наложиха фрагментирането на картата на 4 картни листа и намаляване мащаба на 1: 550 000. Разположението на картите в различни части на книжното тяло (съобразно придружаващия ги текст) определиха наличието на легенди за всяка една от тях с оглед по-добрата ориентация на читателя.

Изготвянето на картите–фрагменти, илюстративен материал към пътеводителя за дунавския регион е съгласувано с картографската концепция на работната програма, обхващаща следната етапна последователност:

- Подбор на изходната картографска информация – от ГИС-база данни (ArcGIS) в М 1:100 000;
- Отделяне на обектната информация от текста на справочника;
- Разработване съдържанието и изготвяне на картографската основа в М 1: 550 000;

- Разработване съдържанието и логическата конструкция на общата легенда за обектите от специалното съдържание и тези от картографската основа;
- Разработване на компоновъчни макети на отделните карти-фрагменти;
- Обработка и организация на данните в самостоятелна ГИС-среда (ArcGIS), отговаряща на картографското задание и тематиката на картите. Този процес включва и въвеждането (цифровизация) на допълнителни обекти от съдържанието на справочника, както и обектна и графична генерализация;
- Картографско оформление – разработване на образно-знакова система (с художествени знаци) за обектите от специалното тематично съдържание и решение за цялостно цветово изграждане на картите;
- Трансформация на цифровата (ГИС) база картографски тематични данни във векторизирани данни в програма CorelDRAW;
- предпечатна подготовка за крайния продукт в програма CorelDRAW.

**Изводи**

Представеният тип структуриране на база данни и модел за картографски дизайн са изготвени с цел реалното им приложение при съставянето на средномащабни тематични карти на туристически ресурси и за други региони на страната.

Конструцията на легендата и графичното й изграждане са направени на „отворен" принцип, т. е. с възможности за обобщения или детайлизации на видовете обекти в отделните групи, както и на техните характеристики, в зависимост от спецификата на конкретна изходна информация.

Създаването на подходящи нагледни материали ще даде възможност за опознаване и популяризиране на обектите от националното богатство на Дунавския регион от все по-широк кръг от обществеността и ще допринесе за насочване вниманието на местните администрации към подобряване на тяхното стопанисване.

**Литература:**


1. По дунавския бряг (от Ново село до Силистра). 2011."ТАНГРА ТанНакРа", София
2. B u r r o u g h, P. A. 1993. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendom press.
3. F i s h e r, M., P. N i j k a m p. 1992. GIS and spatial analysis. The annals of regional science, vol. 25.
4. В о с т к о в а, А. 1985. Оформление карт. Изд. Московского университета
5. W e g e r, J. 1999.Sémiologie graphique et conception cartographique, Ecole des sciences géographiques.
6. България - Географски Атлас (двуезично издание). 2010. "ТАНГРА ТанНакРа", София.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ПРОСТРАНСТВЕНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА СПЕКТРОМЕТРИЧНИ СИСТЕМИ

**Валентин Атанасов, Георги Желев, Любомира Кралева**

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

***Ключови думи:*** *спектрометри, видеоспектрометри, пространствена разделителна способност, методи.*

***Резюме:*** *В работата са разгледани основните методи за определяне на пространствената разделителна способност на спектрометрични и видеоспектрометрични системи. Направен е сравнителен анализ на методите и техниките и са посочени техните предимства и недостатъци. Приведени са конкретни резултати от прилагане на отделните методи при разработване на видеоспектрометрична система и е определена пригодноста на разглежданите методи за различните етапи на изграждане и използване на спектрометрични и видеоспектрометрични системи.*

# SPATIAL RESOLUTION OF SPECTROMETRIC SYSTEMS

**Valentin Atanassov, Georgi Jelev, Liubomira Kraleva**

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

***Keywords:*** *spectrometers, imaging spectrometers, spatial resolution methods.*

***Abstract:*** *In the work are presented the basic methods for revealing and determining spatial resolution of spectrometric and imaging spectrometric systems. A comparative analysis of methods and techniques is made and their advantages and disadvantages are discussed. Concrete results from the application of different methods in developing of imaging spectrometric system are specified. The adaptability of the proposed methods for the various stages of putting into practice of spectrometric systems are discussed.*

## 1. Въведение

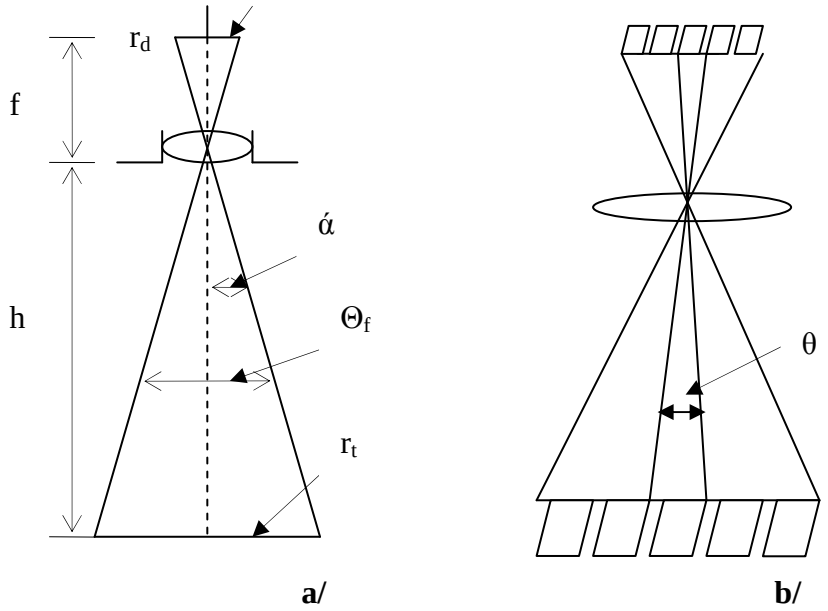
Пространствената разделителна способност е една от най-важните характеристики на спектрометричните системи. Съществуващата необходимост от добро представяне на спектралните съставни на изследваните обекти е свързана с изисквания за изобразяване с висока разделителна способност на пространствените елементи от изображението. Пространствената разделителна способност е функция от геометрията между сензора и изследвания обект в момента на измерването, оптичната схема, размерите на детектора, фокусното разстояние на оптичната система и др. Изменението на фронтовете на оптичния сигнал, преминаващ през една оптична система, в сравнение с фронтовете на входния сигнал също е показател за качеството на системата и влияе на пространствената разделителна способност. Така че тази характеристика е свързана и с друга – контраст- и двете участват в определяне на качеството на изобразяване на обектите от една оптична система.

Обикновено пространствената разделителна способност се дефинира чрез моментния ъгъл на наблюдение IFOV (instantaneous field of view) с който се изобразява най-малкия разделим пространствен елемент в изследваното изображение [1]. Най често IFOV се изразява в mradians като функция на геометрията на входната оптика. Съществуват още различни методи за определяне на пространствената разделителна способност като методите използващи: функция на отговор на прибора на точков източник на лъчение PSF (Point Spread Function), транформацията на Фурие и др. Един комплексен подход за дефиниране на

пространствената разделителна способност, същевременно отчитащ влиянието на всички допълнителни ефекти върху деградацията на изображението е чрез използване на MTF функция (Modulation Transfer Function).

### 2. Методи за определяне на пространствената разделителна способност

**- Моментен ъгъл на наблюдение.** Един от основните методи за дефиниране на пространствената разделителна способност е този, при който се използва определяне на моментния ъгъл на наблюдение IFOV (instantaneous field-of-view). За целта първоначално се определя т. нар. ъгъл на наблюдение FOV (field-of-view) като пространствен ъгъл при който радиацията попада върху сензора и той зависи от оптичната конфигурация на системата [1,2]. Той е дефиниран от характеристиките на входната оптика, позицията и широчината на входния процеп спрямо повърхността на детектора, размерите на детектора ( фиг. 1а).




Фиг. 1. **а/**. Схема на представяне на ъгъла на наблюдение $\Theta_f$
**b/**. Схема на представяне на моментния ъгъл на наблюдение θ.

Обикновено радиусът на детектора е много по малък от фокусното разстояние на системата, така че:

(1) $\Theta_f = 2\tan(r_d/f) = 2\tan(r_t/h)$,

където: $\Theta_f$ – ъгъл на наблюдение, $r_d$ – радиус на детектора, f - фокусно разстояние ($r_d << f$), $r_t$ - радиус на наблюдаваната повърхност, h - височина.

Моментният ъгъл на наблюдение IFOV показва пространствената апертура, в която сензора е чувствителен към електромагнитната радиация. Ъгълът IFOV в действителност представя пространствената разделителна способност на системата и може да бъде определен като:

(2) $\theta = \Theta_f / n$,

където: n – брой елементи на детектора.

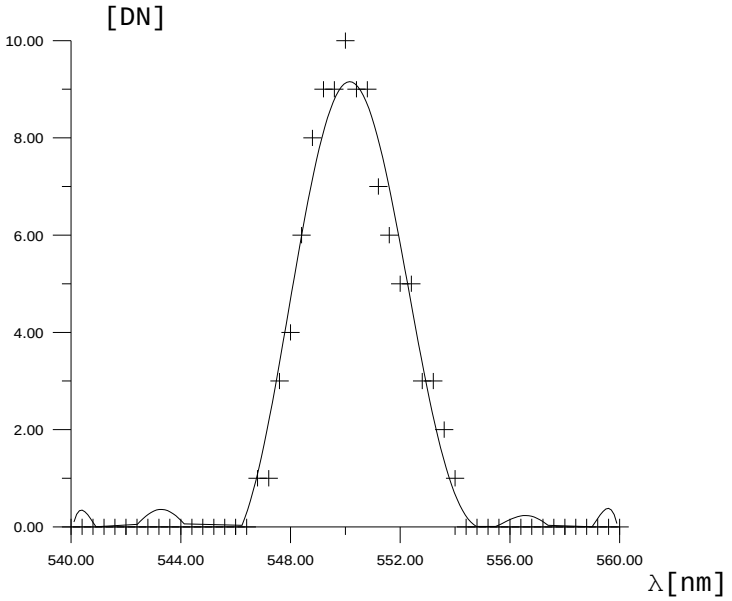
Най често IFOV - в mradians - функция на: геометрията на входната оптика. Този параметър не отчита някои важни фактори, оказващи влияние върху формирането на изображението в една оптична система, като оптичните ефекти: аберация, дифракция, размазване на изображението вследствие на относителното придвижване на обекта спрямо детектора.

От гледна точка на детектора влияние върху тази характеристика оказват основно три фактора: геометрия на активната част на детектора (размери и стъпка на фоточувствителните елементи), ефективност на преноса и дифузията на носителите.

Резултати от измерванията на конкретен модел спектрометрична система показват, че пространствената и разделителна способност в направление, перпендикулярно на

направлението на движение на носителя, може да бъде определена чрез определяне на моментния зрителен ъгъл IFOV (стойност 0.9mrad, за сензор с 582 елемента (V)) и съответната оптика.

- Метод включващ определяне на **функция на отговор на прибора на точков източник на лъчение.** Функцията на отговор PSF (Point Spread Function) е използвана за описание на реакцията на инструмента при входно въздействие точков източник монохроматична светлина. В повечето случаи тази функция може да бъде апроксимирана с Гаусов модел или полиноминална апроксимация.




Фиг. 2. Функция на отговор PSF на видеоспектрометър за канал 550nm (апроксимация с полином) ($\Delta\lambda_{in}$1.65nm,$\lambda_{01}$=550nm,$\lambda_{02}$=552nm)

Функция на отговор на спектрометричен прибор е измерена, като е използван източник на входно въздействие с тясна честотна лента, чиито светлинен поток има широчина на спектралната лента $\Delta\lambda_{in}$ ($\Delta\lambda_{in} < \Delta\lambda_{ch}$, където $\Delta\lambda_{ch}$ е широчината на спектрален канал). Реакцията на прибора по направление на спектралната ос е показана в 2D вариант на фиг.2, представяща функцията на отговор за канал с централна дължина на вълната $\lambda_0$ = 550nm. Моделът използван за апроксимация на функцията е полиномна апроксимация (степен на полинома 10). В този случай експериментално получените данни (+) са представени в нива на сивото [DN]. Спектралната разделителна способност се определя от широчината на спектралния канал на прибора, която по критерия FWHM (full width at half maximum) $\Delta\lambda_{FWHM}$ = 4nm, (фиг. 2). Пространствената разделителна способност в направление перпендикулярно на спектралната ос (перпедикулярно на направлението на движение на носителя) е определена допълнително, като стойност е приблизително 0.9mrad, което показва че пространствената разделителна способност на видеоспектрометъра се определя от пространственото разделение на сензора [4].

- Друг метод за определяне на пространствената разделителна способност е чрез използване на **преобразуване на Фурие** (Fourier transform). Методът предполага висока точност и прецизност при определяне на пространствената разделителна способност, но за изпълнението му е необходим значителен изчислителен ресурс.

- Друг метод за определяне на пространствената разделителна способност включва използване на т. нар. **MTF** функция (Modulation Transfer Function)**.** Тази функция описва структурата на изображението като функция от пространствените честоти на представяния обект. Чрез MTF функцията се измерва колко ефективно контраста на обекта може да бъде предаден в изображението, позволявайки по този начин чрез количествени измервания да се съди за качеството на изображението.

Контрастът на обекта може дабъде представен като отношение [3]:

(3) $Mo = (Io_{max} – Io_{min})/ (Io_{max} + Io_{min})$,

където: $Io_{max}$ - максималният интензитет в обекта, $Io_{min}$ - минималният интензитет в обекта.

Следователно, контрастът на изображението може да бъде изразен по същия начин:

(4) $Mi = (Ii_{max} – Ii_{min})/ (Ii_{max} + Ii_{min})$,

където: $Ii_{max}$ - максималният интензитет в изображението, $Ii_{min}$ - минималният интензитет в изображението.

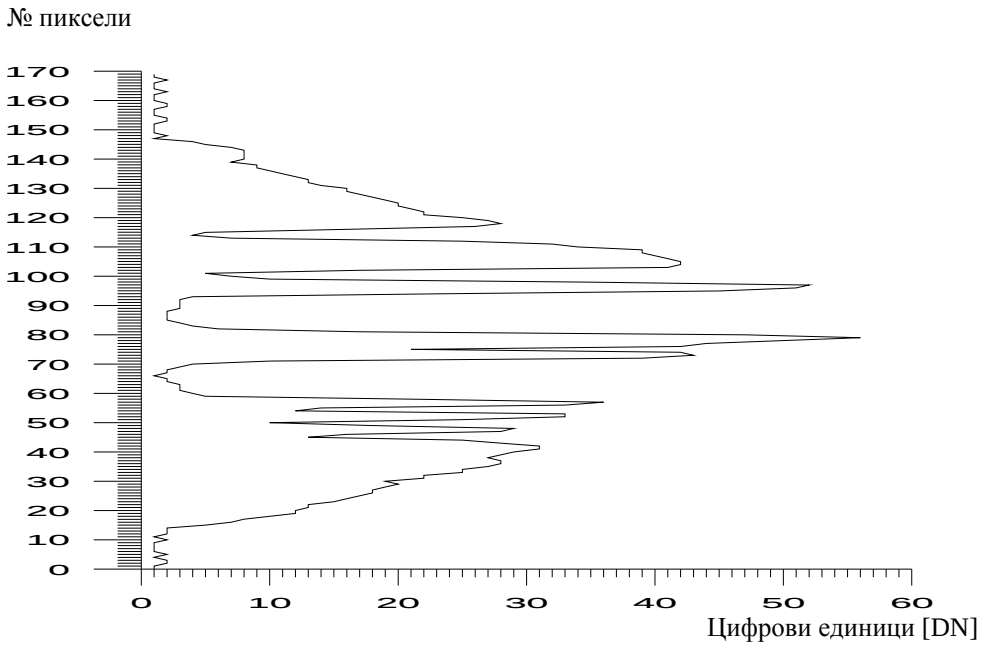
Отношението на размаха на изходния сигнал при предаване на щрихова мира със зададена пространствена честота към размаха на сигнала от едри детайли от изображението определя коефициента на предаване по модулация $K_{Mo/ Mi}$. Следователно MTF функцията може да бъде изразена чрез коефициента на предаване по модулация:

(5) $K_{Mo/ Mi} = Mo/ Mi(f/f_{max})$

Функцията MTF по един точен начин дава връзката между между тях и определя доколко прецизно една система за получаване на изображения преобразува контраста като функция на детайлите на обекта. Тя се представя като двумерна графика контраст- модулация спрямо детайли на обекта – пространствена честота. При това е удобно да се използва отношението $f/f_{max}$, при която стъпката на пространствената честота е равна на стъпката на светлочувствителните елементи на сензора.

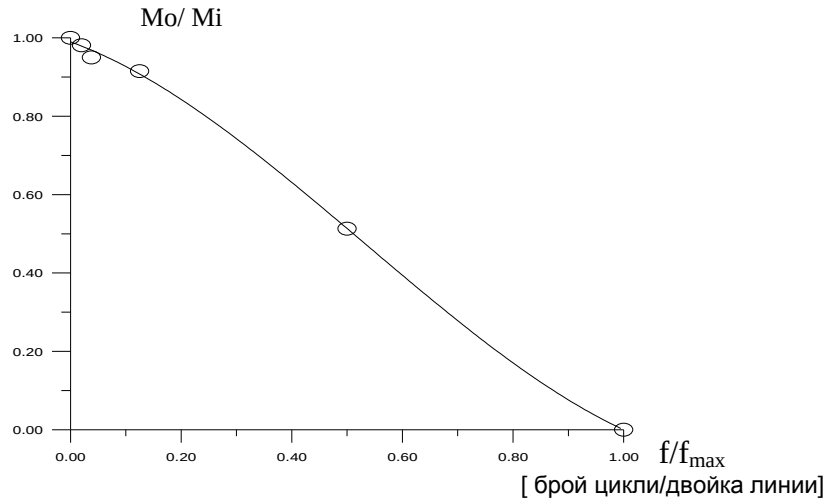
Предимството на MTF за оценка на детайлнотта е че измерването е обективно на първо място и че при измерването се отчита влиянието на всичките компоненти, включени в оптичната система на прибора.

Определянето на MTF функцията и оттам на пространствената разделителна способност на видеоспектрометрична система в лабораторни условия е показано по долу. Използван е екран с подходящо подбрана пространствена честота, ориентирана перпендикулярно на входния процеп на видеоспектрометъра. Входен източник с сравнително широк спектрален диапазон на излъчване е използван за осветяване на екрана. Измерванията са направени чрез снемане на изображения на спектри на изследвания тестов екран за които е определена честотота на Найкуист (0.5 период/пиксел) (фиг. 3, пиксели 76 - 77).




Фиг. 3. Видеоспектрометрични данни, представящи разпределението на интензитета на регистрираната радиация по пиксели за един спектрален канал

MTF функцията (фиг.4) е изчислена като функция на отношението на контраста изразен чрез амплитудите на синусоидалните вълни към тяхната средна стойност спрямо пространствената честота брой цикли/двойка линии. На фиг.4 е представена MTF функцията на прибора. От фигурата се вижда, че за конкретната разработка пространствената разделителна способност за ниво на пространствената честота $f/f_{max}=0.5$ (честота на Найкуист), съставлява 50% от определената чрез моментния зрителен ъгъл IFOV $f/f_{max}=0.5$ и изчислена стойност 0.9mrad. Получената стойност за IFOV при отразява т. нар. ефективен моментен ъгъл EIFOV(effective instantaneous field-of-view) [4].




Фиг. 4. MTF функция на видеоспектрометрична система

Функцията MTF елиминира субективните оценки на разделителна способност, контраст и качество на изображението, получавани чрез използване на тестови таблици.

- Друг метод за определяне на пространствената разделителна способност е базиран на използване на MTF функции на отделните елементи на системата. Повечето елементи, съставящи една оптична система имат асоциирани криви на MTF функции и по тези криви, чрез умножение, може да се определи резултантна MTF функция, която при известни условия ще бъде много близко до реалната [5].

### 4. Изводи

1. Съществуващите методи позволяват с различна степен на точност определяне на пространствената разделителна способност и за всеки етап от разработка може да бъде използван подходящ метод.

2. При извършване на финалните измервания и калибриране на подобни системи е необходимо да бъдат използвани комплексните методи за определяне на пространствената разделителна способност, като методи на преобразуване на Фурие и MTF функция.

### Литература:

1. S l a t e r, Ph., N. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. Addison-Wesley Publishing Company. 1980.
2. S c h a e p m a n, M. E. Calibration of a Field Spectroradiometer. University of Zurich, Zurich, Switzerland, 1998.
3. P a g e, D. Wavefront Distortion Measurements: MTF vs. Interferometry. Europhotonics. April/May 2006.
4. А т а н а с о в, В., Б. П е е в, Н. В а с и л е в, В. В а с и л е в. Спектрална и пространствена разделителна способност на модел на видеоспектрометър. Седма национална конференция с международно участие “Съвременни проблеми на слънчево-земните въздействия”, София, ноември 2000, Сборник доклади, стр. 151-154.
5. A t a n a s s o v, V., A. K r u m o v, V. V a s i l e v, N. V a s i l e v. Prototype of a Vis-NIR Imaging Spectrometer. 1998 ASPRS-RTI Annual Conference, Tampa, Florida, March 30 - April 4, 1998 Conference Proceedings, pp.1402-1407.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА РЕЛИКТНИТЕ КАМЕННИ ЛЕДНИЦИ В ПИРИН ПЛАНИНА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

**Петър Димитров, Александър Гиков**

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

***Ключови думи:*** *Пирин планина, периглациален релеф, дистанционни методи*

***Резюме:*** *Настоящият доклад представя резултатите от проучване на реликтните каменни ледници в Пирин планина чрез дистанционни методи и е продължение на публикуван по-рано доклад, разглеждащ тези форми в Рила. Двата доклада представляват първият опит за цялостно изследване и картографиране на реликтните каменни ледници в двете най-високи български планини, което е от съществено значение за разбирането на палеоклиматичната обстановка в тях в края на Плейстоцена и началото на Холоцена. За идентификация на реликтните каменни ледници са използвани цветни аероснимки и изображение от сателита SPOT. В резултат на тяхното визуално дешифриране бяха установени 55 каменни ледника. За някои от тези палеоформи е необходимо допълнително потвърждение чрез теренни наблюдения или други аерокосмически материали. Идентифицираните обекти са представени върху карта и във вид на таблица, съдържаща основни морфометрични данни и описание на местоположението им.*

# RELICT ROCK GLACIERS IDENTIFICATION AND MAPPING IN PIRIN MOUNTAIN USING AERIAL AND SATELLITE IMAGES

**Petar Dimitrov, Alexander Gikov**

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

***Keywords:*** *Pirin Mountain, Periglacial relief, Remote sensing*

***Abstract:*** *This paper presents the results from a study of the relict rock glaciers in Pirin Mountain using remote sensing methods and is continuation of a previous paper concerning these morphological features in Rila Mountain. The two papers represent the first attempt to map the relict rock glaciers in the two Bulgaria's highest mountains, which is of key importance for understanding its paleoclimatic settings during the end of Pleistocene and the beginning of Holocene. For identification of relict rock glaciers, true colour orthophoto and SPOT images were used. As a result of the visual interpretation 55 relict rock glaciers were found. The identification of part of them was subject of uncertainty and the confirmation will require terrain observations to be made or additional remote sensing images to be used. The identified features are presented on a map and in table containing basic morhometrical data and descriptions of their location.*

## Въведение

Настоящият доклад представлява продължение на изследването на реликтните каменни ледници в Рила планина с помощта на дистанционни методи, което беше публикувано в миналогодишния сборник от конференцията SES [1]. За разлика от Рила, където периглациалният релеф отдавна е обект на редица проучвания [2,3,4,5], за територията на Пирин планина няма изследвания, чиито главен фокус да е периглациалният морфоложки комплекс. В публикацията на Велчев и Кендерова [6], посветена на плейстоценското и холоценското развитие на долината на р. Мозговица, се разглеждат и форми, свързани с периглациалните процеси, но въпреки наличието на каменни ледници в същата долина, те са интерпретирани като сърповидни морени. При характеристиката на морфологията на циркуса Големия казан в Пирин планина Попов [7] засяга и морфоложката роля на мразовото

изветряне, което според него доминира над корозията, но акцентът на работата е върху реликтноглациалната и карстовата морфология на циркуса, където действително няма каменни ледници.

За наличие на каменни ледници в българските планини (по-специално в Рила) за първи път се споменава през 1959 г. от Гловня [8], който използва термина „*скален ледник*" – буквален превод на английския термин "*Rock glacier*". В следващите публикации на същия автор посветени на периглациалната морфогенеза, обаче този термин не се среща и каменните ледници не се разглеждат като специфична периглациална форма. През последните години се споменава за скални ледници в някои публикации за Рила, но без те да са основен обект на изследването [9, 10, 11]. Реликтните форми от този вид в тази планина са по-целенасочено и подробно разгледани в две публикации [1, 12], като в тях е възприет алтернативен преводът на английския термин, а именно „*каменен ледник*", тъй като по-добре отразява същността на формата. Въпреки че в Пирин условията са сходни и е логично да се откриват идентични морфоложки комплекси като в Рила, досега съществуването на каменни ледници в Пирин планина не е установено. **Целта**, която си поставят авторите на доклада, е не само да се насочи вниманието към съществуването на реликтни каменни ледници в Пирин, но също и да се направи инвентаризация на тези форми за територията на цялата планина.

**Методика на изследването**

Дистанционните методи са надеждно средство за инвентаризиране и картографиране на формите на релефа в безлесния планински пояс, като освен това позвобяват изследване на обширни и труднодостъпни райони [13]. За идентификацията на реликтните каменни ледници в Пирин е приложена същата методика, както и при изследването им в Рила [1]. Тя включва визуално дешифриране чрез използването на основните преки дешифровъчни признаци, като *форма*, *размер*, *рисунък* и *сянка*, а също и косвени дешифровъчни признаци, като *местоположение*. Тя е описана по-подробно в миналогодишния доклад, затова тук няма да се спираме на нея.

За картографирането на каменните ледници в Пирин са използвани следните данни: 1) ортофотоплан от 2006 г.; 2) ортофотоплан от 2010 г.; 3) спътниково изображение от SPOT5 в естествени цветове и разделителна способност 2,5 m.

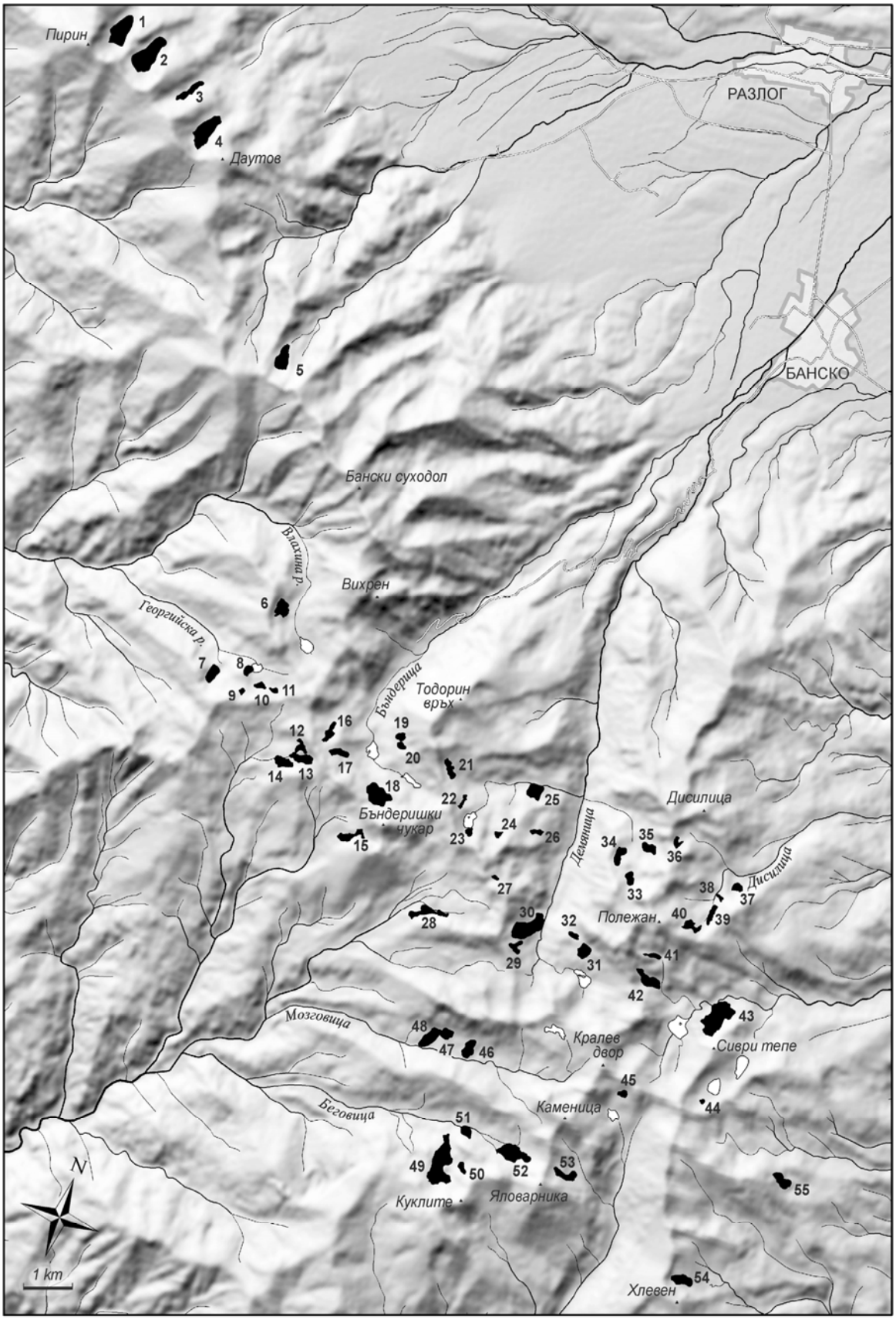
Въпреки улесненията предоставяни от дистанционните методи извършеното дешифриране не е лишено от трудности. Така например на ортофотоизображенията от 2010 г. се наблюдават плътни сенки под стръмните и високи циркусни стени със северна и западна експозиция. Дешифровъчните качества на ортофотоизображенията от 2006 г. се влошават от наличието на снежна покривка. Друг проблем е липсата на хартиени контактни копия на аероснимки, които да бъдат дешифрирани с помощтта на стереоскоп. Стереонаблюдението значително подпомага разпознаването на тези палеокриогенни форми, особено в случаите, когато те не са изобразени чрез сенки и е формиран характерният за тези обекти рисунък. Стереодвойки са използвани единствено за малка територия в най-северната част на планината, която попада във фотограметричния блок, на който е заснета съседната Рила планина. Поради това идентифицирането на отделните каменни ледници не е в еднаква степен сигурно и някои се нуждаят от допълнителна теренна проверка.

Надморската височина на горния и долния край на всеки каменен ледник е определена по топографска карта в мащаб 1:25 000 с хоризонтали през 10 m. Картата е използвана също за ориентиране в характера на релефа, включително за определяне на посоката на максималния наклон. Това е от значение за определяне на посоката на движение на каменния ледник (в периода когато е бил активен), по която се измерва неговата дължина. Ширината е измерена в перпендикулярно на това направление.

**Идентифицирани реликтни каменни ледници в Пирин**

В резултат на дешефрирането на наличните аеро и спътникови изображения в Пирин планина бяха идентифицирани 55 реликтни каменни ледници, представени в таблица 1 и фигура 1. Формите отбелязани със звезда след номера в таблица 1 не могат да бъдат сигурно идентифицирани като каменни ледници на базата само на използваните аеро-спътникови материали и се нуждаят от допълнителна проверка на терен. Както се вижда от фигура 1 установените каменни ледници са сравнително равномерно разположени по цялата площ на субалпийския и алпийския височинен пояс.

В северозападната част на Пирин, където главното било е тясно и без значителни разклонения, са идентифицирани пет реликтни каменни ледници, всичките разположени в циркуси със северна компонента на изложението. Първите четири (№1-4 от таблицата) са



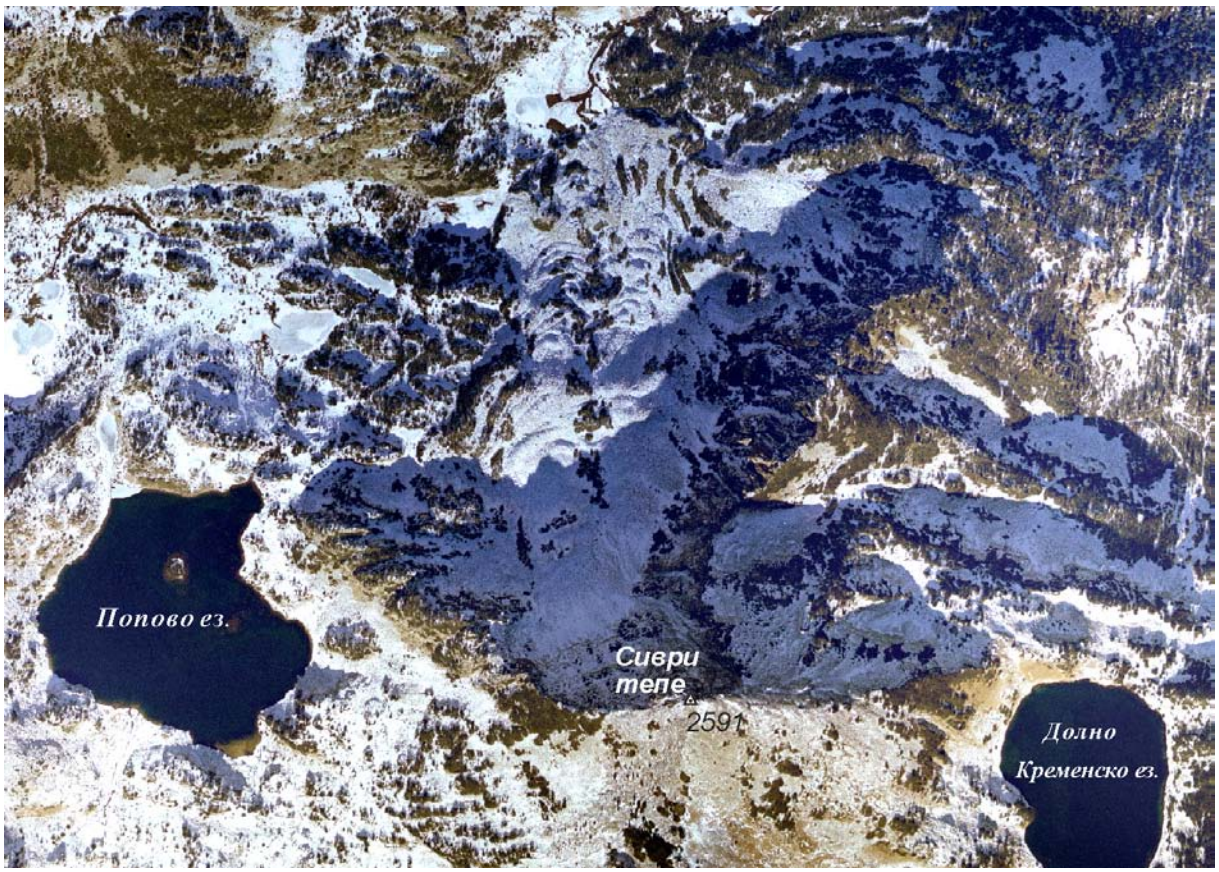

Фиг. 1. Карта на идентифицираните реликтни каменни ледници в Пирин планина. Характеристиките на всеки обект са представени със същите номера в таблица 1

Фиг. 2. Реликтният каменен ледник (№18), разположен в северното подножие на в. Бъндеришки чукар, изобразен на аероснимка от 2010 г. Повърхността е лишена от растителност и по нея личат валове и бразди

добре развити, отличават се с издължена форма и заемат дъната на четири съседни циркуса разположени между върховете Пирин и Даутов*. Най-значителни размери има този, намиращ се в циркуса северозападно от в.Плешки (№2). Той е втори по дължина и трети по площ в планината. В югоизточна посока следващият реликтен каменен ледник се намира в циркуса Разложки суходол (№5). Той е единственият идентифициран каменен ледник, частично попадащ в мраморната част на планината, като е развит на границата между карбонатните и силикатните скали. От циркуса на Разложки суходол до Влахинския циркус в пределите на мраморната част на главното било няма идентифицирани реликтни каменни ледници. Те се появяват на юг от вр. Вихрен, където скалната основа отново е силикатна. От тук до вр. Хлевен на юг се намира основната част от реликтните каменни ледници на Пирин, като концентрацията им е висока и в много от циркусите се наблюдават повече от един.

По западния ограден склон на Влахинския циркус е формиран характерен сравнително къс и широк каменен ледник (№6), който завършва в подножието на склона, опирайки до едно от долните Влахински езера. Той е един от малкото с източна експозиция. В съседния водосбор на р. Георгийца се намира група от пет неголеми каменни ледници (№7-11), като с най-голяма площ и сравнително добре оформена издължена форма е този, запълващ дъното на циркуса северозападно от вр. Георгийца (№7). Особено интересни са два от каменните ледници (№8 и №10), които навлизат в езерните басейни на две от Георгийските езера и преоформат тяхната брегова линия. В басейна на р. Бъндерица бяха установени също пет каменни ледника, като с по-големи размери са тези, разположени в циркусните понижения северно от рида Дончови караули и в. Бъндеришки чукар (№16-18). Формата под в. Бъндеришки чукар (№18) е една от най-големите в планината с площ около 17 ha и гола дълбоко набраздена повърхност (Фиг.2). Вероятни реликтни каменни ледници представляват и скалните материали източно от в. Василашки чукар (№22*) и северно от него до Тодорина порта (№21*). Във Василашкия циркус бяха установени още два каменни ледника, като по-интересен е този, достигащ до бреговете на Тевното Василашко ез. (№23). По източния склон на в. Превалски чукар се намира един от най-дългите каменни ледници в планината (№30). Той има добре оформена езиковидна

* Авторите използват старите имена с турски произход, които официално са променени през 1987 г., но не са се наложили нито сред туристите, нито сред местните жители




Фиг. 3. Реликтният каменен ледник (№43), разположен в Поповоезерния циркус, изобразен на аероснимка от 2006 г. Той има значителни размери и площ от около 28 ha, като по този показател се намира на второ място в Пирин, но е по-голям от най-големият каменен ледник в Рила

форма и достига до дъното на троговата долина на р. Валявица. В подножието на североизточния ограден склон на Валявишкия циркус се наблюдава шлейф от сипейни материали, от които водят началото си два каменни ледника. Първият (№31) е с южно изложение и заема част от дъното на циркуса в съседство с две от по-малките Валявишки езера, а вторият (№32) е със западно изложение.

На юг от главното Пиринско било в циркусите Голямо и Мало Спано поле са развити сравнително големи каменни ледници с дължина над 500 m (№13 и №15). Този, намиращ се в Голямоспанополския циркус (№13) представлява част от голям комплекс, включващ още две други, наподобяващи каменни ледници форми (№12* и №14*). Интересно е, че в понижение в средната му част се намира най-горното Спанополско ез. В северното подножие на рида, отделящ се от в. Превалски чукар в западна посока, се намира къс, развит по ширината на склона каменен ледник (№28). Той представлява удебелена и изпъкнала по посока на наклона част от сипейния шлейф намиращ се в подножието на склона. В Газейския циркус бяха установени два каменни ледника (№33 и №34) и една сходна по външен вид форма (№35*). Малък каменен ледник е формиран в Дисилишкия циркус (№36), като се спуска стръмно по северния склон на в. Голяма Стража и се разделя на два къси езика от скална издатина в средата на циркуса. Подобен раздвоен каменен ледник, но със значително по-големи размери и изразителна гола набраздена повърхност се спуска по североизточния склон на в. Полежан (№40). Той е един от най-високо разположените в планината – приблизително от 2480 до 2600 m н.в. В съседство с него е образуван широк каменен ледник (№39), заемащ основата на западния склон на в. Безбог. В Поповоезерния циркус бяха идентифицирани три каменни ледника. Първите два са с езиковидна форма и източно изложение (№41* и №42). Този спускащ се към Долното Полежанско езеро е разположен върху много стръмен склон и характерните за каменните ледници черти не са добре изразени. Третият се намира на север от в. Сиври тепе (№43) и е втори по големина в Пирин – около 28 ha (Фиг. 3). В Кременския циркус до най-горното езеро се намира малък каменен ледник (№44) с площ около 1 ha. Той се състои от два успоредни дъгообразни вала разделени от дълбока бразда, което го прави лесно отличим върху аероснимките и спътниковите изображения. Подобен малък каменен ледник (№45) с

приблизително кръгли очертания се намира по южния склон на в. Кралев двор. Той заема малка заравнена тераса по склона и е един от малкото с южно изложение в Пирин. С южно изложение са и трите каменни ледници в долината на р. Мозговица (№46-48). Те подобно на други картирани форми не са привързани към определен циркус, а са се подхранвали по време на образуването им от сипейните материали в основата на склона. Четири каменни ледника бяха идентифицирани в басейна на р.Беговица (№49-52). Между тях е най-големият каменен ледник в Пирин (№49) с площ над 30 ha и дължина 1100 m. Той заема дъното на циркуса северозападно от в. Куклите. Формата му е силно издължена и по повърхността му се наблюдават множество надлъжни и напречни ридове покрити с клек придаващ характерен рисунък на аеросателитните изображения. Със значителни размери – над 16 ha е и каменният ледник северно от в. Зъбът (№52), чиято ширина обаче е двойно по-голяма от дължината. Най-южно разположеният каменен ледник, който беше идентифициран (№54) се намира в Корнишкия циркус на север от в. Хлевен.

Табл. 1. Морфометрична характеристика и местоположение на идентифицираните реликтни каменни ледници в Пирин планина (номерата съответстват на тези на картата на фиг. 1)

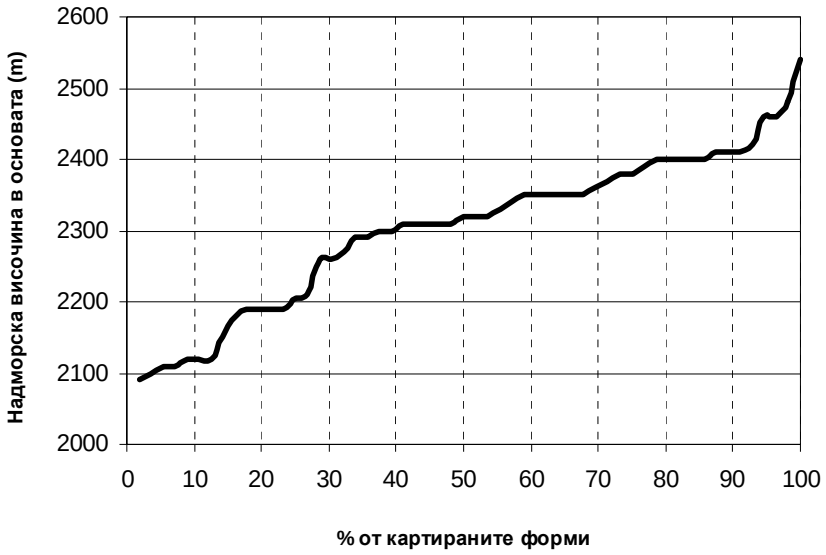
| № | Дължина (m) | Ширина (m) | Площ (ha) | Надморска височина (m) | Изложе-ние | Местоположение |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 680 | 300 | 19,2 | 2110-2240 | N | В циркуса североизточно от в. Пирин |
| 2 | 850 | 450 | 26,6 | 2110-2300 | N | В циркуса северозападно от в. Плешки |
| 3 | 670 | 120 | 7,5 | 2100-2300 | N | В циркуса източно от в. Плешки |
| 4 | 810 | 330 | 20 | 2210-2350 | N | В циркуса западно то в. Даутов |
| 5 | 540 | 270 | 11,1 | 2320-2400 | N | В циркуса Разложки суходол |
| 6 | 280 | 400 | 8,3 | 2300-2400 | E | Във Влахинския циркус |
| 7 | 380 | 160 | 6,9 | 2205-2270 | N | Над петото Георгийско езеро |
| 8 | 220 | 170 | 3,2 | 2300-2400 | N | Над четвъртото Георгийско езеро |
| 9 | 120 | 120 | 1,3 | 2410-2430 | N | В Георгийския циркус |
| 10 | 140 | 260 | 2,5 | 2310-2340 | N | Над третото Георгийско езеро |
| 11 | 120 | 150 | 1,7 | 2360-2390 | N | В Георгийския циркус |
| 12* | 235 | 340 | 4,2 | 2410-2480 | SW | В Голямоспаноплския циркус |
| 13 | 500 | 300 | 7,6 | 2400-2450 | W | В Голямоспаноплския циркус |
| 14* | 310 | 240 | 6,7 | 2350-2420 | NW | В Голямоспаноплския циркус |
| 15 | 530 | 160 | 7,2 | 2310-2420 | SW | На запад от в. Башлийски чукар |
| 16 | 480 | 200 | 5,4 | 2310-2450 | N | Под Дончови караули |
| 17 | 430 | 130 | 5,2 | 2350-2450 | NE | Под Дончови караули |
| 18 | 540 | 490 | 16,7 | 2380-2490 | N | Северно от Бъндеришки чукар |
| 19* | 210 | 150 | 2,9 | 2260-2300 | SW | В основата на югозап. склон на в. Малка Тодорка |
| 20* | 220 | 150 | 2,3 | 2270-2320 | W | В основата на югозап. склон на в. Малка Тодорка |
| 21* | 160 | 430 | 5,4 | 2410-2450 | NE | Северно от в. Василашки чукар |
| 22* | 320 | 85 | 2,3 | 2400-2480 | N | Източно от в. Василашки чукар |
| 23 | 200 | 170 | 2,2 | 2400-2770 | N | До Тевното Василашко ез. |
| 24 | 155 | 180 | 1,8 | 2420-2470 | W | На запад от в. Типиц |
| 25* | 320 | 310 | 8,8 | 2120-2200 | N | На изток от Рибното Василашко ез. |
| 26* | 300 | 100 | 2,6 | 2260-2300 | NE | На 500 m североизточно от в. Типиц |
| 27 | 90 | 175 | 1,2 | 2460-2500 | N | В Типицкия циркус |
| 28 | 240 | 780 | 10 | 2190-2300 | NW | На 1,6 km западно от в. Превалски чукар |
| 29* | 270 | 290 | 4,2 | 2310-2450 | NE | По източния склон на в. Превалски чукар |
| 30 | 800 | 340 | 20,9 | 2150-2400 | NE | По източния склон на в. Превалски чукар |
| 31 | 290 | 240 | 6,6 | 2320-2380 | S | Във Валявшкия циркус по югозап. склон на в. Малък Полежан |
| 32 | 240 | 120 | 2,4 | 2310-2350 | W | Във Валявшкия циркус по югозап. склон на в. Малък Полежан |
| 33 | 190 | 260 | 4,2 | 2400-2480 | N | В Газейския циркус |
| 34 | 440 | 150 | 6,1 | 2400-2500 | N | Северно от в. Газей |
| 35* | 360 | 180 | 5,2 | 2330-2470 | W | Под в. Голям Стража в Газейския циркус |
| 36 | 260 | 170 | 2,8 | 2540-2700 | N | В Дисилишкия циркус |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37* | 180 | 240 | 3,3 | 2290-2320 | N | Северно от вр. Безбог |
| 38 | 160 | 100 | 1,3 | 2350-2400 | NW | До Дисилишкото езеро в Полежанския циркус |
| 39 | 100 | 460 | 4,5 | 2390-2500 | N | На запад от в. Безбог в Полежанския циркус |
| 40 | 270 | 330 | 5,6 | 2480-2600 | N | Под в. Полежан в Полежанския циркус |
| 41* | 390 | 100 | 2,9 | 2460-2580 | E | До Долното Полежанско езеро |
| 42 | 620 | 200 | 10 | 2320-2450 | E | На изток от Дженгалската порта |
| 43 | 800 | 400 | 28,1 | 2120-2350 | N | Под в. Сиври тепе (Поповоезерния циркус) |
| 44 | 100 | 100 | 0,9 | 2370-2420 | N | В Кременския циркус |
| 45 | 160 | 200 | 2,5 | 2380-2430 | S | По южния склон на в. Кралев двор |
| 46 | 430 | 200 | 7,7 | 2190-2250 | S | В долината на Мозговица |
| 47 | 230 | 230 | 4,9 | 2190-2230 | S | Под в. Мозговишки чукар в долината на Мозговица |
| 48 | 520 | 210 | 10,2 | 2090-2200 | SW | Под в. Мозговишки чукар в долината на Мозговица |
| 49 | 1100 | 480 | 30,5 | 2180-2350 | N | На северозапад от в. Куклите |
| 50 | 270 | 90 | 2,7 | 2350-2440 | NW | Над Кукленското ез. |
| 51 | 220 | 230 | 4,4 | 2190-2270 | N | В долината на р.Беговица |
| 52 | 350 | 740 | 16,5 | 2340-2430 | NW | Северно от в. Зъбът |
| 53 | 470 | 120 | 7,1 | 2350-2500 | E | Под в. Яловарника |
| 54 | 460 | 200 | 7,9 | 2350-2470 | E | Северно от в. .Хлевен |
| 55* | 320 | 230 | 7,5 | 2120-2240 | E | Източно от Брезнишки рид |

* необходимо да се доуточнят

**Обобщения**

Общата площ на картираните форми е 411,7 ha, а ако се изключат тези за които има съмнение, че са каменни ледници – 353,4 ha. Тридесет и шест от картираните форми имат изложение със северна компонента; от тях със северно изложение са 26, а със североизточно и северозападно по пет. Източно изложение имат шест от формите, а западно пет. Осем форми имат южно или югозападно изложение. От фигура 4 се вижда, че около една четвърт от картираните форми достигат в долния си край надморска височина по-малка от 2200 m. По-голямата част (60%) са развити изцяло над 2300 m н.в. При 64% от картираните форми дължината е по-голяма от ширината. Останалите са с ширина по-малка или равна на дължината.




Фиг. 4. Кумулативно процентно разпределение на картографираните форми по надморска височина на долния им край

**Заключение**

Настоящото проучване на реликтните каменни ледници в Пирин показва, че те са обичайна, често срещана палео криогенна форма в пояса над 2100 m н.в. В много от циркусите те доминират и оформят облика на ландшафтите. Изглежда процесите, свързани с образуването им са играели водеща роля в моделирането на релефа във високите части на планината след края на Вюрмското заледяване. Интересно е, че тези процеси са били много по-активни в Пирин в сравнение с Рила. За това може да се съди по почти двойно по-големия брой на установените в Пирин каменни ледници. Освен това тук те имат по-големи размери и заемат по-голяма общата площ. Дори да се изключат формите, за които има някакво съмнение, общата площ (353 ha) е двойно по-голяма от площта на тези форми в Рила планина, където тя е приблизително 153 ha [1].

Освен като сумарна площ реликтните каменни ледници в Пирин планина превъзхождат тези в Рила планина и като индивидуални размери. Площта (30,5 ha) на най-големия реликтен каменен ледник в Пирин, намиращ се под вр. Куклите, е с една трета по-голяма от тази на най-големия каменен ледник в Рила – този под вр. Мечит (20,6 ha). В Пирин има още 3 реликтни каменни ледници с по-голяма площ от неговата. Още по-голяма е разликата по отношение на броя на идентифицирането обекти с площ над 10 ha – в Пирин те са 12, докато в Рила само 3.

Ако се направи анализ на разположението на реликтните каменни ледници в Пирин според скалния състав се вижда, че те са развити изключително в тези дялове на планината, изградени от силикатни скали. Единственият, който се намира в близост до мраморната част на Пирин е този, разположен под в. Разложки суходол, но всъщност той се намира на контакта между мраморите и гнайсите шистите. Очевидно разпространението на каменните ледници в Пирин е тясно свързано с типа на скалната основа, като факторите препятстващи образуването им в мраморната част изискват допълнителни изследвания за изясняване на условията за подхранване със скален материал, влиянието на карстовите процеси и др.

**Литература:**


1. Гиков, А., П. Димитров. 2010. Идентификация и картографиране на реликтните каменни ледници в Рила планина чрез използване на аерокосмически изображения. В: Сб. Доклади от шеста научна конференция с международно участие “Space, Ecology, Safety – SES 2010” 2-4 ноември 2010 г София. с. 252-259
2. Гловня, М. 1958. Геоморфоложки проучвания в югозападния дял на Рила. *Год на СУ, БГГФ*, т. 51. кн. 3. с. 70-173
3. Гловня, М. 1962. Принос към изучаване на периглациалната морфоскулпура в Рила*. Известия на БГД,* кн. III (XIII). с. 47-55
4. Гловня, М. 1968. Глациален и периглациален релеф в южния дял на Средна Рила. *Год на СУ, ГГФ*, т. 61. кн. 2. с. 37-66
5. Велчев, А. 1999. Глациален и криогенен релеф в част от Мусаленския дял на Рила. Год на СУ, ГГФ, кн. 2, т. 89, с. 7-21
6. Велчев, А., Р. Кендерова. 1994. Някои виждания за плейстоценското и холоценското развитие на долината на р.Мозговица. Год. на СУ , ГГФ, т. 85, кн. 2. с. 29-42
7. Попов, В. 1962. Морфология на циркуса „Големия казан” в Пирин планина. Известия на ГИ БАН, Т. VI, с. 85-99
8. Гловня, М. 1959. Относно периглациалния релеф в България. Известия на БГД, кн. II (XII). с. 15-23
9. Гачев, Е., А. Гиков, И. Гачева, П. Ножаров, М. Попов. 2008. Морфология на дъното на Леденото езеро в Рила и нейната връзка с кватернерната еволюция на релефа. *Проблеми на географията*, 2008, 3–4, с. 97–104.
10. Tonkov, S., Bozilova, E., Possnert, G. and Velcev, A. 2008. A contribution to the postglacial vegetation history of the Rila Mountains: The pollen record of Lake Trilistnika. *Quaternary International*, 190, 58 – 70.
11. Велчев, А., С. Тонков, Е. Божилова. 2011. Палеогеоморфоложко и палеоеколожко развитие на Северозападна Рила през плейстоцена и холоцена. *Проблеми на географията*, 2011, 3–4, с. 35-47
12. Димитров, П., А. Велчев. 2012. Реликтните каменни ледници като морфоложка форма в алпийския пояс на Рила планина. *Год. на СУ. ГГФ*. т. 103. кн.2. География. с. 97-111
13. Perucca, L., Y.E. Angillieri. 2008. A preliminary inventory of periglacial landforms in the Andes of La Rioja and San Juan, Argentina, at about 28°S. Quaternary International, 190: 171–179

**Session 4**

# *Ecology and Risk Management*

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Chief Assistant Lubomira Kraleva

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# АНАЛИЗ НА ПРИРОДНИТЕ БЕДСТВИЯ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 2004-2008 Г.

**Ралица Берберова**

*Нов български университет*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *природни бедствия, статистически данни, България*

***Резюме:*** *Целта на настоящия доклад е да представи анализ на природните бедствия в България въз основа на статистически данни за периода 2004-2008 г.*

# VULNERABILITY TO NATURAL DISASTERS IN BULGARIA

**Ralitza Berberova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Keywords:*** *natural disasters, statistics, Bulgaria*

***Abstract:*** *The purpose of this report is to present an analysis of natural disasters occurred in Bulgaria for the period 2004-2008 on the basis of statistical data.*

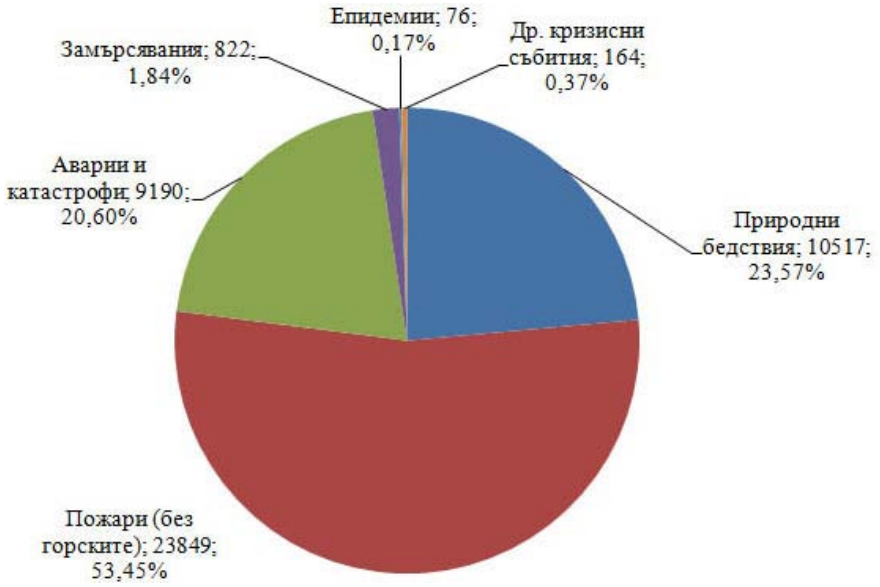
Състоянието на природните бедствия в България е очертано на базата на аналитичен обзор на станали в страната ни такива събития за периода 2004 – 2008 г.

Анализът е изготвен въз основа на статистически данни от официалната интернет страница на Националния статистически институт (НСИ). Данните за горските пожари са взети от Министерство на земеделието и храните.

Таблица 1. Брой кризисни събития по групи за периода 2004 – 2008 г.

| Група кризисно събитие | Вид природно бедствие | Кризисно събитие, бр. |
|---|---|---|
| **Природни бедствия** | Свлачище | 1332 |
| | Земетресение | 58 |
| | Наводнение | 4046 |
| | Горски пожари | 2995 |
| | Вятърна буря | 782 |
| | Градушка | 132 |
| | Снегонавяване | 473 |
| | Заледяване, измръзване | 129 |
| | Друго природно бедствие | 570 |
| | **ОБЩО природни бедствия** | **10517** |
| **Пожари (без горските)** | | **23849** |
| **Аварии и катастрофи** | | **9190** |
| **Замърсявания** | | **822** |
| **Епидемии** | | **76** |

| | | |
|---|---|---|
| **Др. кризисни събития** | | **164** |
| ***ОБЩО*** | | ***44618*** |




Фиг. 1. Относителен дял на кризисните събития по групи за периода 2004 – 2008 г.

От фиг. 1 се вижда, че най-голям относителен дял (53,45 %) от станалите кризисни събития в страната ни за периода 2004 – 2008 г. заемат пожарите (без горските) (23849 бр.). Природните бедствия заемат второ място. Техният брой е 10517 или 23,57 % от станалите в страната ни кризисни събития (44618 бр.), което е близо ¼. 20,6 % заемат авариите и катастрофите (9190 бр.), следвани от замърсявания (822 бр.) и други кризисни събития (240 бр.). Сериозният дял на станалите природни бедствия потвърждава необходимостта от предприемането на мерки за тяхното ограничаване и превенция на населението.

Таблица 2. Брой природни бедствия по области за периода 2004 – 2008 г.

| **Област** | **Брой природни бедствия (без горските пожари)** |
|---|---|
| Благоевград | 204 |
| Бургас | 388 |
| Варна | 235 |
| Велико Търново | 220 |
| Видин | 103 |
| Враца | 414 |
| Габрово | 335 |
| Добрич | 113 |
| Кърджали | 434 |
| Кюстендил | 146 |
| Ловеч | 197 |
| Монтана | 348 |
| Пазарджик | 196 |
| Перник | 215 |
| Плевен | 157 |
| Пловдив | 410 |
| Разград | 208 |
| Русе | 270 |
| Силистра | 223 |
| Сливен | 125 |

| | |
|---|---|
| Смолян | 543 |
| София | 565 |
| София - град | 177 |
| Стара Загора | 342 |
| Търговище | 237 |
| Хасково | 67 |
| Шумен | 346 |
| Ямбол | 304 |

Фиг. 2. Брой природни бедствия по области за периода 2004 – 2008 г.

От табл. 2 и фиг. 2 се вижда, че най-много природни бедствия в периода 2004 – 2008 г. са ставали в областите: София (565 бр.), Смолян (543 бр.), Враца (414 бр.), Кърджали (434 бр.), Пловдив (410 бр.). Следват ги: Бургас (388 бр.), Монтана (348 бр.), Шумен (346 бр.), Стара Загора (342 бр.), Габрово (335 бр.), Ямбол (304 бр.) и др. Сравнително по-малко засегнати са били областите: Ловеч (197 бр.), Пазарджик (196 бр.), София-град (177 бр.), Плевен (157 бр.) и др. Единствената област с по-малко от 100 природни бедствия за тези 5 години е област Хасково (67 бр.).

Таблица 3. Брой горски пожари и опожарени площи по отделните РУГ за периода 2004 – 2008 г.

| **Регионално управление на горите** | **Брой** | **Площ, дка** |
|---|---|---|
| РДГ Берковица | 213 | 86921 |
| РДГ Благоевград | 205 | 16809 |
| РДГ Бургас | 130 | 20539 |
| РДГ Варна | 201 | 9785 |
| РДГ Велико Търново | 124 | 18820 |
| РДГ Кърджали | 299 | 97780 |
| РДГ Кюстендил | 247 | 18650 |
| РДГ Ловеч | 308 | 85340 |
| РДГ Пазарджик | 214 | 22216 |
| РДГ Пловдив | 214 | 15508 |
| РДГ Русе | 79 | 5025 |

| | | |
|---|---|---|
| РДГ Сливен | 112 | 52220 |
| РДГ Стара Загора | 77 | 54983 |
| РДГ Смолян | 122 | 4953 |
| РДГ София | 380 | 40142 |
| РДГ Шумен | 70 | 359 |
| ***ОБЩО*** | ***2995*** | ***550050*** |

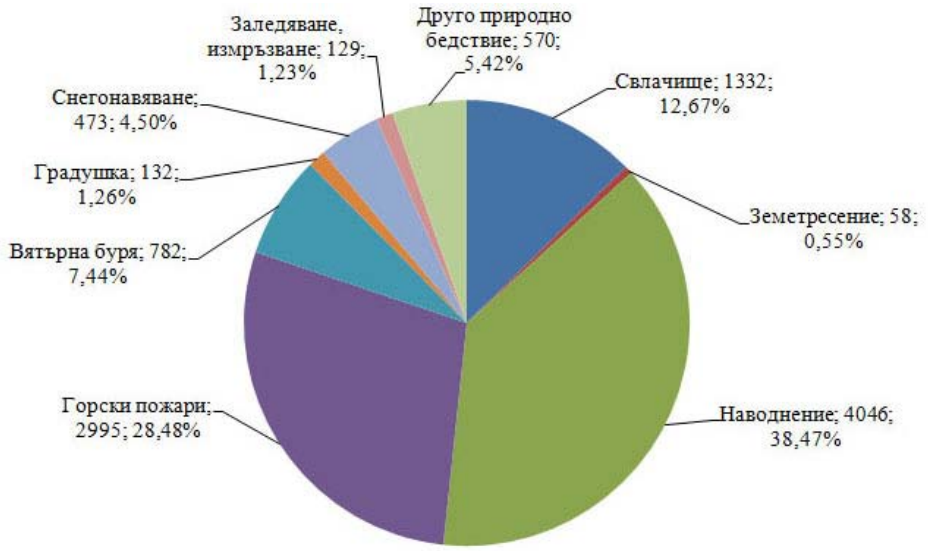
Таблица 4. Брой на причините за станалите горски пожари за периода 2004 – 2008 г.

| **Причина** | **Брой** |
|---|---|
| Неизвестна | 883 |
| Небрежност | 1883 |
| Умишлено | 185 |
| Естествена | 44 |
| ***ОБЩО*** | ***2995*** |

От данните в табл. 3 се вижда, че за периода 2004 – 2008 г. са станали 2 995 броя горски пожари в страната ни, които са опожарили територия на площ 550 050 дка. Най-много пожари са станали в районите на РДГ София (380 бр.), РДГ Ловеч (308 бр.), РДГ Кърджали (299 бр.). Най-малко горски пожари са отчетени в РДГ Русе (79 бр.) и РДГ Шумен (70 бр.). Най-сериозно опожарените територии са в РДГ Кърджали (97780 дка), РДГ Берковица (86921 дка), РДГ Ловеч (85340 дка), следвани от РДГ Стара Загора (54983 дка), РДГ Сливен (52220 дка), РДГ София (40142 дка), РДГ Пазарджик (22216 дка) и РДГ Бургас (20539 дка). Сред опожарените територии на площ между 10 000 - 20 000 дка попадат: РДГ Велико Търново (18820 дка), РДГ Кюстендил (18650 дка), РДГ Благоевград (16809 дка) и РДГ Пловдив (15508 дка). Опожарени площи под 10 000 дка има само в РДГ Варна (9785 дка), РДГ Русе (5025 дка), РДГ Смолян (4953 дка) и РДГ Шумен (359 дка). Забелязва се, че опожарените територии с най-голяма площ се намират в планински райони, което предполага, че огнищата им са труднодостъпни, което е вероятната причина за размера на нанесените щети. Причините за пожарите са представени в табл. 4. Най-голям е броят на горските пожари, причинени по небрежност (1883 бр.), следвани от неустановени причини за тяхната поява (883 бр.). Броят на естествената поява на пожари е най-малък – 44. В групата на умишлените пожари са отнесени 185 броя, което показва негативна тенденция.

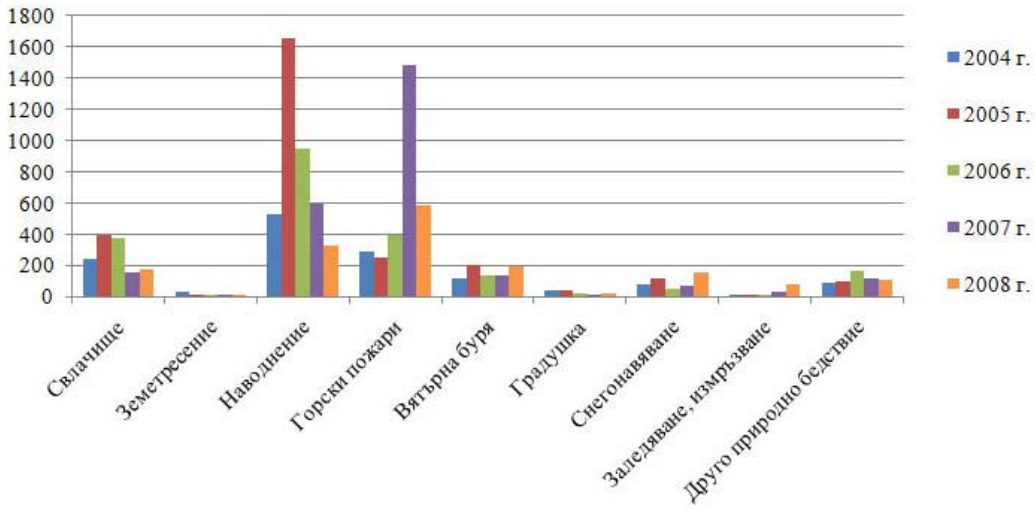
Таблица 5. Брой на прродните бедствия в общините по години по вид бедствие за периода 2004 – 2008 г.

| **Природно бедствие** | **Година** | | | | | **Общо** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *2004 г.* | *2005 г.* | *2006 г.* | *2007 г.* | *2008 г.* | *2004 – 2008 г.* |
| Свлачище | 238 | 392 | 374 | 151 | 177 | **1332** |
| Земетресение | 31 | 9 | 3 | 1 | 14 | **58** |
| Наводнение | 531 | 1657 | 945 | 591 | 322 | **4046** |
| Горски пожари | 291 | 251 | 392 | 1479 | 582 | **2995** |
| Вятърна буря | 115 | 204 | 136 | 137 | 190 | **782** |
| Градушка | 40 | 45 | 17 | 13 | 17 | **132** |
| Снегонавяване | 82 | 121 | 49 | 68 | 153 | **473** |
| Заледяване, измръзване | 1 | 15 | 8 | 28 | 77 | **129** |
| Друго природно бедствие | 90 | 100 | 162 | 114 | 104 | **570** |
| **ОБЩО** | **1419** | **2794** | **2086** | **2582** | **1636** | ***10517*** |




Фиг. 3. Относителен дял на природните бедствия в общините по години по вид бедствие за периода 2004 – 2008 г.

В разглеждания период най-сериозен дял от природни бедствия, засегнали общините в България, заемат: наводненията (38,47 %), горските пожари (28,48 %) и свлачищата (12,67 %), които са последвани от вятърните бури (7,44 %), други природни бедствия (5,42 %) и снегонавяванията (4,5 %). Относително малък дял заемат: градушките (1,26), заледяванията и измръзванията (1,23 %) и земетресенията (0,55 %) (фиг. 3).




Фиг. 4. Брой природни бедствия по вид по години, 2004 – 2008 г.

На фиг. 4 са представени броят на станалите природни бедствия в страната за период 2004 – 2008 г. по години.

През 2004 г. общият брой станали природни бедствия е 1419. Наблюдават се най-голям брой наводнения (531 бр.), горски пожари (291 бр.) и свлачища (238 бр.). Вятърните бури в тази година са 115 на брой. Отчетени са 82 снегонавявания, 1 замръзване и 40 градушки. Земетресенията са били 31. Другите природни бедствия са били 90 на брой.

Броят на станалите природни бедствия през следващата година, 2005 г., е 2794 бр., което е значително покачване в сравнение с предходната 2004 г. Отново наводненията са с най-висок брой – 1657, следвани от свлачищата (392 бр.), горските пожари (251 бр.) и вятърните бури (204 бр.). Снегонавяванията през тази година са 121, заледяванията – 15, а градушките са били 45. 9 са отчетените земетресения. Броят на другите природни бедствия е 100.

През 2006 г., сравнено с 2005 г., се наблюдава лек спад в природните бедствия. Общият им брой е 2086. Както през 2004 и 2005 г., така и през 2006 наводненията са с най-висок брой, а именно 945. Горските пожари и свлачищата, подобно на наводненията, при сравнението с

предходните две години са природните бедствия, които са сред трите бедствия с най-голям брой. Регистрирани са 392 горски пожара и 374 свлачища. Вятърните бури са били 136. Съответно 49 снегонавявания и 8 замръзвания. През 2006 г. са отчетени 17 градушки и 3 земетресения. Другите природни бедствия са били 162 на брой.

2582 е броят на станалите природни бедствия в страната ни през 2007 г. Наблюдава се леко покачване в сравнение с предходната 2006 г. Докато през 2004, 2005 и 2006 г. на водещо място по брой природни бедствия, станали в страната ни са наводненията, а на второ място горските пожари, то през 2007 г. горските пожари вземат превес (1479 бр.), следвани от наводненията (591 бр.). Както през предходните три години, така и през тази, свлачищата и вятърните бури заемат трето и четвърто място по най-голям брой станали природни бедствия в България. Броят на свлачищата е бил 151, а на вятърните бури - 137. 68 са регистрираните снегонавявания и 28 са заледяванията. Градушките са били 13 на брой. Отчетено е 1 земетресение. Другите природни бедствия са били 114 на брой.

Броят на станалите природни бедствия през 2008 г. е 1636. Както през 2007 г., така и през 2008 г., най-много са горските пожари (582 бр.), следвани от наводненията (322 бр.), вятърните бури (190 бр.) и свлачищата (177 бр.). От тези данни става видно, че през разглежданите пет години, 2004-2008 г., страната ни е била засягана най-често от едни и същи природни бедствия, а именно наводнения, горски пожари, свлачища и вятърни бури. Отчетените снегонавявания през 2008 г. са били 153 на брой, а заледяванията – 77. 17 градушки и 14 земетресения. 104 са бедствията включени в групата други природни бедствия.

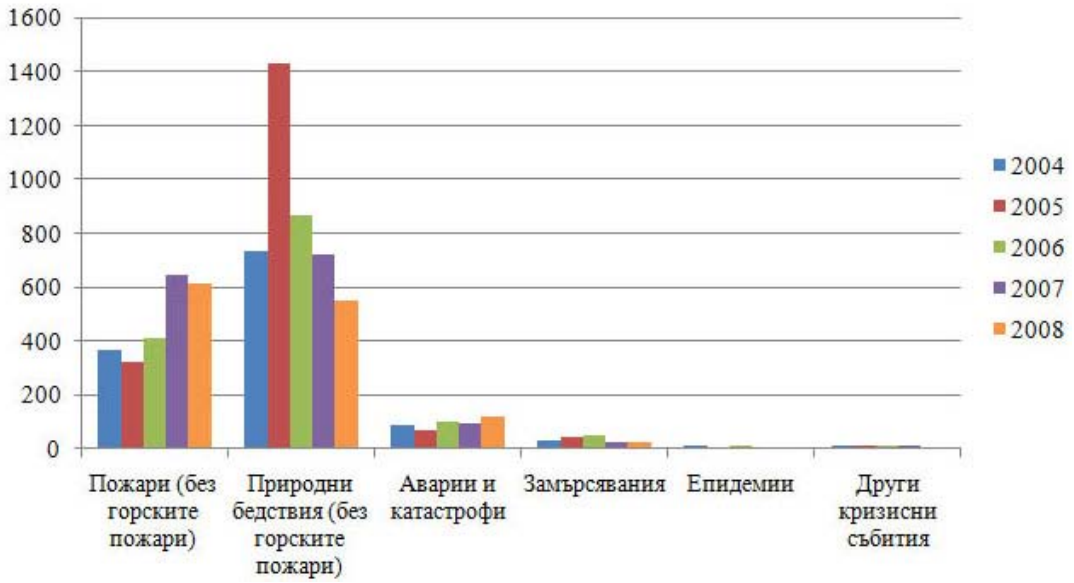
Тук е важно да се отбележи, че освен причинените материални щети от наводненията през 2006 г. като множество залети и унищожени жилищни и промишлени сгради, земеделски земи и селскостопански обекти, инфраструктура и хилядите потърпевши, наводненията се отразиха и върху туризма в страната, който е един от водещите икономически отрасли за България. През юли 2006 г., в пика на туристическия сезон, силен вятър и проливни дъждове заляха Южното Черноморие. В някои от общините бе обявено бедствено положение.

Таблица 6. Засегнати населени места по група кризисно събитие по години за периода 2004 – 2008 г.

| **Група кризисно събитие** | **Засегнати населени места, бр.** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *2004 г.* | *2005 г.* | *2006 г.* | *2007 г.* | *2008 г.* | *2004 – 2008 г.* |
| Пожари (без горски пожари) | 364 | 322 | 412 | 645 | 611 | ***2354*** |
| Природни бедствия (без горски пожари) | 734 | 1427 | 868 | 721 | 548 | ***4298*** |
| Аварии и катастрофи | 88 | 69 | 100 | 94 | 119 | ***470*** |
| Замърсявания | 32 | 44 | 48 | 23 | 22 | ***169*** |
| Епидемии | 12 | 3 | 12 | 8 | 5 | ***40*** |
| Други кризисни събития | 14 | 9 | 11 | 12 | 6 | ***52*** |
| ***ОБЩО*** | ***1244*** | ***1874*** | ***1451*** | ***1503*** | ***1311*** | ***7383*** |

Фиг. 5. Относителен дял на засегнатите населени места по група кризисно събитие за периода 2004 – 2008 г.

Както става видно от фиг. 5 за периода 2004 – 2008 г., най-много населени места са били засегнати от кризисни събития вследствие на природни бедствия (58,21 %), следвани от пожарите (без горски) (31,88 %). Останалите населени места са били засегнати от аварии и катастрофи (6,37 %), замърсявания (2,29 %), и други кризисни събития (1,24 %).

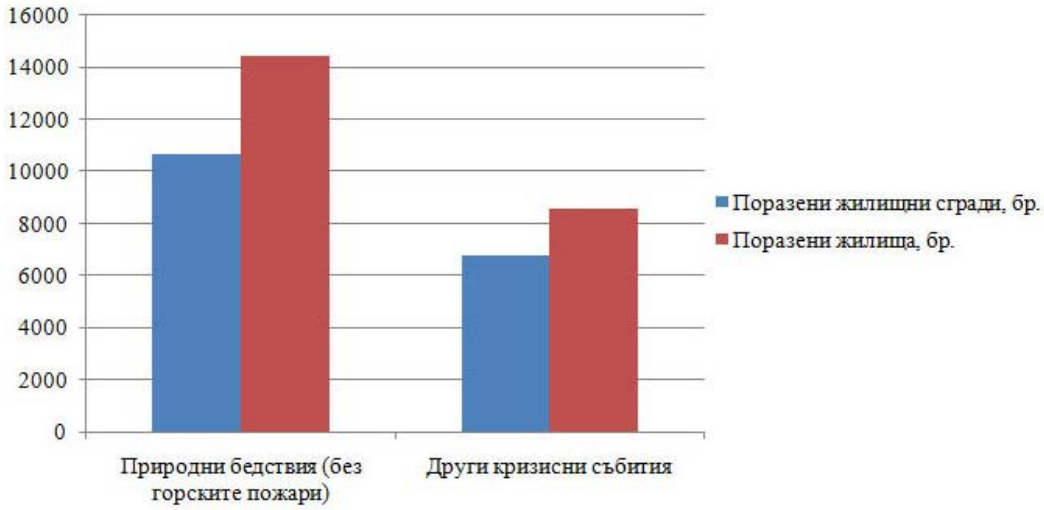



Фиг. 6. Брой на засегнатите населени места по група кризисно събитие и по години за периода 2004 – 2008 г.

Най-много засегнати населени места в периода 2004 – 2008 г. в страната ни са следствие на природните бедствия (фиг. 6). Изключение прави 2008 г., когато пожарите (без горски) са били най-много – 611 на брой. В същото време се забелязва, че, отново през 2008 г., засегнатите населени места от природни бедствия са само с 63 по-малко от пожарите (без горски). Възможно е дори броят на засегнатите населени места през 2008 г. от природни бедствия, да е по-висок, тъй като тук не са включени последиците от горските пожари.

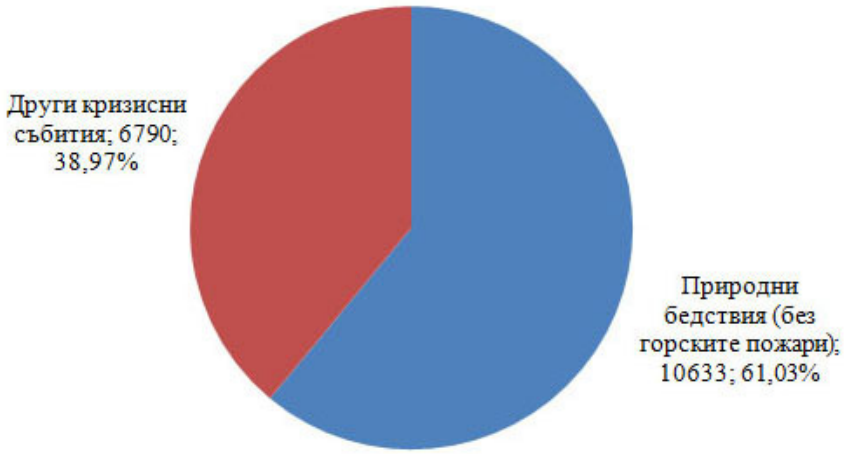
Таблица 7. Брой поразени жилищни сгради и жилища по група кризисно събитие и по години за периода 2004-2008 г.

| Група кризисно събитие | Година | Поразени жилищни сгради, бр. | Поразени жилища, бр. |
|---|---|---|---|
| **Природни бедствия (без горски пожари)** | 2004 | 352 | 1055 |
| | 2005 | 6645 | 9495 |
| | 2006 | 1425 | 1675 |
| | 2007 | 1933 | 1910 |
| | 2008 | 278 | 273 |
| | ***ОБЩО*** | ***10633*** | ***14408*** |
| **Други кризисни събития** | 2004 | 914 | 1294 |
| | 2005 | 883 | 1341 |
| | 2006 | 1388 | 1468 |
| | 2007 | 1804 | 2422 |
| | 2008 | 1801 | 2063 |
| | ***ОБЩО*** | ***6790*** | ***8588*** |

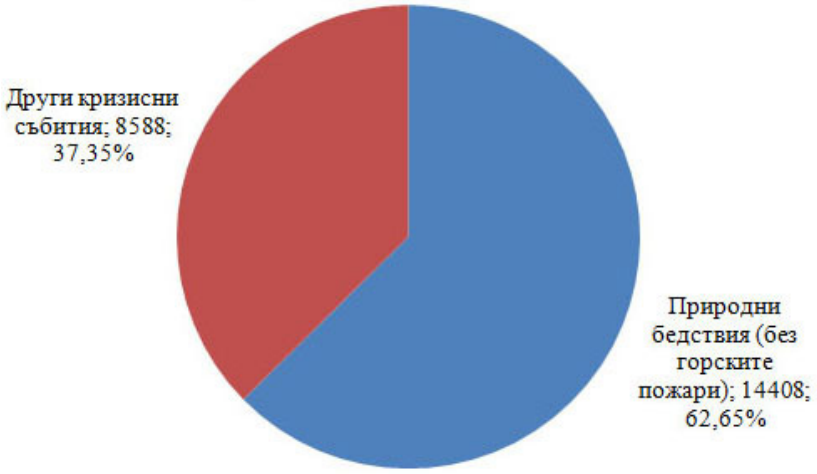



Фиг. 7. Брой на поразените жилищни сгради и жилища по група кризисно събитие за периода 2004-2008 г.

Поразените жилищни сгради и жилища вследствие на кризисни събития в страната ни са представени на фиг. 7. От нея се вижда, че по-големият брой се дължи на кризисните събития вследствие на природните бедствия, засегнали страната ни в разглеждания период.




Фиг. 8. Относителен дял на поразените жилищни сгради по група кризисно събитие за периода 2004 – 2008 г.




Фиг. 9. Относителен дял на поразените жилища по група кризисно събитие за периода 2004 – 2008 г.

От фиг. 8 и 9 става видно, че по-големият брой на поразените жилищни сгради и жилища вследствие на кризисни събития за периода 2004 – 2008 г. е следствие на станали в страната ни природни бедствия. Поразените жилищни сгради от тях са 10633 или в процентно отношение това са 61,03 %. 14408 жилища или 62,65 % от поразените в страната ни жилища са вследствие на кризисно събитие от групата на природните бедствия.

**Заключение**

Най-голям процент от станалите кризисни събития в България за периода 2004 – 2008 г. заемат пожарите (без горските), следвани от природните бедствия, които заемат второ място и представляват близо ¼ от станалите кризисни събития.

В разглеждания период най-сериозен дял от природни бедствия, засегнали общините в България, заемат: наводненията, горските пожари, свлачищата и вятърните бури. Относително малък дял заемат: градушките, снегонавяванията, заледяванията и др. По данните на НСИ земетресенията заемат нищожен дял, но не трябва да се забравя, че страната ни е преживяла сериозни земетресения и по-важното, че територията на България е разположена в един от силно сеизмичните райони на света и е силно уязвима от това природно бедствие.

От теорията и практиката се знае, че природните бедствия не са самостоятелни явления – много често те са обвързани помежду си. Това е видно и от представените данни, където може да се намери взаимовръзка между факта, че на водещи позиции по брой станали бедствия в страната ни са наводненията, свлачищата и вятърните бури. Много често вятърните бури са придружени с интензивни дъждове, което е предпоставка за появата на наводнения, които от своя страна активизират нови или стари свлачища и свлачищни процеси. От своя страна причина за появата на вятърни бури и интензивни валежи може да се търси в глобалните промени в климата и нарастването им в световен мащаб. Промените в климата се обясняват от една страна със замърсяването на атмосферата следствие на антропогенни фактори, а от друга – с естествени процеси като промяна в наклона на земната ос.

Станалите в страната ни пожари в по-честия случай са или от неразумна и неадекватна човешка дейност, или умишлени. Отнесени са към природните бедствия, тъй като щетите, които нанасят на околната среда и икономиката много често са сериозни и необратими и за възстановяването им се изисква дълъг период от време.

От данните става видно, че близо 60 % от населените места са били засегнати от кризисни събития вследствие на природни бедствия. Над 60 % от поразените жилищни сгради и жилища за периода 2004 – 2008 г. е следствие на природни бедствия. Това потвърждава необходимостта от изграждане на адекватни системи за превенция в населените места.

Резултатите от анализа подсказват, че е необходим цялостен управленски подход за природните бедствия, който да отдава съответно внимание на уязвимостта на страната към бедствия, въздействието и обхвата на щетите, взаимовръзките между различните видове бедствия, а също така и въздействието на тези явления върху общественото развитие и икономиката на страната.

**Литература:**

1. Кризисни събития. НСИ. 2004-2008
2. Статистически данни за станали пожари 2004-2008. Министерство на земеделието и храните. Достъп по ЗДОИ

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# УЯЗВИМОСТ НА БЪЛГАРИЯ ОТ ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ

**Ралица Берберова**

*Нов български университет*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *уязвимост от природни бедствия, България*

***Резюме:*** *Целта на доклада е да представи уязвимостта на страната ни и отделни нейни райони от природни бедствия.*

# VULNERABILITY TO NATURAL DISASTERS IN BULGARIA

**Ralitza Berberova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Keywords:*** *vulnerability to natural disasters, Bulgaria*

***Abstract:*** *The purpose of this report is to present the vulnerability to natural disasters in Bulgaria and specific regions.*

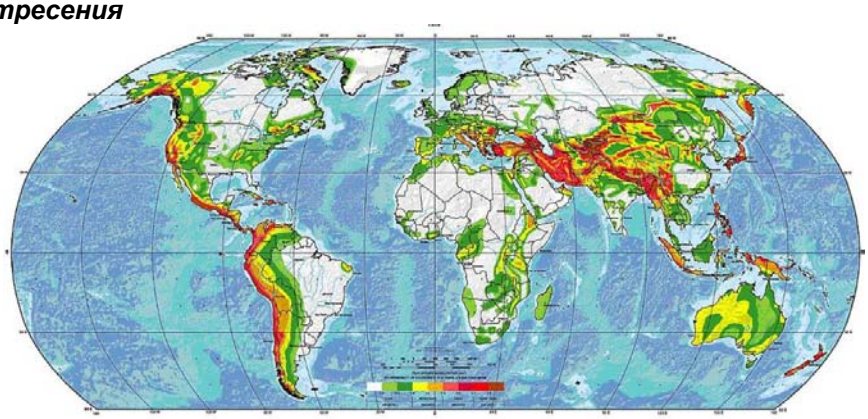
Природните бедствия не засягат равномерно територията на страната ни. Общините понасят различни загуби, което предполага да се направят съответните оценки на риска от появата на природно бедствие за територията на всяка община. Предварителна оценка може да бъде направата на карта за рисковете от природни бедствия. Подобна карта вече съществува, но тя засяга само геоложките опасности на територията на страната ни (фиг. 1). Районирането на страната по рискове е предпоставка за изграждане на единна информационна система за превенция от природни катастрофи.

Таблица 1. Брой природни бедствия по вид за периода 2004 – 2008 г.

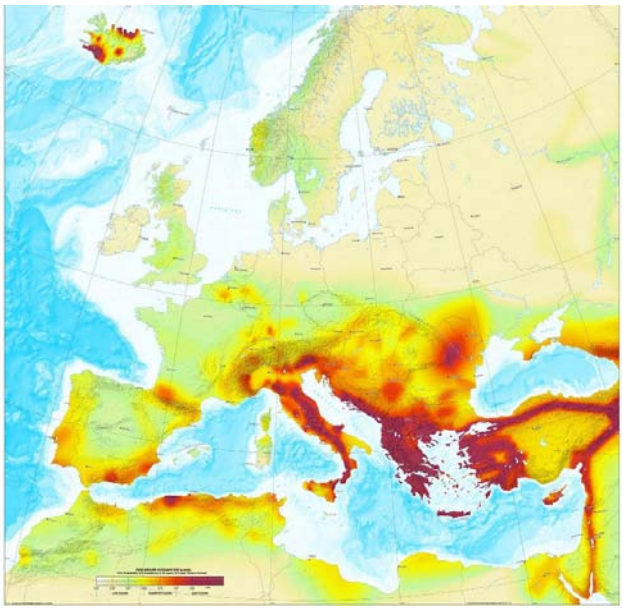
| Вид природно бедствие | Кризисно събитие, бр. |
|---|---|
| Свлачище | 1332 |
| Земетресение | 58 |
| Наводнение | 4046 |
| Горски пожари | 2995 |
| Вятърна буря | 782 |
| Градушка | 132 |
| Снегонавяване | 473 |
| Заледяване, измръзване | 129 |
| Друго природно бедствие | 570 |
| **ОБЩО природни бедствия** | **10517** |

От статистическите данни за станали природни бедствия в страната ни за периода 2004 - 2008 г. (табл. 1), тя е най-уязвима спрямо наводненията, горските пожари, свалищата и вятърните бури. Въпреки ниския дял на станалите земетресения, те са сериозна опасност и риск за страната ни, която попада в една от най-сеизмичните зони по света (фиг. 1).

***Земетресения***



Фиг. 1. Зони с най-висока сеизмчна опасност по света



Фиг. 2. Карта на сеизмичната опасност в Европа

Трусовете на Балканите са най-често с плитки огнища, което силно увеличава ефектите на въздействие върху земната повърхност. В условията на относително висока гъстота на населението и голяма плътност на застрояването този факт означава значителни неблагоприятни последствия даже от сравнително слаби земетресения. Пример за това са трусовете в района на Стражица през 1986 г.

Територията на България е разделена на осем сеизмични зони: Софийска, Струмска, Родопска, Маришка, Горнооряховска, Шабленска, Бургаска и Видинска. Зоните се обединяват в три сеизмични района: Рило-Родопски (Струмска и Родопска), Средногорски (Софийска, Маришка и Бургаска) и Североизточен (Горнооряховска и Шабленска).

Най-сериозен риск има в гъсто населените и промишлените райони на големите градове. Сеизмичното осигуряване на сградите и съоръженията в България е от решаващо значение за редуциране на човешките и материални загуби при земетресение.

Като цяло 98 % от територията на България е уязвима към сеизмично въздействие с интензивност от VII и по-висока степен (фиг. 3). С интензивност от VII степен са 51 % от територията на страната, с VIII степен – 28 %, с IX и по-висока степен – 19 %. В тези райони попадат населени места с население около 6 340 000 души, представляващо 80 % от населението и могат да бъдат разрушени частично или напълно – 26 % от сградния фонд. В райони с интензивност от VIII и IX степени по скалата на MSK-64 попадат около 5 900 000 души, което е 74 % от населението на страната.

Фиг. 3. Карта на сеизмичното райониране на България

В сеизмично активните райони на планетата, включително и в България, земетръсенията, са природни бедствия с най-висок риск. По данни годишният риск за жертви от земетресения се оценява на 2-3 души на един милион жители (10 000 - 15 000 души на година). За България рискът е сравним или малко по-нисък от средния световен. Също така постземетръсни ефекти могат да бъдат свлачища, наводнения, пожари, аварии, епидемии, прекъсване на комуникационни и транспортни връзки и др.

***Наводнения***

Наводненията са често срещани природни бедствия на територията на България. Те нанасят огромни щети, тъй като засягат населени райони, промишлени територии и продуктивни земеделски земи.

В съответствие с научната класификация за този вид бедствия, характерни за територията на страна са следните видове:

- наводнения от речни разливи;
- наводнения от поройни дъждове;
- наводнения от аварии и неправилно управление на хидротехнически съоръжения;
- наводнения, причинени от преднамерени действия.

Към момента се изготвя карта на районите, застрашени от наводнения. Картата ще е основа за съставянето на планове за управление на риска от наводнения. Съгласно Директива 2007/60/ЕО относно оценката и управлението на риска от наводнения, страните-членки трябва да изготвят такива планове до 2015 г. Плановете за управление на риска от наводнения трябва да се актуализират на всеки шест години.

Най-рискови, разбира се, са районите по поречията на големите реки в страната и в близост до язовири (фиг. 4).

Фиг. 4. Карта на заливните зони в България

***Горски пожари***

Пожарите като цяло възникват по различни причини, нанасят значителни икономически щети, сериозни последици за околната среда, а често загиват и хора.

Най-общо пожарите могат да се разделят на няколко групи според отраслите, в които възникват, а именно:

- пожари в жилищни и обществени сгради с масово пребиваване на хора;
- пожари в промишлени обекти;
- пожари в обекти за добиване и съхраняване на нефтопродукти и други химически вещества;
- пожари в обекти на транспорта – летищни комплекси, големи жп възли, тунели и Метрополитен;
- пожари в горски и полски масиви.

Възникването на пожар, в който и да е от изброените отрасли, води до заплаха за живота и здравето на голям брой хора, големи материални щети и замърсяване на околната среда. През последното десетилетие вследствие климатичните промени се проявяват дълготрайни засушавания, възникващи през лятото и есента, които предизвикват и влияят върху масовите полски и горски пожари. Към това може да се добави и отрицателно въздействие на ниската влажност на въздуха и силните ветрове, които допълнително усложняват ситуацията при пожар, като благоприятстват за бързото разпространение на пожара на голяма площ.

Релефните дадености на страната ни са такива, че част от територията е с преобладаващ планинско-горист характер, като особено критични са планинските масиви Странджа-Сакар, Рило-Родопския масив, Средна гора и южните части на Стара планина, където преобладават горски насаждения от първа и втора степен на пожарна опасност и се създават предпоставки за възникване на големи горски пожари. При наличието на множество малки огнища на пожар и при усложнена пожарна обстановка се създават предпоставки за прерастването им в големи пожари, които обхващат значителна територия. Усложняване на обстановката може да настъпи при продължителни засушавания и екстремно високи температури (месец юли, август и септември) или при умишлени или неадекватни човешки действия.

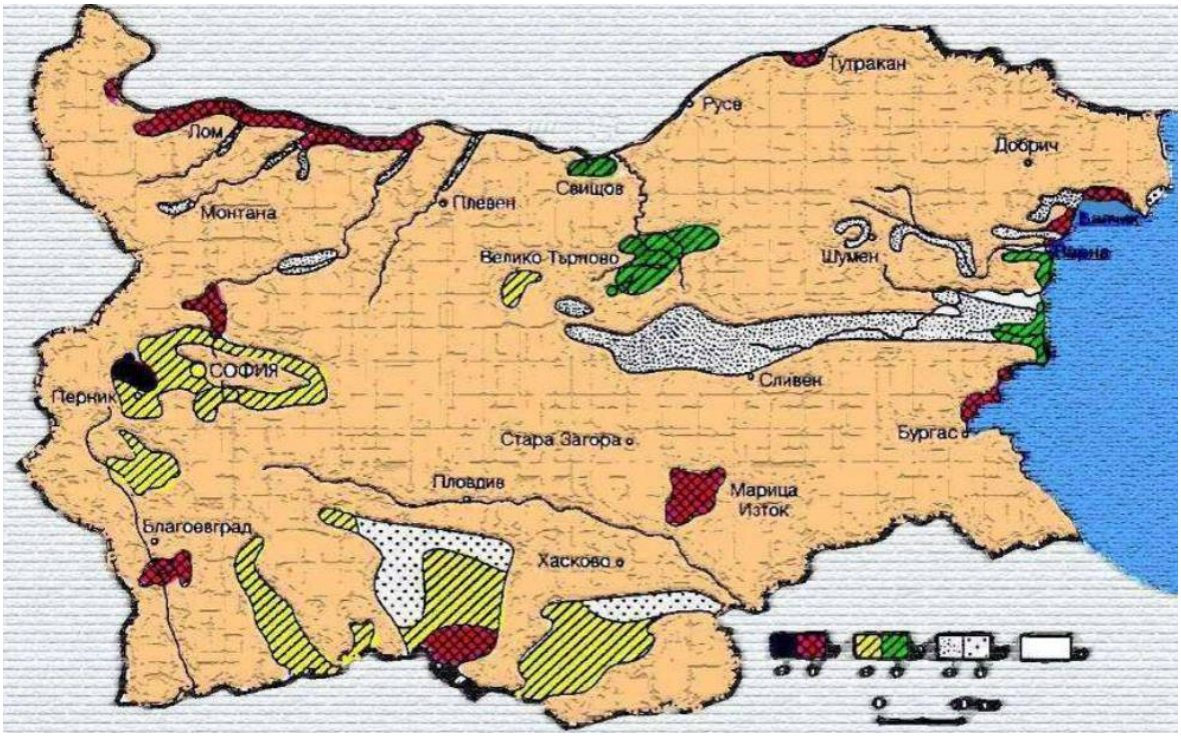
За намаляване щетите от големи пожари извън урбанизираните територии е необходимо изграждане на система за ранно предупреждение, включваща технически и организационни мерки, както и наемане на допълнителен човешки ресурс през летните месеци, когато рискът за възникване на голям пожар е най-висок. От лятото на 2007 г. функционира Център за аерокосмическо наблюдение (ЦАН), който подпомага процесите на откриване, наблюдение, управление и оценка на риска от природни и антропогенни бедствия, в това число и от пожари. Внедрената в ЦАН Географска информационна система ArcGis, необходимите цифрови карти и триизмерен модел на релефа позволяват точното локализиране на пожара. Откриването, локализирането и следнето на динамиката на развитие на горски и полски пожари са приоритет в дейността на ЦАН в пожароопасния за страната период на годината. Чрез комбинирането на разнородни бази данни ЦАН има възможност за изготвяне на оценка на засегнати площи от горски и полски пожари за територията на страната. Към момента има изградена система за мониторинг и ранно оповестяване на пожари на територията на национален парк „Пирин". Предстои изграждането на подобни системи и в други горски масиви на територията на страната ни.

***Свлачища***

Свлачищата са едни от най-значимите катастрофални явления, които се отразяват негативно върху състоянието на околната среда, техническата инфраструктура и имуществото на гражданите. Те се обуславят както от природни фактори (предразположен към свлачищна активност геоложки строеж, интензивна тектоника, земетресения, колебания на нивото на подземните води, ерозия и др.), така и от антропогенни фактори като незаконно строителство в рискови терени, засилващи се урбанизационни процеси на определена територия, незаконна сеч и др.

Свлачищните процеси не са равномерно разпределени по цялата територия на страната. Те са концентрирани в отделни области, характерни със специфичен геоложки и тектонски строеж и са обособени в няколко свлачищни района (фиг. 5):

- *Черноморски свлачищен район* – най-активни са свлачищата по северното крайбрежие и въпреки че в посока юг те намаляват, тяхната степен е по-висока от средната за страната. Предпоставки за възникването им са морската абразия, повишаването на нивата на подземните води в урбанизираните територии, високите валежни вълни и сеизмичните прояви в Шабленската земетръсна зона. Значителна част от тях се активизират периодично вследствие както на природни фактори, така и на антропогенна намеса. Най-висок е процентът на активните свлачища във Варненска област.
- *Дунавски свлачищен район* – свлачищата са привързани към високия дунавски бряг. Речната ерозия е основният фактор за тяхното възникване и периодично активизиране. Областите, разположени по десния бряг на р. Дунав са най-силно засегнати от свлачищни процеси.
- *Предбалкански свлачищен район* – с висока активност е ивицата между Етрополе и Търговище. През последните няколко години с активност се проявяват свлачищата в районите на Троян, Севлиево, Велико Търново, Стражица, Антоново и Търговище. Основен активиращ фактор е повишаването на нивата на подземните води, речната ерозия и техногенните въздействия. Те са със значително по-малък обем от свлачищата по Дунавското и Черноморското крайбрежия.
- *Подбалкански свлачищен район* – районът включва котловинните полета на Златица-Пирдоп, Карлово, Казанлък и Сливен. Подземните води и техногенната дейност са основните причини за появата им.
- *Софийски свлачищен район* – свлачищата са предимно по периферията на котловината (Банкя, Иваняне, Горна Баня, Княжево, Бояна, Драгалевци, Симеоново, Бистрица, Панчарево, Кокаляне, Лозен, Гниляне, Нови Искър, Драговищица, Божурище), но не са рядкост и свлачищата в централната й част (Лозенец, Западен парк, Земляне и Въртопо).
- *Югозападен свлачищен район* – обхваща райони от Пернишка, Кюстендилска и Благоевградска област. Свлачищата са развити по оградните склонове в районите на Перник, Бобов Дол, Благоевград и Симитли.
- *Родопски свлачищен район* – включва проявяващите се свлачища в районите на Смолян, Кричим и Генерал Гешево.




Фиг. 5. Карта на свлачищните райони в България

Към момента има изготвен каталог и карта на свлачищните райони. Министерство на регионалното развитие и благоустройството е разработило Национална програма за укрепване на свлачищата, предпазване на Дунавския и Черноморския бряг от ерозия и абразия и предпазване на техническата инфраструктура и населените места от свлачищни процеси 2007 – 2015 г.

***Вятърни бури***

Вятърът е движение на въздушите маси от места с високо към места с ниско атмосферно налягане. Бурята е метеорологично явление, характеризиращо се със силно раздвижване на атмосферата, което засяга земната повърхност. Тя може да се изяви чрез силен вятър, гръмотевици и светкавици, интензивни валежи или комбинация от тези явления.

Ветровете в страната ни са разнообразни по отношение на тяхната посока, честота и скорост. В Дунавската равнина и Горнотракийската низина като цяло преобладават западните ветрове, в района на Предбалкана и част от задбалканските котловини и билните части на планините - северозападните ветрове, а в източните райони - североизточните ветрове. По долините на реките Струма и Места ветровете се преориентират, следвайки меридионалните посоки на техните долини. Под влияние на орографията се формират и местни ветрове.

Въпреки че през последните години броят на смерчовете в страната ни нараства, те са сравнително рядко срещани явления на територията на България, но последиците от тях са сериозни. От средата на миналия век до момента смерчове със сериозни щети са регистрирани в Софийско, Пловдивдско, Смолянско, Старозагорско, Бургаско, Варненско, Плевенско, Шуменско, Силистренско и др. Последиците са били унищожени горски масиви, разрушени къщи, ранени хора.

Силните ветрове на територията на страната могат да доведат до повреди върху жилищни и нежилищни сгради и съоръжения, както и до прекъсване на електроснабдяване, блокиране на пътища, нарушения на инфраструктура и са заплаха за живота и имуществото на хората. Ураганният вятър, надхвърлящ значително ветровото натоварване при оразмеряването на сгради и обекти, е рядко явление, но въпреки това се случва. Съществува опасност да се получи такова натоварване върху конструкцията, че то да надхвърли проектното и да се разруши или откъсне част от сградата. Това може да доведе до разрушения, а са възможни и човешки жертви.

### *Други природни бедствия*

Освен от представените по-горе природни бедствия страната ни в по-слаба степен е уязвима и към екстремни температури, градушки, заледявания и замръзвания, лавини, гръмотевични бури и др.

### Заключение

Необходима е направата на оценки на риска за появата на природни бедствия в страната ни като част от комплексния управленски подход за борбата с природните бедствия. Тъй като природните бедствия засягат неравномерно територията на България, районирането на страната по рискове е предпоставка за изграждане на единна информационна система за превенция от природни катастрофи.

### Литература:


1. Б е р б е р о в а, Р. Системи за оценка на риска и превенция от земетресения. Сборник с доклади от VII международен научен симпозиум “Екология-устойчиво развитие”. Съюз на учените - Враца, 136-138. 2008.
2. Б е р б е р о в а, Р. Урбанизация, природни бедствия и възможности за превенция. Сборник с доклади от Трета научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2007. БАН, 248-253. 2008.
3. Б р у ч е в, И. Карта на геоложката опасност в България. БАН. 1994.
4. Кризисни събития. НСИ. 2004-2008
5. М а р д и р о с я н, Г. Природните бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Второ допълнено и преработено издание. Проф. Марин Дринов – БАН. 2009.
6. Национален план за защита при бедствия. МВР. 2010, 2011.
7. Статистически данни за станали пожари 2004-2008. Министерство на земеделието и храните. Достъп по ЗДОИ

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ВРЪЗКА НА СПЕКТРАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РАСТИТЕЛНОСТ С УСЛОВИЯ НА ОКОЛНАТА СРЕДА

**Румяна Кънчева, Георги Георгиев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: rumik@abv.bg, ggeorgiev@*stil.bas.bg

# PLANT SPECTRAL REFLECTANCE IN RELATION TO ENVIRONMENTAL CONDITIONS

**Rumiana Kancheva, Georgi Georgiev**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: rumik@abv.bg, ggeorgiev@*stil.bas.bg

***Keywords:*** *plant spectral reflectance, vegetation indices, alfalfa, heavy metal pollution, cadmium, soil properties, phenological stage,*

***Abstract:*** *Experiments have been performed with various species in order to investigate the impact of heavy metal pollution on plant morphology, physiology and productivity, as well as to study the relationships between plant spectral reflectance features and the applied stress factor. Soil properties (organic content and pH) and nitrogen fertilization rates and forms have been regarded as additional environmental conditions. In this paper, only a part of the data analysis results are presented related to the examination of the effects of varying cadmium contamination on the spectral reflectance features of alfalfa. The soil type and plant growth stage have been considers as well.*

## Въведение

Замърсяването на околната среда с токсични вещества представлява сериозен проблем в много отношения и засяга редица глобални въпроси като съхраняване на биологичното разнообразие, поддържане на екологичното равновесие, опазване на природните ресурси и пр. Замърсяването на въздуха, почвите и водите с тежки метали носи предимно антропогенен характер (транспорт, индустрия, изкуствено наторяване) и има не само тежки, но и дълготрайни последствия [1-4]. В земеделието тези последствия се изразяват в снижаване на почвеното плодородие, доибва и екологичното качество на продукцията. В световната и наша литература им се отделя голямо внимание, като провежданите изследвания са насочени както към изучаване на въздействието на тежките метали върху физиологията на растенията, така и към проучвания, свързани с възможността за биоремедиация на замърсени почви [5-9]. Наред с тези въпроси се разработват методи за дистанционна оценка на състоянието и стрес-диагностика на растителни обекти по спектрометрични данни [14-23]. Анализът на спектралните характеристики и техните изменения под въздействие на фактори от околната среда лежи в основата на дистанционния мониторинг.

Първоначалното ни намерение да бъдат представени редица резултати от изследвания, посветени на влиянието на различни условия на отглеждане (почвени свойства, наторяване, варуване, замърсяване) на земеделски култури върху биофизикохимичните им и спектрални характеристики се оказа неизпълнимо в рамките на една работа поради големия обем на серията експерименти и получените данни. Затова в настоящето изложение ще разгледаме само кадмиевото замърсяване като стресов фактор при развитието на люцерна, като ще се спрем основно на влиянието му върху измененията на спектралните отражателни характеристики на растенията. Кадмият е високотоксичен елемент, който лесно се абсорбира от растенията и натрупва в земеделската и животинска продукция, като времето му на полуживот на елиминация е 10-30 години [4,6,10-13]. Това го прави особено опасен като замърсител на околната среда.

**Материали и методи**

Изведен е съдов опит с люцерна (Medicago sativa). Растенията са отглеждани върху два типа почва с различна киселинност: излужен чернозем (pH=7-7.5) и сива горска почва (pH=5-5.5). Като стрес-фактор е използвано замърсяване на почвата с Cd чрез въвеждане на $CdCl_2$.2.5H2O с концентрации на тежкия метал: 0; 10; 20; 30; 40 и 80 mg/kg при чернозема и 0; 5; 10; 20; 30 и 40 mg/kg при сивата горска почва. Експериментът е проведен от засяване на люцерната до втори откос включително. Ежеседмично са извършвани измервания на спектралните отражателни характеристики на растенията с 43 канален спектрометър в диапазона (400-820) nm, като са обхванати различните фенологични фази на развитие.

Основна цел на настоящата работа е да изследва връзката между характеристики на спектралната отражателна способност на растенията и различните концентрации на кадмиево замърсяване. Задачата е да се оцени тяхната чувствителност и информативност по отношение на изследвания стресов фактор. Съставна част от задачата е да се установи допълнителното влияние върху тази връзка на почвените свойства (тип и pH реакция), както и влиянието на фенологичната фаза на растенията. По този начин от цялостната, далеч по-обширна схема на експеримента, в случая използваме две групи променливи: - независими и контролирани фактори са нивата на замърсяване с тежкия метал, почвеният тип и фазата на развитие на растенията; - зависими величини са измерваните спектрални коефициенти на отражение $r_\lambda$ и изчисляваните вегетационни индекси VI, които представляват различни преобразувания на спектралните отражателни характеристики и са най-често предпочитани за изследване и мониторинг на растителност във видимия и близкия инфрачервен диапазон.

За да се определят с достатъчна сигурност статистическите оценки на изследваните зависими величини (спектралните признаци) са извършени повторни експерименти за всяка от осъществените комбинации от фактори, което означава при вариране на почвения тип и нивото на стресовия фактор (концентрацията на Cd в почвата). За всеки от тези варианти на опита са изведени по 5 повторения. Извършен е статистически анализ на данните, включващ:

- количествена характеристика на спектралните признаци VI на растенията (т.е. на зависимата променлива) като функция от нивото на действащия стресов фактор и с отчитане на почвения тип и фенофазата. Това включва оценка на случайното разсейване на спектралните признаци (т.е. в рамките на даден вариант при едно и също ниво на фактора), както и оценка на значимостта на вариациите им като функция от различните нива на действащия фактор. Статистическата значимост на тези вариации позволява изводи относно количествената спектрална „различимост" на стресовия фактор (концентрация на тежкия метал). Проверявана е чрез t-критерия на Стюдънт.

- дисперсионен анализ (ANOVA) за определяне на влиянието на отделен фактор или комбинация от фактори, особено подходящ при сравнително неголям брой измервания. Резултатът дава основание да се направи заключение (посредством F-критерия на Фишер) дали даден фактор влияе върху изследваната величина, т.е. извод относно статистическата значимост на това влияние.

- корелационен анализ за установяването на наличие и определянето на силата на връзката (посредством коефициента на корелация) между спектралните признаци и фактора замърсяване (с отчитане на факторите почва и фенофаза).

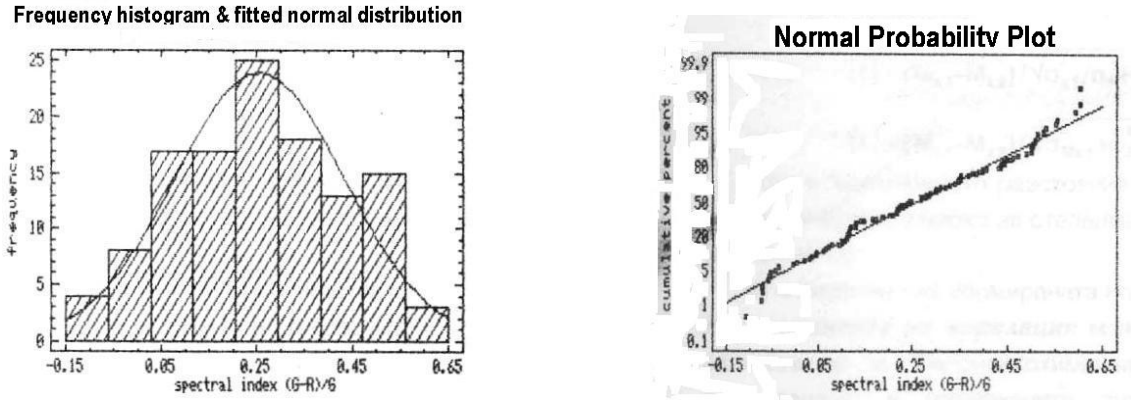
**Резултати и обсъждане**

Най-често прилагани в световната практика при обработката на многоспектрални данни за растителни обекти са различни съчетания на коефициентите на отражение $r_\lambda$ за две или повече дължини на вълните λ (вегетационни индекси). В Табл. 1 са приведени формулите на част от изследваните в проведения експеримент VI.

Таблица 1. Вегетационни индекси

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | $(r_{800}-r_{670})/(r_{800}+r_{670})$ | 7 | $(r_{720}-r_{670})/r_{720}$ |
| 2 | $(r_{550}-r_{670})/(r_{550}+r_{670})$ | 8 | $r_{670}/(r_{800}+r_{550})$ |
| 3 | $r_{710}/r_{670}$ | 9 | $r_{550}/(r_{650}+r_{670})$ |
| 4 | $(r_{800}-r_{670})/r_{800}$ | 10 | $r_{670}/(r_{800}+r_{670}+r_{550})$ |
| 5 | $(r_{550}-r_{670})/r_{550}$ | 11 | $r_{800}/(r_{670}+r_{680}+r_{690}+r_{700}+r_{710}+r_{720})$ |
| 6 | $(r_{720}-r_{700})/r_{720}$ | 12 | $\sqrt{(r_{800}-r_{670})/(r_{800}+r_{670})}+0.5$ |

Начална стъпка от първичната обработка на данните е оценка на разпределението на променливите. Параметричните статистически критерии**,** които се прилагат при количествени величини, изискват предварително да е доказано, че разпределението им е нормално. Затова в повечето случаи е извършена проверка за нормалност на разпределението на VI въпреки ограничения брой на измерванията. Илюстрация е показаният на Фиг. 1 пример за $VI_5$ (опит върху сива горска почва за фаза бутонизация).



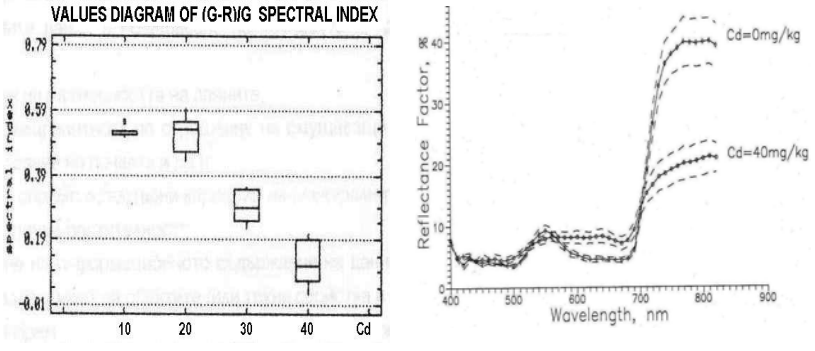

а) б)

Фиг. 1. Честотна хистограма на стойностите на $VI_5$ и апроксимация с нормално разпределение (а); кумулативен процент на вероятността за нормално разпределение (б)

Като показатели за разсейването на зависимите променливи VI в рамките на варианта (т.е. при дадено ниво на замърсяване) са определяни средната стойност, стандартното отклонение и коефициентът на вариация. Проверка на статистическата достоверност на различията между спектрални признаци VI от нивото на стресовия фактор е направена чрез t-критерия на Стюдънт при даден почвен тип и фиксирана фенофаза. В Табл. 2 са дадени стойности на t-критерия, изчислени за $VI_5$. Значимите му стойности (при доверителна вероятност $p<0.05$) означават, че е възможна спектрална разделимост между вариантите с различно замърсяване. Спектрално неразличими в този пример са съседните нива на замърсяване 0 и 5 mg/kg, 5 и 10 mg/kg и 10 и 20 mg/kg. Във всички останали случаи (между концентрации 0 и 10, 20, 30 и 40, между 5 и 20, 30, 40, между 10 и 30, 40, между 20 и 30, 40, между 30 и 40) е възможна количествена оценка на стресовия фактор по избрания спектрален признак. Същите изводи са илюстрирани частично от Фиг. 2а, представляваща диаграма на стойностите на $VI_5$ в зависимост от Cd в почвата. Припокриването в стойностите на спектралния индекс при Cd 10 и 20 mg/kg означава невъзможност за различаване на тези две нива на замърсяване, което не се се наблюдава в останалите случаи. На Фиг. 2б, като нагледен пример за различията в отражателната способност на растенията, са показани измерените спектрални характеристики и доверителните им интервали за контролни и замърсени растения.

| Cd | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|
| **0** | -- | 2.8 | 7.0 | 8.4 | 10.8 |
| **5** | | --- | 3.8 | 5.7 | 8.6 |
| **10** | | | --- | 2.6 | 5.6 |
| **20** | | | | 3.0 | 6.7 |
| **30** | | | | | 3.9 |

Таблица 2. Стойности на t - критерия на Стюдънт за $VI_5$ при различно замърсяване




а) б)

Фиг. 2. Диаграма на стойностите на $VI_5$ при различни нива на замърсяване (а); спектрални отражателни характеристики на контролни и замърсени растения върху сива горска почва (б)

Вегетационните индекси, за които са установени статистически достоверни разлики при различните стойности на стресовия фактор, са подложени на корелационен и дисперсионен анализ, целящ изследване на връзката им с нивото на кадмиево замърсяване. В Табл. 3. са

представени резултати от линейния корелационен анализ на VI с концентрацията на Cd в сивата горска почва. Наблюдава се силна зависимост на спектралните характеристики на растенията от степента на замърсяване, като връзката варира по време на развитието на растенията (A - същински лист, B - розетка, C – бутонизация, D - преди цъфтеж), усилвайки се в по-късните фенологични фази с усилване на токсичното въздействие на тежкия метал. Интересно е да се отбележи, че VI, разположени в спектралната област на червеното отместване (№ 7, 12, 13, 17) се оказват като цяло сред най-силно корелираните с нивото на замърсяване през целия наблюдаван период, а също и при двете почви.

Таблица 3. Коефициенти на корелация между концентрацията на Cd в сива горска почва и VI на люцерна в различни фенологични фази

| $VI_{№}$ | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -0.69 | -0.74 | -0.83 | -0.91 |
| 2 | -0.67 | -0.79 | -0.83 | -0.9 |
| 3 | -0.69 | -0.74 | -0.81 | -0.88 |
| 4 | -0.68 | -0.73 | -0.83 | -0.89 |
| 5 | -0.68 | -0.79 | -0.84 | -0.89 |
| 6 | -0.81 | -0.78 | -0.85 | -0.92 |
| 7 | -0.74 | -0.79 | -0.81 | -0.87 |
| 8 | 0.71 | 0.75 | 0.84 | 0.9 |
| 9 | -0.68 | -0.77 | -0.83 | -0.91 |
| 10 | 0.71 | 0.75 | 0.84 | 0.91 |
| 11 | -0.67 | -0.79 | -0.85 | -0.9 |
| 12 | -0.68 | -0.78 | -0.83 | -0.9 |

Таблица 4. F-отношение на съвместното влияние на Cd и фенофазата върху VI за люцерна върху сива горска почва

| $VI_{№}$ | F |
|---|---|
| 2 | 44.4 |
| 4 | 35.1 |
| 5 | 43.8 |
| 6 | 57.4 |
| 7 | 42.2 |
| 8 | 37.4 |
| 9 | 47.7 |
| 10 | 40.4 |
| 11 | 40.8 |
| 12 | 39.7 |

При опитите върху чернозем корелацията е по-слаба, макар и значима (0.65-0.77). Тук обаче тя е резултат от формирането на два клъстера от стойности на вегетационните индекси за Cd съответно от 0 до 40 mg/kg от една страна и крайно високото замърсяване от 80 mg/kg от друга страна. Това означава, че VI са нечувствителни към всички останали изменения на стресовия фактор, което прави коефициента на корелация (макар и висок) ненадежден показател за силна взаимовръзка на VI и Cd.

Посредством двумерен дисперсионен анализ е изследвано комбинираното влияние върху спектралните характеристики на растенията на два фактора – замърсяването и фенологичната фаза (отделно за двете почви). Доколко съществено е съвместното им влияние се дава от F-критерия на Фишер. Част от резултатите за случая на сива горска почва са показани в Табл. 4. Значимите стойности на F-отношението за случая на чернозем са между 27 и 35.

**Изводи**

Замърсяването с Cd води до статистически значими изменения на спектралните свойства на растенията. Наблюдава се висока корелация между спектралните характеристики и концентрацията на Cd в почвата, като в по-силна степен тя е изразена след началните фази на вегетация. Спектрални индекси, които проявяват тясна връзка със стресовия фактор, могат да бъдат използвани за мониторинг на растителност и стрес-диагностика.

При чернозема влиянието на тежкия метал се проявява слабо, различия в състоянието на растенията се наблюдава единствено при екстремна концентрация на замърсителя, което прави спектралната различимост за останалите концентрации невъзможна.

Най-голяма чувствителност към нивото на замърсяване имат вегетационни индекси с дължини на вълните около 680-730 nm, което се обяснява със зависимостта на спектралното отражение в тази област от пигментното съдържание на растенията и токсичното действие на тежкия метал, изразяващо се в силно инхибиране на хлорофила.

Резултатите от проведеното изследване сочат, че както почвеното замърсяване, така почвените свойства (в случая киселинност и органично съдържание) и фенологичната фаза на развитие са статистически значими причини за изменения в спектрални характеристики на растенията. Това дава основание да се направи положителен извод относно използването на спектрални признаци за оценка на условията на околната среда.

Следващ етап от анализа на получените в хода на експеримента данни е регресионното моделиране на връзките между стресовия фактор, спектралните признаци и биофизикохимични характеристики на растителността, резултати от който са предмет на следващи публикации.

**Литература:**


1. S l a m E j a z u l, Y a n g X i a o, H e Z h e n, M a h m o o d Q a i s a r, Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops, Journal of Zhejiang University Science B, 2007 8(1):1-13.
2. S h a f i q, M. and M. Z. I q b a l. The toxicity effects of heavy metals on germination and seedling growth of Cassia siamea. Lamark. Journal of New Seeds, 2005, 7: 95-105.
3. I q b a l, M. Z. and Y. S h a z i a. Reduction of germination and seedling growth of Leucaena leucocephala caused by lead and cadmium individually and combination. Ekologia (Braslava), 2004, 23(2): 162-168.
4. D u d k a, S. and A d r i a no D. C. Environmental impacts of metal ore mining and processing: A review. J. Environ. Qual. 1997, 26, 590-602
5. V a s s i l e v, A., L y u b k a K o l e v a, Malgozata Berova, Nevena Stoeva, Development of a plant test system for evaluation of the toxicity of metal contaminated soils. I. Sensitivity of plant species to heavy metal stress. Journal of Central European Agriculture Vol 8 (2007) No 2, 135-140
6. T o m o v, A., K. K u z m a n o v a, Exploring possibilities of cultivation unpolluted plant produce in Pb and Cd contaminated sites. ournal of Central European Agriculture Vol 6 (2005) No 2, (121-126
7. K h a n, A. G ., C. K u e k, T. M. C h a u d h r y, C. S. K h o o and W. J. H a y e s, Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation, Chemosphere 21 (2000) 197 -207
8. A l e x a n d e r, A. K a m n e v and D a n i e l v a n d e r L e l i e, Chemical and Biological Parameters as Tools to Evaluate and Improve Heavy Metal Phytoremediation, Bioscience Reports, Vol. 20, No. 4, 2000, 239-258
9. V a l e n t i n a V. U m r a n i a, Bioremediation of toxic heavy metals using acidothermophilic autotrophes Bioresource Technology 97 (2006) 1237–1242
10. A l v a r e z-A y u s o, E.. Cadmium in soil-plant systems: an overview. International Journal of Environment and Pollution, 2008, 33(2-3): 275-291.
11. A n j u m, N.A., S. U m a r, A. A h m a d, M. I q b a l and N.A. K h a n. Ontogenic variation in response of Brassica campestris L. to cadmium toxicity. J. of Plant Interac, 200, 83(3): 189-198.
12. B r e c k l e, S.W. and H. K a h i l e. Effects of toxic heavy metals, Cd, Pb on growth and mineral nutrition of beech (Fagus sylvatica L). Vegetatio, 1992, 101: 43-53.
13. A z m a t, R., Z i l l-e-H u m a, A. H a y a t, T. K h a n u m and R. T a l a t. The inhibition of bean plant metabolism by cadmium metal: Effects of cadmium metal on physiological process of bean plant and Rhizobium species. Pakistan Journal of Biological Sciences, 20058, (3): 401-404
14. B a r e t, F., H o u l è s V., G u é r i f M., Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. J. Exp Bot. 2007; 58(4):869-880
15. C h a e r l e, L., L e i n o n e n I., J o n e s H.G., V a n D e r S t r a e t e n D., Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. J Exp Bot. 2007; 58(4):773-784.
16. J. G. P. W. C l e v e r s, L. K o o l s t r a and E. A. L. S a l a s, Study of heavy metal contamination in river floodplains using the red-edge position in spectroscopic data, Int. J. Remote Sensing, 2004, VOL. 25, , 1–13
17. K o o s l s t r a, L., L e u v e n, R. S. E. W., W e h r e n s, R., N i e n h u i s, P. H., and B u y d e n s, L. M. C., ,A comparison of methods to relate grass reflectance to soil metal contamination. International Journal of Remote Sensing 2003.
18. R e u s e n, L. B e r t e l s, W. D e b r u y n, B. D e r o n d e, D. F r a n s a e r, S. S t e r c k, Species Identification and Stress Detection of Heavy-Metal Contaminated Trees, Proceedings of the US EPA 'Spectral Remote Sensing of Vegetation" conference, March 12-14 2003, Las Vegas, Nevada, http://publications.vgt.vito.be/documents/BD/heavy_metal_vegetation_stress.pdf
19. M a c h e l l e, D. W i l s o n, S u s a n L. U s t i n, and D a v i d M. R o c k e, Classification of Contamination in Salt Marsh Plants Using Hyperspectral Reflectance, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 42, NO. 5, 2004
20. K a n c h e v a, R. B o r i s o v a, D., Plant Spectral Signatures as Growth Stress Indicators, Information and Communication Technologies, Damascus, 2006, 355–360.
21. M e h a n d j i e v, A., S. C h a n k o v a, Y. T o d o r o v a, S. N o v e v a, D. M i s h e v, R. K a n c h e v a, D. B o r i s o v a, R. H r i s t o v a, V. K a p c h i n a. Cytogenetic and spectrometric study on cadmium pollution in peas. Compt. Rend. Acad. bulg. Sci., T.53, No4, pp.39-42, 2000.
22. K a n c h e v a, R., D. B o r i s o v a, V. K a p c h i n a-T o t e v a, S. C h a n k o v a, N. N a i d e n o v a. Effects of Cadmium Pollution in Pisum sativum Depending on the Growing Conditions. Compt. Rend. Acad. bulg. Sci., T.54, No5, pp.21-26, 2001.
23. K a n c h ev a, R., D. B o r i s o v a. Plant Physiological Stress Detected by Spectral Features. "Contemporary Problems of Solar-Terrestrial Influences", ISBN 654-91424-1-8, pp.174-177, 2003.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# UVC RADIATION ON THE EARTH SURFACE AND WILDFIRES DETECTION

**Georgi Georgiev, Rumiana Kancheva**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: ggeorgie@stil.bas.bg; rumik@abv.bg*

***Keywords:*** *wildfire, detection, UVC, uvtron*

***Abstract:*** *An optical detection method for detecting wildfires at long distances is preferable so that the detector does not have to rely on smoke, heat or other indicators of fire. While fires emit light in the visible spectrum, most of the emitted radiation is in the infrared portion of the electromagnetic spectrum. Consequently, many fire detection systems rely on the detection of infrared radiation. However, various other warm or hot objects, such as the sun or its reflections, also emit large quantities of infrared radiation. Therefore, the infrared radiation sources must be distinguished spatially, and an array-type detector with an imaging and/or scanning system is often used for this purpose. Since the signal processing for such an array-type infrared detector is complex, these systems are generally expensive. Furthermore, these infrared detection systems are ineffective in detecting electrical arcs, which have low infrared emissions. Also, although some bands of the infrared spectrum (such as the 2.7 µm, 4.3 µm and 6.5 µm bands) are "solar blind" to some extent because the atmosphere blocks sunlight at those wavelengths and thereby prevents these solar wavelengths from reaching the ground, the usefulness of these infrared detectors in long-distance wildfire detection is limited since the atmosphere also blocks these wavelengths when they are emitted by a fire.*

## Introduction

As more residences are built in forested parts of a country, the danger of wildfire becomes ever more ominous due to the number of lives and properties that are at risk. Particularly in dry or windy times and locations, a wildfire can double in size every few minutes. Without early detection, such a fire can quickly overwhelm any resources available to fight the fire. Early detection by a homeowner can in many cases ensure notification of the fire department while the fire is still small enough to be stopped or, if necessary, an emergency evacuation by the homeowner. However, no homeowner can be constantly on the lookout for wildfires, particularly at night. It is well known that wildfires may grow exponentially in dry weather, steep terrain or in high winds. Due to the exponential growth of wildfires, a wildfire must be attacked early or it quickly grows too large and hazardous for a direct attack.

Early attack of a wildfire depends on early detection. For example, if a one-foot fire doubles its diameter every five minutes, it would take 39 minutes to become a one acre blaze, then quickly blows up to 100 acres in the next 16 minutes. Since fire department response times are typically 20 minutes and such quickly-growing fires cannot be safely attacked beyond approximately two acres in size, the fire must be detected and the fire department notified within the first 20 minutes of the fire or the opportunity to stop the fire will have passed. The doubling time can be much shorter in high wind conditions. High winds are additionally dangerous since they often initiate power line arcing, which may cause the power line to break and fall to the ground, thereby immediate setting light fuels on fire. Therefore, it would be desirable to detect power line arcing, even if a fire has not yet started. Then, fire crews may wet down areas downwind of an arcing wire before a fire has begun.

## Theory of the method

While numerous flame sensors, many of which respond to UVC photons emitted by hydrocarbon flames, are commercially available, these sensors are typically designed to respond to flames within approximately fifty meters. To be useful, however, a wildfire sensor should detect fires at much longer distances, for example, up to a mile away. Also, a wildfire sensor should be capable of detecting small electrical sparks, such as from arcing power lines, which are common precursors to wildfires. Given geometrical considerations, one might logically assume that a sensor which detects a 0.01 meter diameter flame at 5 meters would be capable of detecting a 1.0 meter diameter flame at 500 meters and, by extension, a 10 meter flame at 5000 meters. However, in the case of UVC

detection, atmospheric oxygen absorbs approximately half of the UVC signal every 160 meters, and, additionally, the terrestrial half-power point of UV due to $O_2$ absorption increases dramatically with wavelength (e.g., the half power point is approximately 60 meters for a wavelength of 210 run, 130 meters at 220 nm, 230 meters at 230 nm, 480 meters at 240 nm, 1150 meters at 250 nm, etc.). In other words, over the course of a one mile path for a UVC wavelength of approximately 225nm as an example, 99.9% of the UVC signal is absorbed by the atmosphere (UVC is substantially blocked by stratospheric ozone), thereby leaving just one tenth of one percent for detection. Moreover, currently available UV detectors are limited in usefulness in sunlight because the sun also radiates ultraviolet radiation. Since sunlight contains ultraviolet radiation in the UVC and UVC as well as UVC ranges, a UV detector for detection of weak and/or distant flames or arcs must be able to ignore UVA and UVB radiation while being sensitive to UVC radiation such that the sensor is essentially blind to sunlight but is highly sensitive to both flames and electrical arcs. That is, the sensor must be highly sensitive in a range within the UVC range (particularly from 230 nm to 280 nm which are not absorbed by $O_2$) while exhibiting much lower responsivity at wavelengths, for example, longer than 280 nm that are not absorbed by $O_3$. .

In order for a UV sensor to detect weak and/or distant flame or electrical arc, the sensor must be highly sensitive to a selected range of UVC radiation. However, most UVC radiation is blocked by tropospheric atmosphere, particularly by oxygen. Since there exists significant overlap between the absorption bands of tropospheric oxygen ($O_2$) and stratospheric oxygen ($O_3$), an ideal UV sensor should operate in a spectral region between 240 nm and 270 nm in order to remotely detect the presence of wildfire and/or electrical arc.

Unfortunately, ideal detectors which operate in this limited ultraviolet radiation range are not currently available. While highly effective, absorptive bandpass filters of cobalt glass are available, no such filter is currently available with such exacting specifications. As an alternative, interference filters may be designed to specifically pass only wavelengths between 240 nm and 270 nm, but interference filters are expensive, have limited field of view (i.e., exhibits high angle sensitivity) and generally do not provide sufficient wavelength rejection at wavelengths longer than 280 nm. The angle sensitivity is particularly problematic in fire detection since it is desirable to have one detector to cover a large angular field of view.

Recently, specialized semiconductor photodiodes have been developed under DARPA with the goal of targeting the UVC band of wavelengths which is substantially blocked by stratospheric $O_3$ but is largely transmitted by tropospheric $O_2$. The efforts are generally aimed at purposes of, for example, tracking missiles and other such projectiles. However, the UVB rejection of such photodiodes thus far has been limited to approximately 30 dB. Such values of UVB rejection may suffice for military purposes, but effective detection of distant wildfires and electrical arcs would require that the response to UVB relative to the desired band of UVC radiation should be reduced at least 25 dB at 280 nm, 45 dB at 290 nm, 75 dB at 300 nm, 90 dB at 310 nm and 100 dB at 320 nm. Very few detectors can meet such UVB rejection requirements, and still fewer achieve such values of UVB radiation rejection over a hemispherical field of view. Additionally, since the spectral emissions of various hydrocarbon flames may or may not be adequately similar and the UVC emissions from such flames are largely re-absorbed on passage through the plasmas of the various flames, the UV spectra of various flames may differ [4].

In a conventional "photon counting" mode of operation of a UVC photo-electric avalanche detector, the presence of extraneous noise counts precludes simply increasing the circuit gain in order to compensate for reduced signal levels. As a result, detection of small or distant fires is difficult at best and typically fraught with the problem of unacceptable false alarms.

One type of photo-electric avalanche detector is the Geiger-Mueller detector, which was originally invented in 1928 for detection of gamma rays. Geiger-Mueller detectors (or GM tubes) can and have been adapted for use as UV detectors. These adapted GM tubes employ the photoelectric effect to strongly reject photons whose energies fall below the work function of a photocathode. Like the original GM tubes, these adaptations employ a low pressure gas to achieve avalanche gain in a strong electric field when an incident UV photon of the correct wavelength succeeds in knocking loose an electron from the photocathode. As different photocathode metals exhibit different work functions, different GM tubes may detect different UV wavelengths. For example, nickel ideally rejects any wavelength longer than 247nm; tungsten ideally rejects any wavelength longer than 274 nm; and molybdenum ideally rejects any wavelength longer than 295nm. However, when placed at above absolute zero temperatures and due to crystal structure imperfections, these cut-off wavelength values blur considerably. Furthermore, although GM tubes commonly exhibit a response peak at around 200nm, the presence of atmospheric $O_2$ shifts the peak of the already weak UV signal from a fire toward 250 nm. As a result, the rather unpredictable response of GM tubes to solar UVB radiation around 280 nm becomes critical to maintaining an acceptable signal-to-noise (SNR). For instance, although nickel cathode GM tubes have a much lower response to ultraviolet radiation at 250 nm in

comparison to molybdenum or tungsten based devices, nickel devices may also exhibit a high enough responsivity to solar radiation greater than 280 nm so as to make the SNR of the device intolerable in remote fire detection applications. Poisson or "shot" noise in the signal as well as cosmic ray background noise becomes problematic in the attempt to extract the fire signal from the background noise.

One example of a compact GM tube for use in fire detectors and alarms is UV TRON.RTM. R2868 [1] available from Hamamatsu Corporation. According to the specification provided with the device, the R2868 exhibits a narrow spectral sensitivity in the 185 to 260 nm range with a wide angular sensitivity so as to detect, for example, a cigarette lighter flame at "a distance of more than 5 m" and "corona discharge of high-voltage transmission lines."[1] However, the specification of R2868 lists the background noise characteristic of the device at 10 cpm Max under room illumination and operating conditions. Since the background noise characteristic further worsens in sunlight conditions, this background noise characteristic of R2868 as supplied by the manufacturer is unacceptable in detecting the presence of wildfire and electrical arcs at long distances. Also, the driver/processor circuit available from Hamamatsu for use with R2868 employs a fixed integration period time integration circuit which triggers the generation of an alarm signal when the photon count received at R2868 reaches a user-specified threshold value during a given integration period. In the Hamamatsu driving circuit, if the photon count is even just slightly below the threshold value at the end of any given integration period, then the photon count is reset to zero at the end of the integration period [2]. This time integration method is inadequate for use in the long distance detection of wildfires and flames because the photon count over time may be very low for a long period of time but increase exponentially over a short time period. Since early detection is key in this application, the resetting of the photon count at the end of each integration period may lead to the loss of precious time in detection of far away but significant fire sources.

It should be noted that, since GM tubes exhibit individual variations in spectral responsivity characteristics, a certain percentage of GM tubes may be sufficiently "solar blind" so as to be suitable for the present application of long distance flame detection, particularly when combined with the exponentially decaying time integration method of the present invention. However, it has been found that the average GM tube used in strict accordance with the manufacturer's recommendations will not yield the desired performance in a long distance flame detector for a variety of reasons. Firstly, Applicant has found that the GM tube must subjected to a higher bias voltage than the recommended $V_{max}$ value in order to sufficiently increase its sensitivity to UVC light of 23 0nm to 280 nm, thereby tripling the responsivity of the GM tube to UVC in comparison to its responsivity in this wavelength range at the manufacturer recommended voltage. Secondly, Applicant has found that the plots showing the responsivity peak and the solar spectrum as shown in the manufacturer's specification sheet are misleading because these plots do not take into account the fact that sunlight is much higher in intensity than the UVC radiation emitted by a distant flame. Therefore, although the responsivity plot seems to suggest that the responsivity goes to zero at certain wavelengths, the relative difference in responsivity between the signal wavelength and solar wavelengths must be, for instance, a factor of a billion at 29 5nm and a trillion at 315 nm. The quoted indoor noise specification, as shown in the manufacturer's specification sheet, is 10 cpm. However, in order for the system to function adequately, this noise value must be less than I cpm in sunlight conditions at elevated bias voltage operating conditions, since, when noise counts go up by a factor of ten, sensitivity of the GM tube is driven down by a factor of ten. These differences in desired performance and non-ideal responses can make the difference between timely alerting to the presence of a fire and delaying the emission of an alarm signal until after the flame has grown too large to fight it effectively. Thirdly, detection of remote flames of interest, which may produce just four or five photon counts per minute, requires extremely long integration times to reduce the occurrence of false alarms due to, for example, cosmic rays and signal-shot noise ambiguities. For example the circuit board sold with the Hamamatsu R2868 is designed to trigger an alarm signal when three to nine photon counts are received within a two second interval. It is submitted that this trigger condition is insufficient for the detection of distant flames. On the other hand, the use of the aforedescribed photo-annealing process in combination with the exponentially decaying time integration method of the present invention may raise the yield to nearly 100% and ensure that the GM tube used in the remote wildfire detector system of the present invention will exhibit the appropriate spectral responsivity characteristics necessary to function as an effective device.

It is emphasized that long range flame/electrical arc detection hinges on the recognition by Applicant that the UVC wavelengths around 250 nm (which are emitted by flames from electrical arcs as well as burning vegetation) are transmitted through $O_2$ but not by $O_3$. Since a nickel cathode's responsivity at 250 nm is significantly higher than the responsivity at 280 nm, a GM tube with, for instance, a nickel cathode is recognized to be suitable for long distance flame detection [3].

## Conclusion

Although each of the aforedescribed embodiments have been illustrated with various components having particular respective orientations, it should be understood that the present invention may take on a variety of specific configurations with the various components being located in a wide variety of positions and mutual orientations and still remain within the spirit and scope of the present invention. Furthermore, suitable equivalents may be used in place of or in addition to the various components, the function and use of such substitute or additional components being held to be familiar to those skilled in the art and are therefore regarded as falling within the scope of the present invention. For example, a variety of materials, such as nickel, molybdenum, tungsten and combinations thereof, may be used as a photocathode within the GM tube. Also, a filter may be used in conjunction with the GM tube in order to further block wavelengths shorter than 230 nm. Additionally, "blinders" or shutters may be attached to the detector system of the present invention so as to prevent the detector system from being triggered by nearby, controlled fire sources such as cigarettes or barbecue grills. A hygrometer, such as those based on hygroscopic calcium chloride or magnesium chloride as a resistor in parallel with resistor, may also be added to the flame detection system of the present invention. Such a hygrometer would function to reduce the RC time constant when humidity is high. In this way, the flame sensor would be at maximum sensitivity only when conditions are very dry, thereby reducing the likelihood of an unwanted false alarm resulting from the presence of controlled, non-wildfire UVC sources (such as an arc-welder, bug-zapper, tiki-torch, etc.) at times of high humidity when the urgency of detection is reduced. As another modification, the alarm signal produced by the system may be fed into a phone dialer to automatically notify authorities when the homeowner is not home, for instance. For example, an entire fire district may be covered by an autonomous array of such detectors by networking them to a plurality of fire department officers in order to avoid the possibility of a single-point failure to alert authorities to the presence of a fire.

## References:


1. Hamamatsu, Flame Sensor UV TRON R2868 spec sheet, Mar. 1998, Hamamatsu Specification Sheet.
2. Hamamatsu, UV TRON Driving Circuit C3704 Series spec sheet, Jul. 1997, Hamamatsu Specification Sheet.
3. Jursa, Handbook of Geophysics and the Space Environment, 1985, Air Force Geophysics Laboratory, Air Force Systems Command, United States Air Force, Chapter 22, Atmospheric Emission and Absorption of Ultraviolet Radiation, pp. 22-1 throught 22-7..1. Hamamatsu, Flame Sensor UV TRON R2868 spec sheet, Mar. 1998, Hamamatsu Specification Sheet.
4. US Air Force, Absoption by Atmosphric Gases in UV and Visible, Web Site www/heliosat3.de/e-learning/radiative-transfer/rt/, Sep. 27, 2000, Lecture 9, pp. 1-8.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# ДЛИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Олеся Исайкина[1], Юрий Кукса[2], Игорь Шибаев[3]**

*[1]ГНЦПМ (Государственный научный центр профилактической медицины), Москва, Россия*
*[2]ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк, Россия*
*[3]ИЗМИРАН, Троицк, Россия*
*e-mail: ishib@izmiran.ru*

***Ключевые слова:*** *Систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), частотный спектр*

# LONG MONITORING OF ARTERIAL PRESSURE AND PULSE. COMPARISON OF THE DATA OF MONITORING TO METEOROLOGICAL AND GEOPHYSICAL PARAMETERS

**Olesya Isajkina[1], Yuriy Kuksa[2], Igor Shibaev[3]**

*[1]SRCPM (the State research centre of preventive medicine), Moscow, Russia*
*[2]GEMRC IPE RAS, Troitsk, Russia*
*[3]IZMIRAN, Troitsk, Russia*
*e-mail: ishib@izmiran.ru*

***Keywords:*** *Systolic arterial pressure (SAP), diastolic arterial pressure (DAP), pulse, frequency spectrum*

***Abstract:*** *In the given work long supervision are analyzed Systolic arterial pressure (SAP), Diastolic arterial pressure(DAP) and Pulse: heartbeats per minute (HPM) taken from a diary self-checking of the patient with hypertonic disease, on a background of reception pharmacologic preparations. The pharmacologic preparation was accepted once a day in the morning. Measurements were carried out from 1997 March, 25, till April, 02 2010 ( only 4758 days) twice per day: in the morning, before reception of a preparation, and in the evening. Morning and evening data the SAP, DAP and HPM are analyzed separately and them estimations are compared to results of the analysis of daily data atmospheric pressure (AP). Except for comparison of statistical characteristics of data the spectral harmonic with the period in 7 days is in detail analyzed, typical for evening data and its modulation. In morning data follows to note display "lunar" components with the period~27.35 days. Also comparison of researched data to daily series Wolf's numbers is carried out, in which the harmonic with the period in 26.6 days is obviously allocated.*

## Введение

В данной работе анализируются длительные наблюдения систолического артериального давления (САД), диастолического артериального давления (ДАД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), взятых из дневника самоконтроля пациента с гипертоническим заболеванием, на фоне приема гипотензивных препаратов. Гипотензивный препарат принимался один раз в сутки утром. Измерения проводились с 25 марта 1997 г. по 02 апреля 2010 г. (всего 4758 дня) дважды в сутки : утром, до приема препарата, и вечером. Утренние и вечерние ряды САД, ДАД и ЧСС анализируются отдельно и их оценки сопоставлены с результатами анализа ежедневного ряда атмосферного давления (Н). Кроме сравнения статистических характеристик рядов подробно анализируется спектральная гармоника с периодом в 7 дней, типичная для вечерних рядов, и её модуляция. В утренних рядах следует отметить проявление "лунной" компоненты с периодом ~27.35 дня. Также проведено сопоставление исследуемых рядов с суточными числами Вольфа, в которых явно выделяется

гармоника с периодом в 26.6 суток. Значения САД, ДАД и атмосферного давления фиксировались в миллиметрах ртутного столба, пульс – в количестве ударов в минуту.

**Медицинские аспекты самоконтроля артериального давления (АД)**

Артериальная гипертония (АГ) является широко распространенным заболеванием, которое может быть причиной тяжелых сердечнососудистых осложнений и смертности больных вследствие недостаточного контроля АД. Клиническое определение АД по методу Короткова является основным методом диагностики АГ и оценки эффективности антигипертензивной терапии. Самостоятельный контроль артериального давления (СКАД) дома очень полезен - он позволяет врачу точнее оценить истинный уровень артериального давления и правильно назначить антигипертензивные препараты для длительного лечения пациентов с гипертензией. СКАД важен, потому что дает информацию об уровне артериального давления за длительные отрезки времени, во время которых пациент не посещает врача и находится в привычной для него обстановке. Получено большое количество данных относительно положительного влияния использования СКАД на повышение приверженности больных АГ к лечению, что, в конечном счете, повышает эффективность длительной антигипертензивной терапии. Использование СКАД пациентом дает возможность активного его участия в лечении АГ, формирования мотивации и повышения приверженности к лечению, что является неотъемлемой частью осуществления программ по первичной и вторичной профилактике сердечнососудистых и цереброваскулярных осложнений.

Цель СКАД: определить роль различных факторов на уровень АД и ЧСС у больного АГ при долгосрочном наблюдении с применением метода самоконтроля АД и суточного мониторинга АД. Задачи: 1) изучить роль разных вариантов лечения АГ; 2) оценить влияние различных факторов (физической нагрузки, стрессовых ситуаций) на уровни АД и ЧСС; 3) сопоставить данные СКАД с метеорологическими (атмосферное давление) и геофизическими (Луна) параметрами.

**Общие оценки рядов самоконтроля**

Статистические оценки утренних и вечерних рядов и атмосферного давления представлены в Таблице 1., где приведены среднее, корень из дисперсии, эксцесс (коэффициент Куртосиса **--** kurtosis) и ассиметрия (skewness) для рассматриваемых рядов.

Таблица 1.

| | mean | σ½ | kurtosis | skewness | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 58.21 | 4.63 | 3.89 | 0.57 | утро |
| ЧСС | 62.02 | 6.47 | 3.20 | 0.43 | вечер |
| | 125.95 | 8.59 | 4.52 | 0.62 | утро |
| САД | 123.10 | 10.15 | 3.60 | 0.35 | вечер |
| | 82.12 | 4.91 | 4.15 | 0.68 | утро |
| ДАД | 80.02 | 5.83 | 3.54 | 0.14 | вечер |
| H | 746.23 | 8.30 | 3.56 | **--** 0.158 | |

Для пульса и АД относительный разброс (отношение корня из дисперсии к среднему) находится в диапазоне [6.0 -- 10.4] % , этот параметр у атмосферного давления равен 1.1% . Важно подчеркнуть положительность ассиметрии распределений САД, ДАД и ЧСС в отличии от отрицательной ассиметрии распределения H.

Приведем сравнение утренних и вечерних рядов. Соответствующие коэффициенты корреляции утро-вечер для ЧСС, САД, ДАД равны соответственно 0.34, 0.32, 0.41. Малые значения коэффициентов говорят о значительном влиянии факторов длительностью несколько дней. Из аналогичного анализа рядов среднемесячных значений ЧСС, САД, ДАД получаем следующие коэффициенты корреляции - 0.86, 0.86, 0.84. Ниже рассмотрено сезонное поведения ЧСС. Коэффициент корреляции утро-вечер для него равен 0.89. Можно говорить об устойчивом физическом функционировании организма пациента на временных интервалах в несколько недель и более.

Наглядную оценку САД, ДАД и ЧСС дают гистограммы (Рис.1.). На гистограммы наложены графики нормальных распределений, соответствующие параметрам этих рядов. Видно хорошее соответствие этого распределения с реальными данными, несмотря на различную степень локальной гладкости.

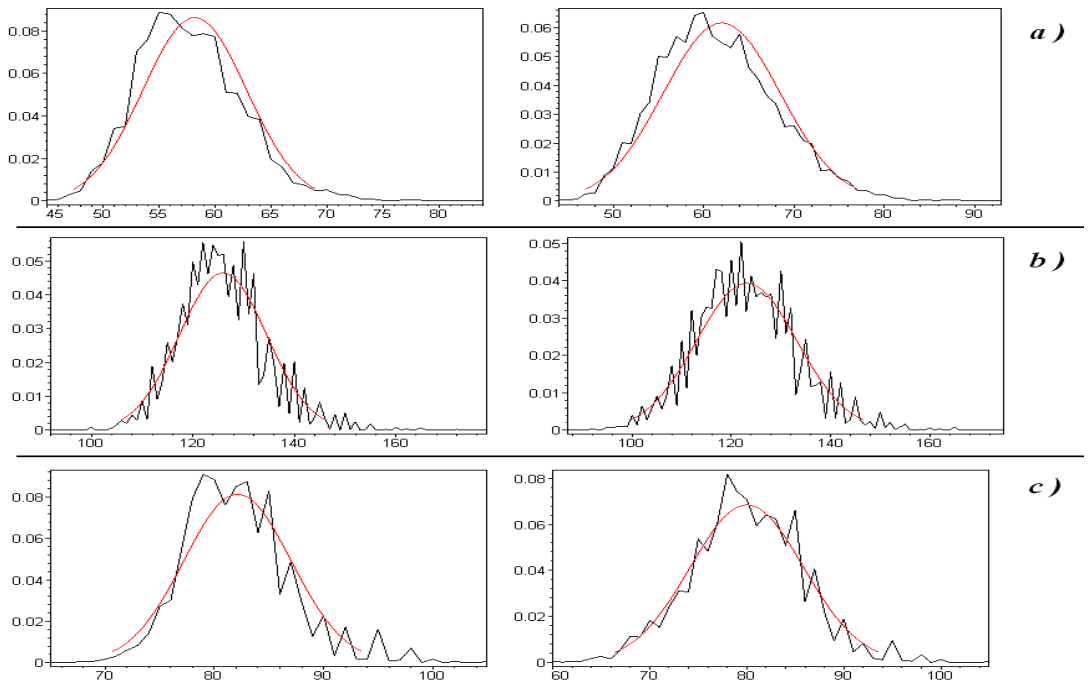



Рис. 1. ГИСТОГРАММЫ : a) ЧСС ; b ) САД ; c ) ДАД. Левая колонка -- утро ; правая колонка -- вечер

**Недельная и полунедельная гармоники**

Существенные отличия в характеристиках утренних и вечерних рядов прослеживаются в различных спектральных компонентах. На Рис. 2. представлена окрестность недельной компоненты и обращает внимание её отсутствие в утренних рядах (Рис.2a,2c - сплошная линия) пульса и ДАД. В вечерних рядах семидневная компонента явно выделяется, а у пульса ещё и модулируется с периодом ~ 3 года (Рис. 2a., прерывистая линия). В целом у недельных компонент вечерние амплитуды превосходят утренние. У полунедельных спектральных компонент ситуация похожая, но отношение утренних и вечерних амплитуд иное (Рис. 3.).

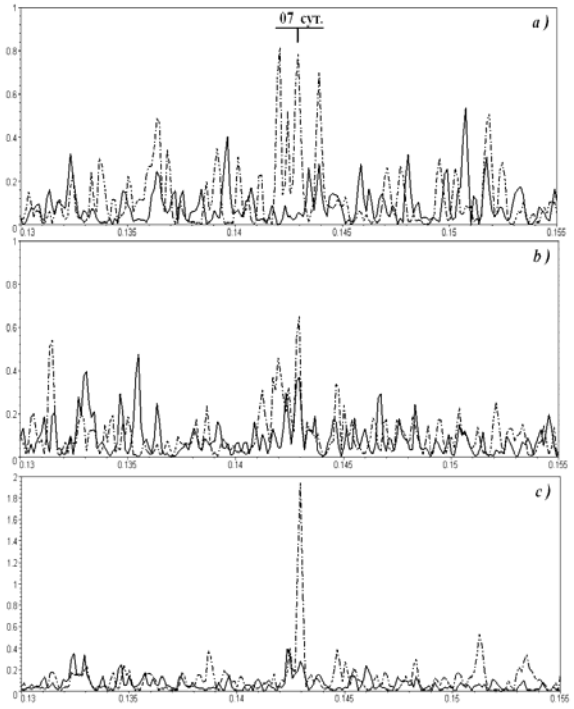



Рис. 2. СПЕКТР, окрестность 7 - дневки. a ) ЧСС ; b ) САД ; c ) ДАД . _____ - утро ; _ _ _ _ _ _ - вечер.

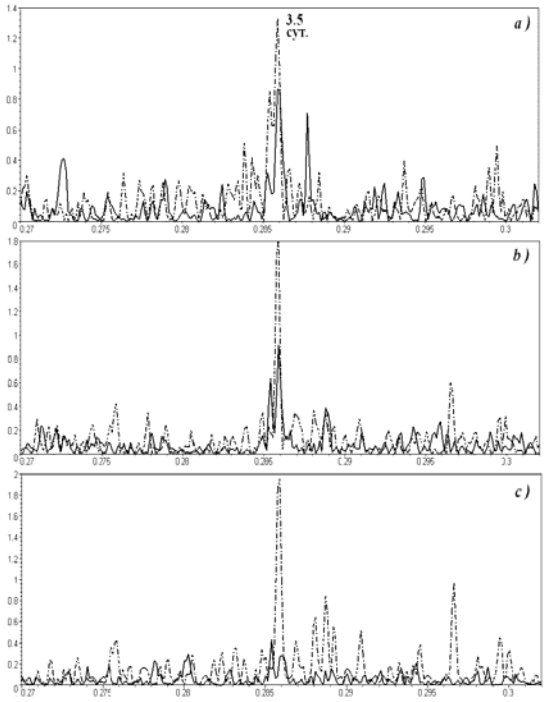



Рис. 3. СПЕКТР, окрестность 3. 5 - дневки. a ) ЧСС ; b ) САД ; c ) ДАД . _____ - утро ; _ _ _ _ _ _ - вечер.

**27-- дневка**

Интересен анализ спектров окрестности 27-дневки для пульса, САД и ДАД (Рис.4a,b,c) и, соответствующее сравнение, с ежедневными числами Вольфа (Рис. 4d). Теперь явно преобладает утренняя компонента пульса с периодом T = 27.35 суток. Основная гармоника чисел Вольфа соответствует периоду в 26.6 суток. К этому следует добавить, что тройной "лунный" период ***3*T = 81.9 суток*** четко выделяется в пульсе и атмосферном давлении (Рис. 5.).

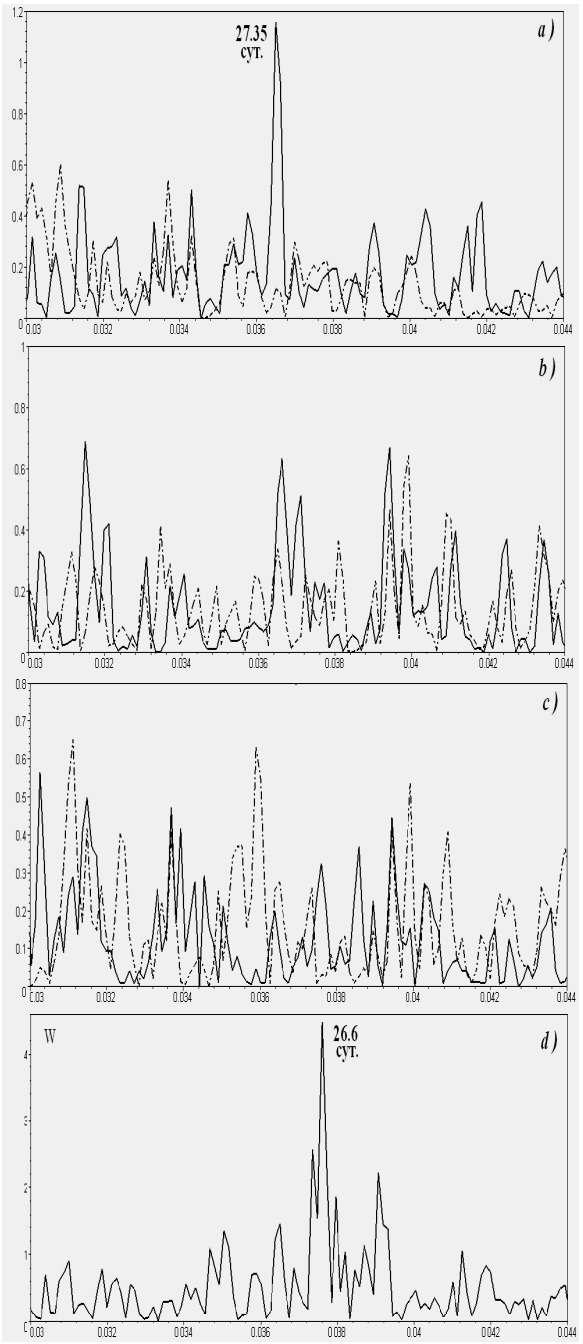



Рис. 4. СПЕКТР, окрестность 27 - дневки.
a ) ЧСС ; b ) САД ; c ) ДАД ; d ) W-daily.
_____- утро ; _ _ _ _ _ _- вечер.

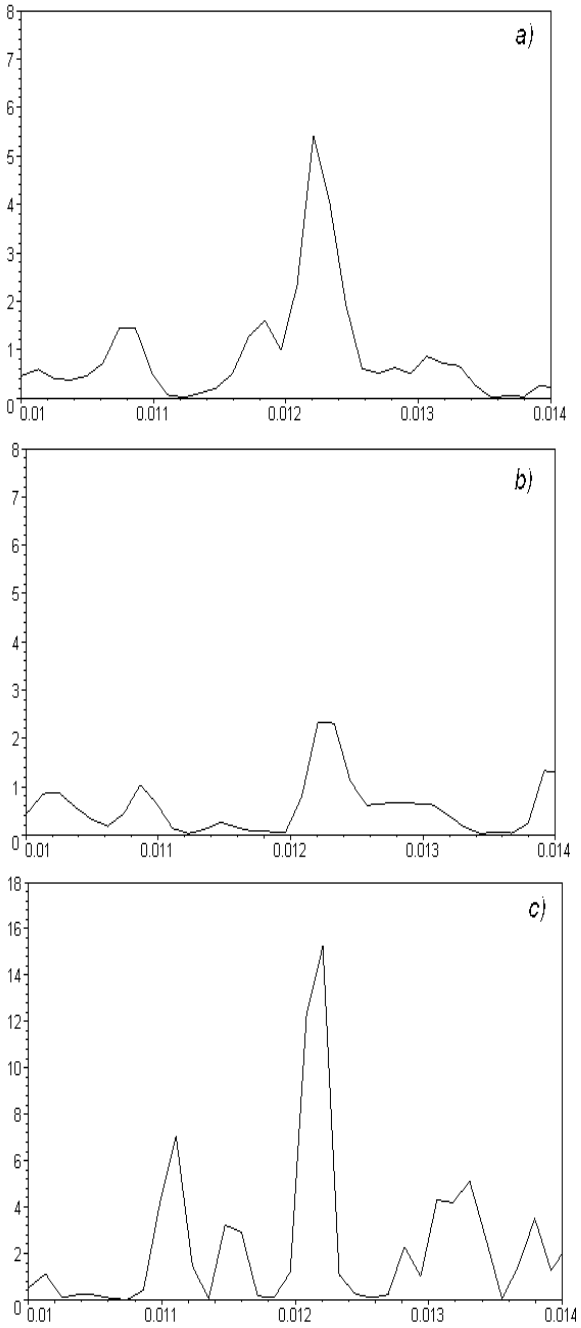



Рис. 5. СПЕКТР, окрестность 81. 9 - дневки.
a ) ЧСС -- утро ; b ) ЧСС -- вечер ; c ) H.

**Среднемесячные характеристики ЧСС и сезонные вариации**

В Таблице 2. приведены среднемесячные значения пульса за весь период наблюдений. Верхние значения, для каждого года и месяца, соответствуют утренним данным, нижние – вечерним. В последней колонке даны средние, утренние и вечерние, за год (жирный курсив).

Таблица 2. Среднемесячные значения ЧСС

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1997 | | | | 54.4 | 59.8 | 58.1 | 63.5 | 62.2 | 62.7 | 63.9 | 60.9 | 59.2 | |
| | | | | 57.6 | 61.9 | 58.8 | 63.2 | 65.4 | 65.1 | 65.1 | 60.6 | 59.9 | |
| 1998 | 56.2 | 57.0 | 55.3 | 56.0 | 59.3 | 57.9 | 57.0 | 58.0 | 57.3 | 53.1 | 52.9 | 55.8 | ***56.3*** |
| | 58.3 | 62.0 | 60.2 | 58.3 | 60.6 | 62.4 | 60.5 | 64.3 | 60.5 | 56.8 | 59.3 | 58.4 | ***60.1*** |
| 1999 | 56.6 | 57.3 | 55.0 | 57.1 | 58.9 | 56.5 | 56.9 | 56.2 | 55.7 | 57.2 | 57.0 | 54.7 | ***56.6*** |
| | 60.2 | 60.1 | 58.6 | 60.4 | 60.5 | 61.0 | 60.0 | 60.6 | 58.7 | 58.7 | 57.7 | 57.5 | ***59.5*** |
| 2000 | 56.4 | 57.1 | 57.2 | 56.8 | 57.8 | 62.2 | 58.9 | 59.6 | 60.4 | 58.3 | 57.4 | 56.4 | ***58.2*** |
| | 60.0 | 61.9 | 57.5 | 60.7 | 61.3 | 65.5 | 63.2 | 63.2 | 63.9 | 60.1 | 59.2 | 58.6 | ***61.3*** |
| 2001 | 56.7 | 57.2 | 58.0 | 59.1 | 58.4 | 57.4 | 56.4 | 60.5 | 57.4 | 57.6 | 59.0 | 58.5 | ***58.0*** |
| | 61.2 | 61.6 | 61.1 | 62.4 | 63.2 | 61.2 | 61.1 | 64.7 | 61.0 | 60.3 | 62.3 | 60.8 | ***61.7*** |
| 2002 | 55.8 | 57.5 | 57.9 | 58.6 | 59.1 | 57.0 | 59.7 | 59.8 | 59.9 | 56.9 | 57.7 | 59.7 | ***58.3*** |
| | 60.0 | 60.3 | 60.7 | 60.2 | 61.0 | 62.2 | 63.0 | 63.4 | 63.4 | 59.0 | 60.3 | 62.2 | ***61.3*** |
| 2003 | 57.7 | 55.9 | 57.5 | 55.9 | 54.1 | 61.2 | 57.0 | 60.8 | 53.4 | 54.1 | 56.2 | 57.7 | ***56.8*** |
| | 60.5 | 60.7 | 59.4 | 57.6 | 56.2 | 58.9 | 54.3 | 62.9 | 55.6 | 57.5 | 57.0 | 58.2 | ***58.2*** |
| 2004 | 56.4 | 56.5 | 55.5 | 56.5 | 56.4 | 57.0 | 55.6 | 56.5 | 58.8 | 54.4 | 53.1 | 53.5 | **55.9** |
| | 59.6 | 58.3 | 56.9 | 59.5 | 59.9 | 60.6 | 59.3 | 63.4 | 62.9 | 57.8 | 56.1 | 57.6 | ***59.3*** |
| 2005 | 53.5 | 51.9 | 53.5 | 53.2 | 57.2 | 57.5 | 57.8 | 55.5 | 57.6 | 56.7 | 57.3 | 56.7 | ***55.7*** |
| | 57.6 | 55.9 | 57.5 | 56.3 | 62.1 | 62.6 | 61.3 | 57.7 | 60.8 | 61.2 | 62.0 | 63.1 | ***59.8*** |
| 2006 | 58.6 | 59.8 | 57.6 | 57.6 | 60.4 | 61.2 | 61.3 | 60.8 | 63.1 | 60.6 | 57.5 | 67.2 | ***60.5*** |
| | 64.8 | 68.9 | 65.3 | 64.3 | 66.3 | 68.0 | 65.5 | 65.1 | 67.0 | 62.7 | 61.0 | 72.1 | ***65.9*** |
| 2007 | 66.6 | 57.0 | 57.5 | 56.9 | 59.0 | 58.8 | 57.9 | 58.9 | 57.4 | 56.0 | 56.6 | 56.1 | ***58.2*** |
| | 70.2 | 63.4 | 61.3 | 60.8 | 65.2 | 64.2 | 61.5 | 63.0 | 61.3 | 60.4 | 61.4 | 59.9 | ***62.7*** |
| 2008 | 57.1 | 56.2 | 54.0 | 57.5 | 61.2 | 63.8 | 65.0 | 64.9 | 63.2 | 63.7 | 62.4 | 63.0 | ***61.0*** |
| | 62.1 | 61.0 | 56.1 | 63.3 | 66.9 | 72.0 | 71.6 | 70.1 | 70.1 | 70.3 | 69.2 | 70.9 | ***67.0*** |
| 2009 | 61.7 | 58.5 | 61.6 | 62.3 | 62.9 | 61.2 | 60.3 | 62.3 | 63.4 | 62.4 | 62.4 | 60.9 | ***61.7*** |
| | 66.4 | 69.1 | 67.1 | 71.1 | 71.6 | 66.9 | 64.0 | 66.2 | 67.3 | 67.9 | 68.4 | 67.2 | ***67.8*** |
| 2010 | 55.4 | 55.5 | 56.8 | | | | | | | | | | |
| | 60.7 | 58.7 | 61.2 | | | | | | | | | | |

У пациента вообще пониженный пульс, что характерно для людей занимающихся спортом. Наименьшие утренние значения пульса в 2004 и 2005 годах связаны с приемом препарата беталок, который имеет свойство накапливаться в организме и понижать пульс. Сезонное (среднее по годам для каждого месяца) поведение ЧСС и корня из дисперсии ЧСС дано на Рис. 6(a,b)., где нижние кривые соответствуют утренним данным. Пониженное значение пульса с ноября по апрель соответствует более спокойному ритму жизни в этот период.

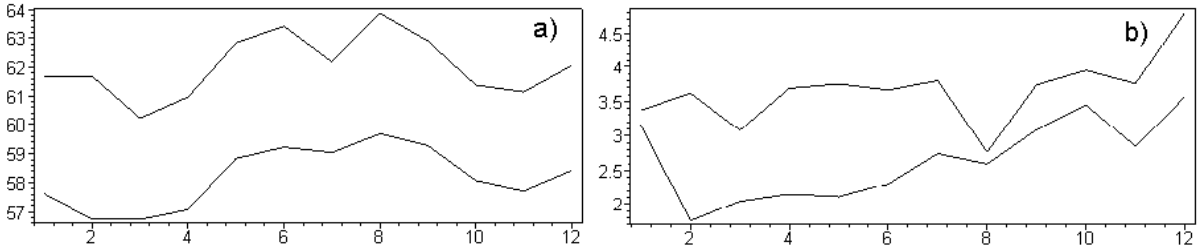



Рис. 6. Сезонное поведение ЧСС (a) и корня из дисперсии ЧСС (b). Верхние кривые – вечерние данные

**Краткие выводы**

У вечерних рядов САД, ДАД и ЧСС и атмосферного давления эксцесс сравним. Ассиметрия утренних рядов может значительно превосходить ассиметрию вечерних массивов. Это все говорит о более устойчивом функционировании организма к вечеру и достаточно быстрой его релаксации от ритмических нагрузок, что подчеркивается отсутствием "недельной" и присутствием "лунной" компонент в утренних рядах. На временных интервалах в несколько недель и более проявляется более устойчивое функционирование организма. Авторы считают разумным провести в дальнейшем подробное сопоставление рядов САД, ДАД и ЧСС не только с фоновыми данными, но и лунными параметрами.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# INVESTIGATION OF THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF WOLF NUMBERS RELIABLE SERIES: SIGNS OF SOLAR CYCLES LIKELIHOOD

**Igor Shibaev, Vitaliy Ishkov**

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation*
*Russian Academia of Sciences*
*e-mail: ishkov@izmiran.ru, ishib@izmiran.ru*

***Abstract:*** *In the course of the study the sunspots relative numbers authentic series and possible includes in the statistics of the reconstructed series individual solar cycles we studied the properties (statistical and observational) of individual 11-year solar cycles. The proximity of the averages for the duration of cycles is revealed, although the scatter is different in almost twice. More clearly this situation would be reflected for the ascending branch durations, both for averages and for dispersions. In depending on the maximum cycle size for the components of a reliable series the negative correlation between the duration of the rising and the value of the cycle maximum is revealed and its complete absence for the decay branch. And, on the contrary, for the restored series significant positive correlation between duration of a descending branch and size of a cycle maximum is manifested. Attempted to create a generalized portrait of an authentic solar cycle in order to obtain evidence-based description of the possible and impossible characteristics of individual solar cycles is made.*

## 1. Introduction

The basic task of solar cycle's studies is the construction of the model of its changeability in the course of time, the development of the basic physical laws of those describing solar activity as a whole and, being based on the obtained results, the forecast of the subsequent solar cycles. For the correct solution of these problems it is necessary to be to confident in the utilized reliable observant material and to know conditions and limits of the applicability the restored series of observations.

At present at our disposal there is

– a reliable (W1) series of average monthly values of the relative number of spots, obtained from the regular observations of several observatories since 1849 (cycles of solar activity 10 – 23);

– the numbered (W2) series of the numbers of Wolf, restored from the interrupted observations from 1749 until 1849 (Fig. 1);

– the restored average annual values of this index since 1700.

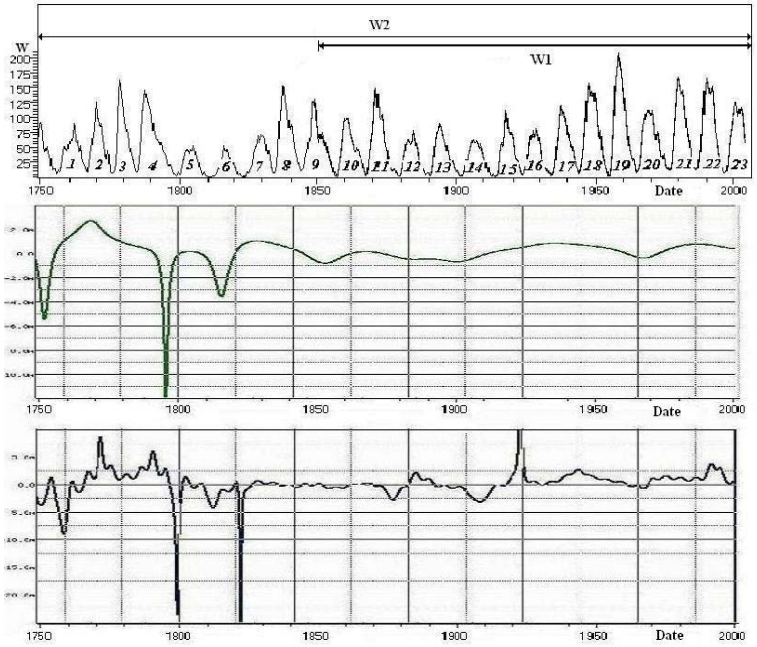



Fig.1. From top to bottom: The numbered (W2) and reliable (W1) series of the sunspots relative numbers; F[P2(W2)] – the trend of "instantaneous" frequency of W2 series component P2; F[P3(W2)] – the trend of "instantaneous" frequency of W2 component P3.

As shown in [1], the reliable and numbered series of the Wolf number have completely different spectral characteristics, and therefore the application of the latter for practical purposes leads to the appearance of artifacts and errors, and it can be used only for the rough estimates.

Reliable series includes complete fourteen cycles (from 10 through 23) and the calculated according to them average duration of the cycle Tav = 129.69 months. The logarithm of the series W1 power spectrum is represented in Fig. 2 (left upper angle), where are noted basic f* = 0.007812 1/month and multiple harmonics. Its fundamental period T* = 1 / f* = 128.0 months. On the basis of the spectrum nature, there is made the partition of signal into five spectral intervals, which correspond to the following temporary periods in the years: P1 [24< T], P2 [6.8< T <24], P3 [4.26< T <6.8], P4 [1.66< T <4.26], P5 [T<1.66]. The overview of the signals (W1=P1+P2+P3+P4+P5) corresponding to them is represented in Fig. 2. The summation of series P1 and P2 reflects the fundamental temporary and amplitude characteristics of solar cycles. The component P3 corrects the branches of the rise and decrease. The component P4 transforms the smooth relief of solar cycles due to "quasi-biennale". There is possible the appearance of local maximums, influence on the position of basic maximum and illegible manifestation of the solar cycle ends. By this means P3 and P4 give to solar cycles more individual nature. P5 – is high-frequency remainder, which includes annual and $155^d$ harmonics. For the analysis of the chosen components it was used to the conversion of Gilbert [2]. The conversion makes it possible to remove uncertainty during the presence of envelope and phase of narrow-band signal, and on the smoothness "instantaneous" frequency to estimate the nature of process.

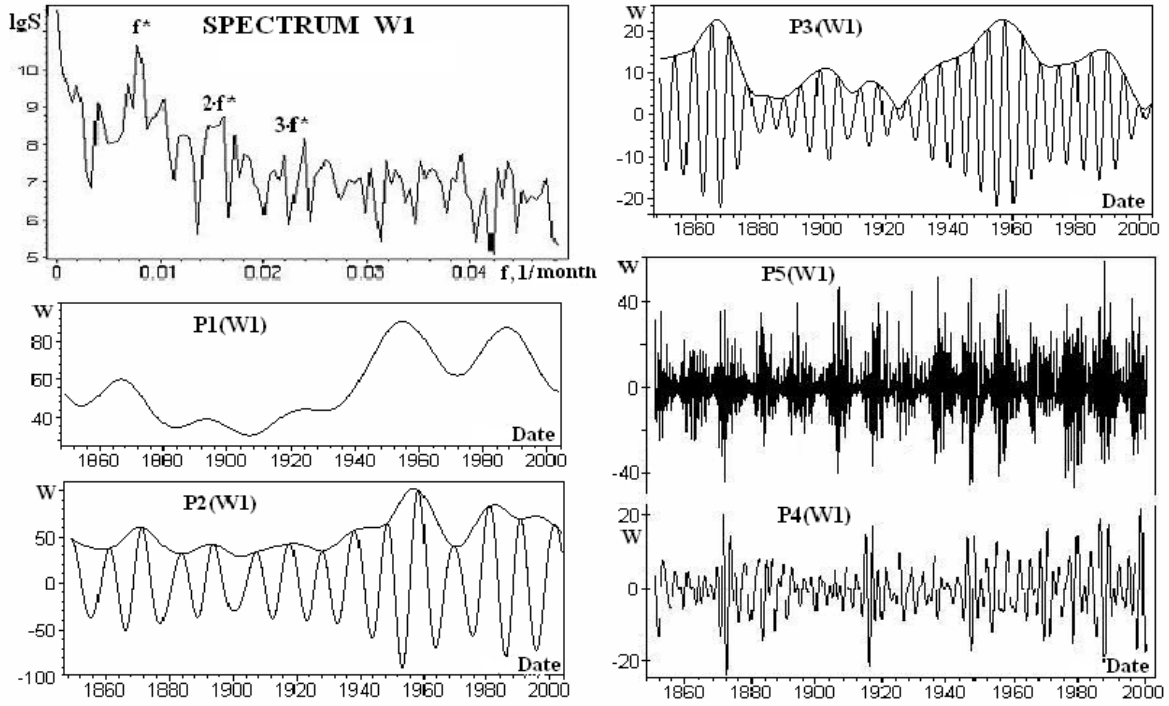



Fig. 2. Logarithm of the power spectrum of a reliable series W1 is shown in left upper angle;
P1 (W1) – P5 (W1) the component of a reliable series W1.

## 2. Some criteria of the solar cycle likelihood

Essential differences in the characteristics of the reliable (1849 – 2008) and restored (1749 – 1849) series of Wolf's number series have been noted in work [1] with the analysis of the basic spectral components smoothness, which form cycle and give its "*power engineering*". Considerable disagreements remain also with the evaluation of the solar cycles integral characteristics [4], where the obtained criteria with the reliable solar cycles analysis are used for evaluating the restored solar cycles and are noted essential differences in the cycles II, IV, V and VI. Since ascending and descending branches represent different processes, it is reasonable to draw a comparison of their duration. On Fig. 3 is given the relation Tc/Tm for all cycles of the numbered series (Tc – the duration of solar cycle, Tm – the duration of the ascending branch, on axis X – the number of solar cycle).

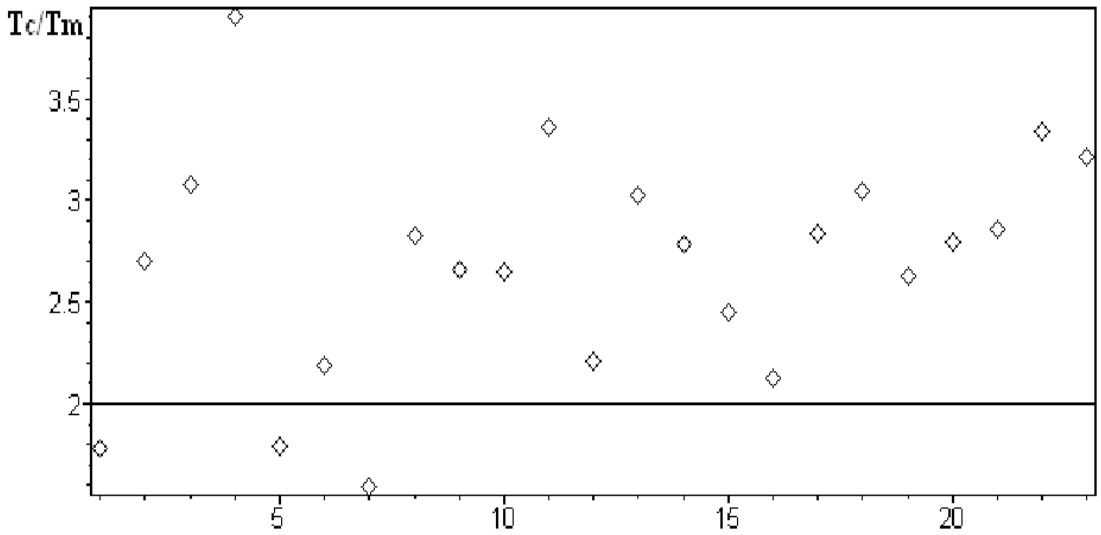



Fig. 3. Relation Tc/Tm for all cycles of the numbered series W2 (Tc – the duration of cycle, Tm – the duration of the rise branch, axis X – the number of cycle).

In all reliable cycles Tc/Tm > 2, i.e., the ascending branch is shorter than the descending branch. The cycles I, V and VII has the inverse ratio of the branches durations (Tc/Tm < 2).

In Fig. 4 are represented dependences Tm and Te=Tc–Tm from Wm – maximum value of the Wolf number in the cycle. Their correlations are given to the right above figures. Small crosses correspond to the restored cycles, circles – to reliable cycles. For the reliable cycles is visible the inverse correlation (– 0.658) between Tm and Wm (hence and Waldmeyer's rule [3]) and the absence of correlation (0.055) between Te and Wm.

Another nature these connections has for the restored cycles, where still the stronger inverse correlation (– 0.898) between Tm and Wm it passes into the positive (+0.466) correlation Te and Wm.

It is natural to continue the comparison of the general characteristics of cycles and to switch over to the statistical evaluation of their properties.

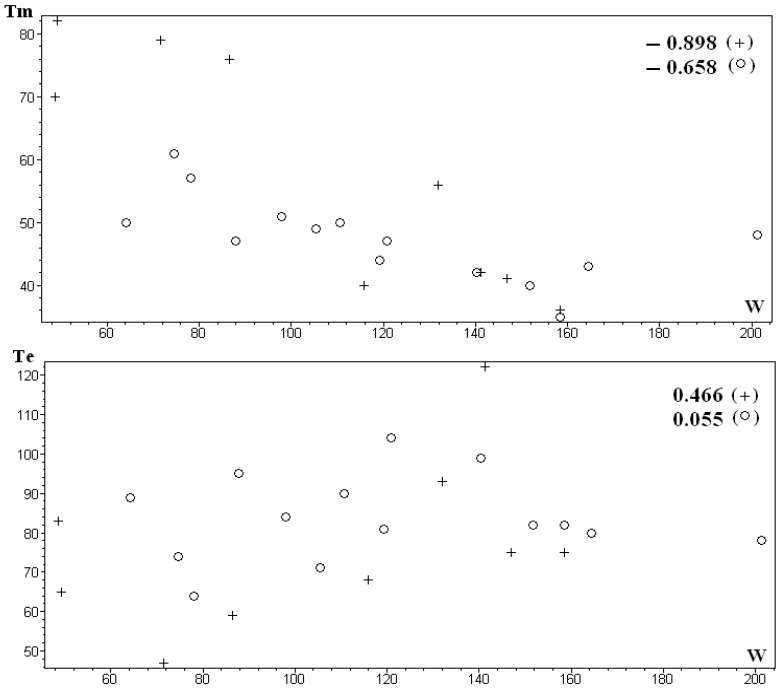



Fig. 4. Dependences of the ascending branches duration (Tm) and the descending branches (Te) from Wm –- maximum value of the Wolf number in the solar cycles.

### 3. General characteristics of solar cycles with their classification on the groups

In this part the comparison of the solar cycle's two group's characteristics is conducted: the group of solar cycles 1 – 9 and the group of solar cycles 10 – 23. The series of Wolf numbers, averaged on 13 months, is taken for their calculation. Each solar cycle is characterized by the following parameters:

T – duration of cycle;
Tm – duration of the branch of increase;
Wm – maximum value of the Wolf number in the cycle;
sc = 2•Sc/(Wm*Tc) – the standardized area of cycle;
sm = 2•Sm/(Wm*Tm) – the standardized area of the ascending branch;
skew – skewness (asymmetry) of solar cycle;
kurt – kurtosis (excess) factor.

Table 1 gives the mean, the root from the dispersion ($\sigma^{1/2}$) and their relation ($\sigma^{1/2}$/mean) for each of seven parameters, but calculated according to the solar cycle's groups. Upper value corresponds to the first group (1 – 9), it is lower (bold) for solar cycles 10 – 23.

Table 1.

| | Mean | $\sigma^{1/2}$ | $\sigma^{1/2}$/mean |
|---|---|---|---|
| Tc | 134.33<br>**131.21** | 19.00<br>**10.07** | 0.141<br>**0.077** |
| Tm | 58.00<br>**47.43** | 17.77<br>**6.41** | 0.306<br>**0.135** |
| Wm | 105.58<br>**119.66** | 40.16<br>**38.02** | 0.380<br>**0.318** |
| sc | 0.91<br>**0.95** | 0.09<br>**0.08** | 0.099<br>**0.088** |
| sm | 0.90<br>**0.96** | 0.16<br>**0.14** | 0.182<br>**0.150** |
| skew | 0.26<br>**0.18** | 0.22<br>**0.15** | 0.836<br>**0.874** |
| kurt | 1.83<br>**1.58** | 0.28<br>**0.19** | 0.154<br>**0.119** |

The close proximity of the means for Tc is visible from the table 1, but spread is different almost two times. Situation for the means and the dispersion Tm is still more contrasting. Are close these estimations, also for Wm. As a whole it is possible to note that the characteristic of the second group better or it is considerable (Tc, Tm) better.

Useful qualitative assessments according to the groups give histograms (Fig. 5), let us give them for the the ascending branch parameters. In cycles 10 – 23 are substituted the normal (for Tm) and uniform (for sm) distributions, calculated according to the solar cycles characteristics. Estimation of normal distribution sm for cycles 1–9 is also given.

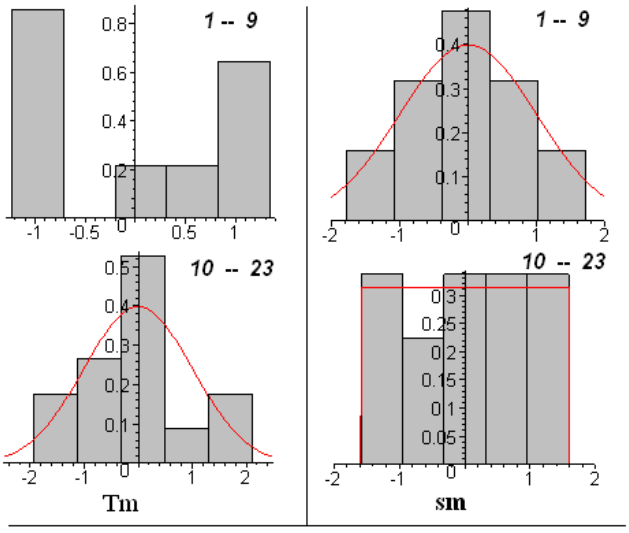



Fig. 5. Histograms for the parameters of the ascending branches and their given areas for the reliable and restored series of the Wolf numbers.

It seems that it suffices problematically to connect “torn” and smooth distributions of the first group. Following Fig. 6 demonstrate difference in the nature of the solar cycle groups structuring. Large ordering is inherent in the second group of solar cycles.

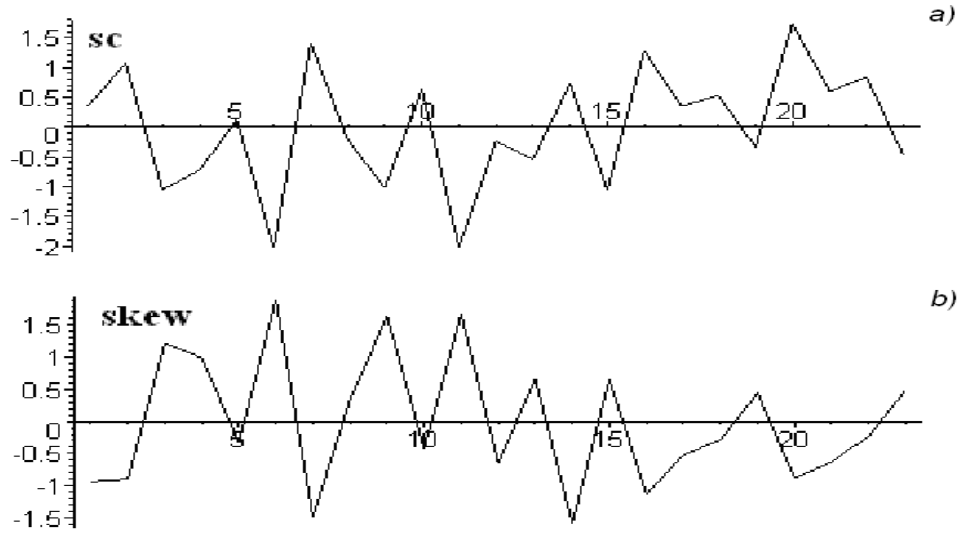



Fig. 6. Changes in the standardized areas of the ascending branches sc (***a***) and degree of the solar cycles skewness – asymmetry (***b***), axis X – the number of cycle.

### 3. Conclusion

In the work the attempt to compare the properties of the Wolf numbers reliable and restored series and characteristic of the solar cycles with different approaches corresponding to them are made. Thus there are far into “the zone” of the smallest criticism fell three solar cycles from the restored series – III, VIII, IX. On the basis of the criteria, inherent in reliable cycles, it is possible to speak about the essential distortions of the Wolf number values during their reconstruction.

A significant quantity of publications is devoted to the restoration of solar data according to the indirect characteristics. The analysis of the fractal properties of a number of eleven sequoias annual rings widths is represented in the work [5]. Is noted the isolation of the temporary moments of those coinciding with the Sperer and Maunder minimums of the solar activity. Dalton's minimum, in this approach, is not manifested.

### References:

1. I s h k o v, V. N., I. S h i b a e v. Solar activity cycles: general characteristics and modern forecasting boundaries, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, V. 70, № 10, 2006, 1643–1647.
2. B e n d a n t, J., A. P i r s o l. Random Data. Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1986.
3. W a l d m e i e r, M. Astr. Mitt. Zurich, 14, 1935, 105 – 130.
4. S h i b a e v , I. G. Empirical estimation of cycle durations from their amplitude characteristics, Solar–Terrestrial Physics, № 12, V. 1, 2008, 58–59. (Works IHY2007–NISTP, Zvenigorod.). (in Russian)
5. O t s u k a , K, G. C o r n e l i s s e n, F. H a l b e r g. Chronomics of tree rings gauge climate change, Geophysical Processes and Biosphere, V. 8, № 1, 2009, 63–72. (in Russian)

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# МЕНИДЖМЪНТ НА РИСКА ПРИ ГОРСКИ ПОЖАРИ – ЧОВЕШКИ ФАКТОР

**Иван Димитров**

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

***Ключови думи**: горски пожари, мениджмънт на риска, човешки фактор*

***Резюме:** Представено е влиянието на човешкия фактор при мениджмънт на риска. Разгледан е конкретен пример на възникнал горски пожар в определен полигон за наблюдение.*

# FOREST FIRE RISK MANAGEMENT – HUMAN FACTOR

**Ivan Dimitrov**

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

***Keywords:** forest fire, risk management, human factor*

***Abstract:** The article presents the influence of human factors in risk management. Examined is a particular example of a forest fire occurred in a certain range of observation.*

## Въведение

Мениджмънтът на риска при горски пожари изисква отчитане на влиянието на човешкия фактор. Възникналите горски пожари са 90 % по вина на човека. Организацията на управлението, изпълнението на превантивната дейност, борбата с пожарите, ликвидацията на краткосрочните и дългосрочни последствия са в пряка зависимост от човешкия фактор. Той може да бъде формализиран при разработване на стратегия и планове за действие, приемане на решения и изпълнение на поставените задачи.

## Управление на риска

### Идентификация на риска

Необходимо е да се определят основните източници на риск, въздействието и зоните на поражение. Рисковете трябва да се разглеждат комплексно. Те могат да се самоорганизират във верига от събития. Възникването на едно ключово събитие (вътрешно или външно стартиращо събитие) може да доведе от реализация на цяла верига от други рискови събития. Често рисковите събития не могат да се преодолеят или отстранят. Важно е да се определи и предотврати стартиращото събитие. В определени случай отделните рискове могат да се самокомпенсират. Това дава възможност за управление чрез правилен подбор на рисковите събития и фактори.

Необходимо е разработване на серия от сценарии, съобразени с множество фактори и събития.

### Изчисляване на максималната цена на риска

Необходимо е да се определят зоните с максимални щети, рисково независимите зони, да се изчисли стойността на възможните щети. Определянето на независимите зони е важно за планиране цялостната организационна дейност при минимизация на финансовите, технически и човешки ресурси. Изчисляването на възможните щети за независимите зони и тези с

максимален риск дава възможност да се планират и минимизират възможните загуби. Така може да се оцени икономическата ефективност на планираните дейности при управление на риска.

### Разработване на защитни мерки

Необходимо е:

- разработване и изпълнение на група от превантивни мерки за минимизация на риска;
- разработване на превантивни мерки за предотвратяване на стартиращи събития;
- запазване на минимално допустими нива на риска от предходни периоди;
- прехвърляне на риска върху застрахователни дружества чрез застраховане и презастраховане на определени събития.

### Сценарии за действие при възникване на рискови събития

Създаването на сценарии и тяхното симулативно проиграване дава възможност за реализиране на стройна организация и изпълнение на готови алгоритми за действие при възникване на рискови събития. Това довежда до минимизиране на загубите на финансови средства и човешки ресурси.

Необходимо е да се създаде организация за ликвидиране на дългосрочните и краткосрочни щети от възникналите рискови събития, да са планират дейности по опазване на здравето на участниците в потушаването на пожара и на селението в региона.

### Полигон за наблюдение

Избран е полигон за наблюдение между с.Селиминово, с.Гавраилово и с.М. Чочовен. Полигонът се характеризира с висок риск за възникване на пожари и е наситен с инфраструктурни и рискови обекти. Регистриран е пожар на 31.08.2011 г. при наличие на силен северен, северозападен вятър. Развитието на пожара и последствията от него са представени на приложените фигури.

На фиг.1 е представено местоположението на полигона и пожара. На фиг.2 и фиг.3 са представени сателитни снимки на избрания полигон. На фиг.4, фиг.5 и фиг.6 е представено развитието на пожара, а фиг.7 последствието от пожара.

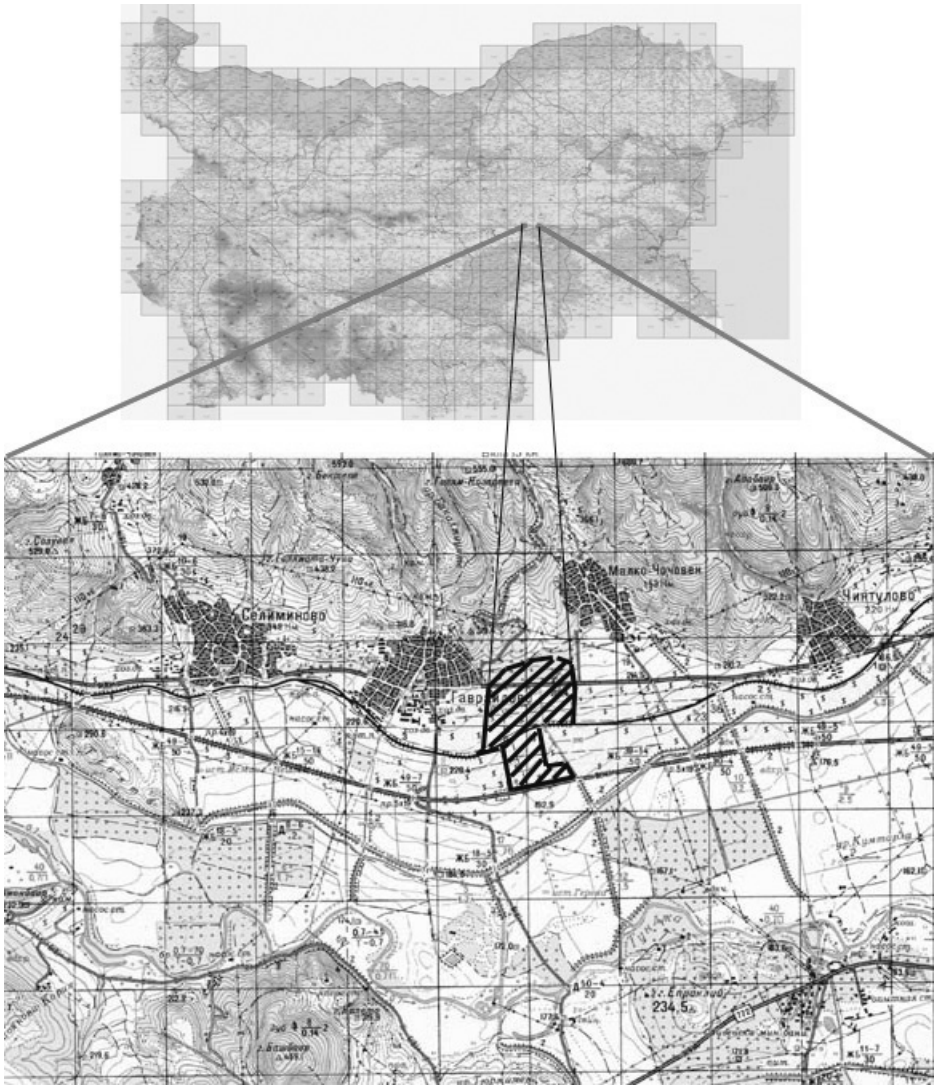
### Анализ на разгледания пример

- Не са извършени необходимите действия за почистване на ж.п. линията София-Бургас.
- Няма технически средства за регистрация и сигнализация при пожар.
- Няма необходима организация и действия от регионалната и местна власт за потушаване на пожара.
- Няма действия от страна на частните стопански организации с рискови обекти в района на пожара (две бензиностанции и станции за автомобилен газ, газова регионална база за пропан-бутан, регионална складова и техническа база за дистрибуция на природен газ, консервна фабрика, арендатори и собственици на земя с неприбрана селскостопанска продукция).
- Няма реална организационна и превантивна дейност в наблюдавания полигон от страна на специализираните организации за борба с пожари и природни бедствия.
- Няма ефективен контрол на местата с незаконни сметища и тяхното запалване.

### Заключение

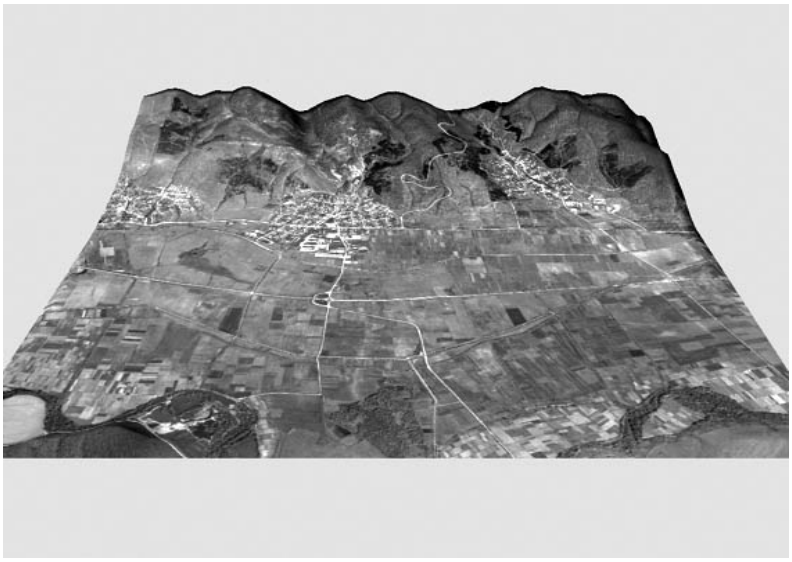
Човешкият фактор е значим при организация и управление на превантивната дейност, борба с пожарите и ликвидация на краткосрочните и дългосрочни последствия от тях. Основно внимание трябва да се обърне за разработване на стратегия и планове за действие, приемане на решения и контрол за изпълнение на поставените задачи.

Разгледаният пример показва липса на технически средства за наблюдение и регистрация на възникващи пожари, слаба превантивна дейност от страна на специализираните органи и местна власт, липса на реакция на собствениците на рисковите обекти. Това създава реална опасност за населението и материалните ценности.




Фиг. 1

Фиг. 2



Фиг. 3

Фиг. 4

Фиг. 5

Фиг. 6

Фиг. 7

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# EARLY WARNING SYSTEMS - EWS (EARTHQUAKES AND TSUNAMIS) AND THEIR EFFECTIVENESS

**Boyko Ranguelov[1], Garo Mardirossian[2], Nadia Marinova[3], Edelweiss Spassov[4]**

*[1]Mining and Geology University*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[3]New Bulgarian University*
*[4]Kinemetrix*
*e-mail: branguelov@gmail.com*

***Keywords:*** *early warning systems, tsunamis, earthquakes*

***Abstract:*** *The new and modern tool about prevention and safety in case of earthquakes and tsunamis are discussed from the recent point of view considering possibilities to apply and perform such systems in Bulgaria. The last destructive earthquakes and possible tsunamis expected in the Black Sea are the cases which can need the creation of such systems. The effectiveness in case of regional and local EWS is different due to the local peculiarities.*

## Introduction

The early warning systems are new and modern tool about prevention and safety of the infrastructure and population. The great Sumatra (2004) and Japan (2011) earthquakes and tsunamis show the difference about societies equipped with and without EWS.

The recent development of the technology and the fast information transfer is the main basis of the development and implementation of the early warning systems (EWS) about different natural hazards. Since several decades the early warning systems considering different hazardous phenomena have been developed in different countries on global, regional and local scale. They are based on the physical properties, destructive potential and better organization of the information dissemination to the decision makers, specialized institutions and population. During the last years, sophisticated satellites are following the forest fires and floods development, desertification, droughts spreading, etc. All these distant methods have been developed in close cooperation with the surface observations and monitoring. During the last years (especially after the destructive Sumatra tsunami in the Indian ocean, 2004 and Japan, 2011) large actions and funding have been targeted to the GEOS (Global Earth Observing System). They are focusing on multipurpose targets – continuous monitoring, fast data exchange, easy accessibility of the end users. New experiments of establishing regional and local early warning systems targeting to the increased reliability to relatively fast processes and phenomena – tsunamis, earthquakes, flash floods, volcanic gas and lava eruptions, etc. are under development. Staring with the Pacific tsunami early warning system (PTEWS) (established in the early 60-ties with headquarters located at Hawaii), the first experiences have been collected. The observations, modeling (travel time calculations, the locations of the strong, powerful tsunamigenic earthquakes) and the fast and reliable warnings dissemination have been launched among the priorities of that system. After that, the positioned stationary satellites have been launched on orbits and used for the fast communication. During the last times satellites and land based recent systems started operation to the volcanic continuous observations. With some successful eruption predicted these technologies are used as well as about the different mass movements observations, modeling and forecast – landslides, avalanches, slope processes and mining activities and consequences, etc. The recent technology transfer and fast development of the communication technologies put new challenges to all existing, new established and newly developing early warning systems.

The main aims of this paper are to investigate and formulate the possible effectiveness, reliability and possible fast transfer to the end users. The both sides of this phenomenon are considered: The early warning system as the physical basis of the used parameters for higher reliability from one side and the compromise between fast alerts and reliability on the other.

Some methodologies, world experience and successful/unsuccessful early warnings disseminated by EWS are also considered. The possible creations in Bulgaria of the EWS about earthquakes and tsunamis have been discussed.

**EWS - physical fundamentals**

The seismic EWS are based on the physical properties of the seismic wave propagation are among the most frequently discussions and applications. They are modeled regarding the difference of the wave propagation respectively of the P and S seismic waves. It is well known that P waves are faster then the S waves. The velocities are expressed by the equation:

(1) $$Vs= 2^{1/2} Vp$$

Due to the physical properties of the medium where P and S waves are propagated, usually they have the amplitude ratio of As/Ap =3-4. Thus P waves are faster and have lower amplitudes and Vs are slower, but have greater amplitudes and can create much more destructions. This is due to the peculiarities of S waves. Except they have larger amplitudes, as well as the rotational component of the medium is additional destructive factor to the constructions. The time difference Ts-Tp is the main parameter responsible about the seismic early warning system effectiveness. As larger is the difference as longer time for application of different measures is available.

The compilation of a seismic EWS needs large preliminary job. The selection of the equipment, location of the stations, staff and maintenance of the system are difficult tasks. The models of the optimal distribution of stations needs performance of seismic travel time curves of the P and S waives, as well as the time differences Ts-Tp. The effectiveness of the seismic EWS is a function the seismic sources coverage, time delay and warning message issue. Usually several levels of reliability of the areas covered and the warnings are selected on the base of preliminary computed scenarios. One of the most difficult tasks to guarantee the effectiveness is related to the warning dissemination. This must be secure and reliable. The best practices also need great preliminary education work to the population to explain the capacity and possibilities of the seismic EWS. It is very important to mention, to explain and to insist about understanding to all end users that seismic EWS is nothing to do with the prediction and forecast of earthquakes. The main purpose of the seismic EWS is to provide a warning giving the possibility to eliminate (or minimize) the damages caused by the secondary negative effects – fires, catastrophes of trains, metro, trams and other transportation lines, technological accidents, leakage of radioactivity (and/or poisons and dangerous chemicals), gas and oil pipeline damages, blasts, power supply and information networks disconnections, etc. Sometimes (in well conditions – long epicenter (hypocenter) distance to the seismic sources) EWS can provide time of the individuals' reactions to safe and protect human lives. Always the seismic EWS are combined with the strong motion monitoring system to use the data about the post event processing. Such data gives reliable information about the seismic forces acting during the seismic event and could be used about post event analysis, normative codes and rules creation, etc.

The tsunami EWS are developed on the basis of the velocity differences of the seismic waves (in average about 8 km/s in the mantle) and the tsunami waves – 700-900 km/h for the deep water and 40-100 km/s for the shallow water. The most sophisticated and universal devices about tsunami EWS consist are so called DART stations. Usually they have several sensors (most frequently OBS and MBG) located on the ocean bottom and use satellite communication links. The principles of operation usually have the following steps:

- Registration of strong earthquake with automatic location and magnitude determination.
- Assessment of the tsunamigenic potential of the registered earthquake based on historical data, earthquake mechanism and magnitude selection (usually the threshold of a certain magnitude is in use).
- First step of warning issue based on these data.
- Microbarograph prove about the tsunami generation
- Second step of the early warning issue
- Microbarograph registrations and other evidences about the tsunami generation and confirmation
- Third step of the early warning issue with expected arrival times to different selected destinations based on pre-computed scenarios together with the expected amplitudes of the waves or
- Cancellation of the early warnings given by the first two steps, if the tsunami is not confirmed by wide spread sensors.

These steps are typical about global or large regional tsunami EWS. In case of local or small regional systems several complications are introduced due to the very small lag of time which needs some

other confirmation criteria (sometimes using strong motion devices, GPS measurements, laser interferometer, etc.)
Frequently complex monitoring stations are combined with the DARTs to use more effective the system for the monitoring of the ocean parameters in real or near to real time.

The tsunami EWS have much more possibilities about practical measures such as evacuation for the population and boats threaten. The principle of an evacuation about boats is usually to go in the open ocean (not in bays or behind the wave brackers). The population evacuation follows two ways in case of emergency – “distant” and “higher” or a combination of both. The “distant” evacuation means – “farer-better” and “higher” – means “higher-better”. Both could be performed by pedestrians and/or cars movements.

**Examples and EWS applications**

The acting seismic warning system operates only in Japan. After five years of preparation, installation and education of the population the EWS operation started during 2007. Several warnings have been issued about strong earthquakes, but the real examination was the event of 11th March 2011. The system worked perfectly and issued warning after the P-waves arrivals to the first registration stations. All warnings have been disseminated by TV, radio, Internet and cellular i-phones, smart-phones, etc. People know about the strong seismic event and all “shinkansen” trains and other facilities like NPP’s and dangerous productions have been switched off. People remembered that after the shaking stopped unusual silence have been registered all over the country, even in such high populated regions like Tokyo and Osaka.

Recently similar systems (much simpler) have been installed in Istanbul (high buildings, hospitals, bridges, etc.), Mexico City and some other mega polices like Santiago and Lima. LA intends to create such a system including mass population which is interested about this issue and like to participate installing simple devices in their owners’ yards, gardens, buildings, etc.

The tsunami EWS have much larger history and development. They started with the Pacific TWES around 1960 with headquarters in Hawaii. Then many other institutions have been included

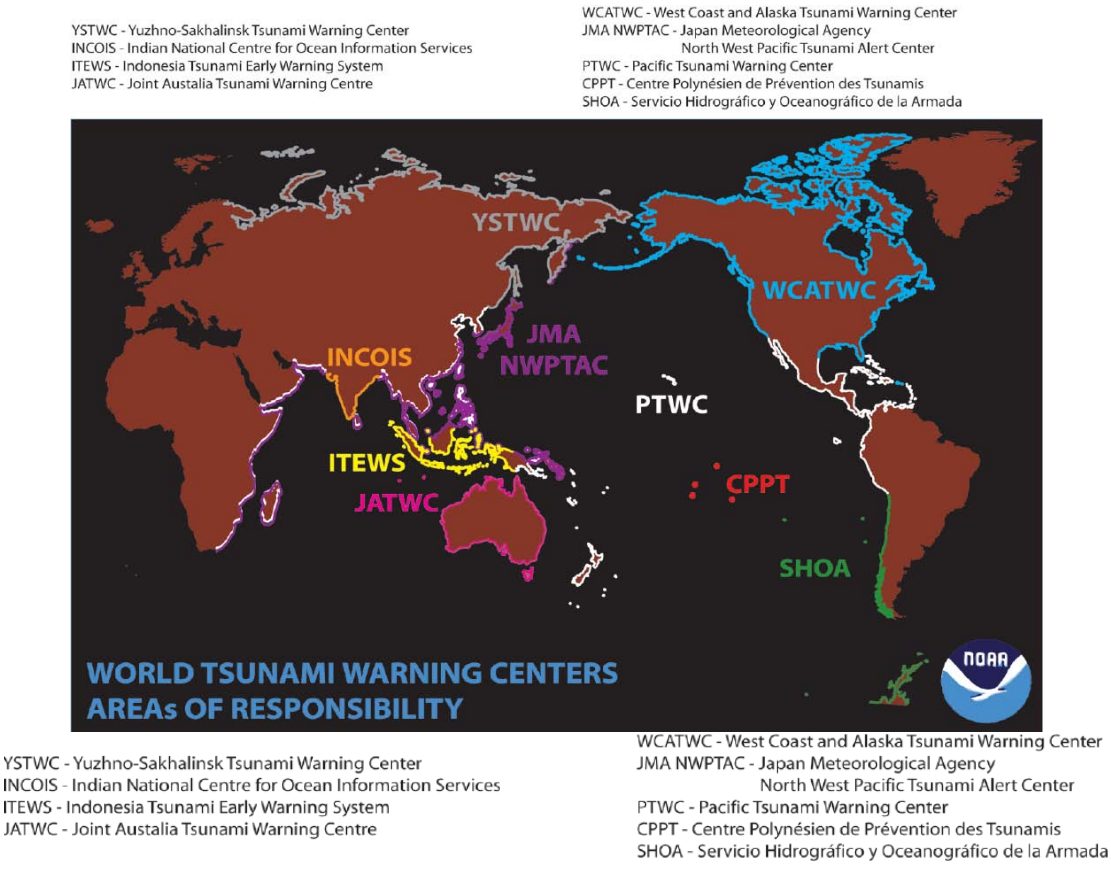



Fig.1. World tsunami warning centers (Internet-NOAA)

Almost all of these centers are equipped with so called DART's – multifunctional complex stations – Fig. 2.

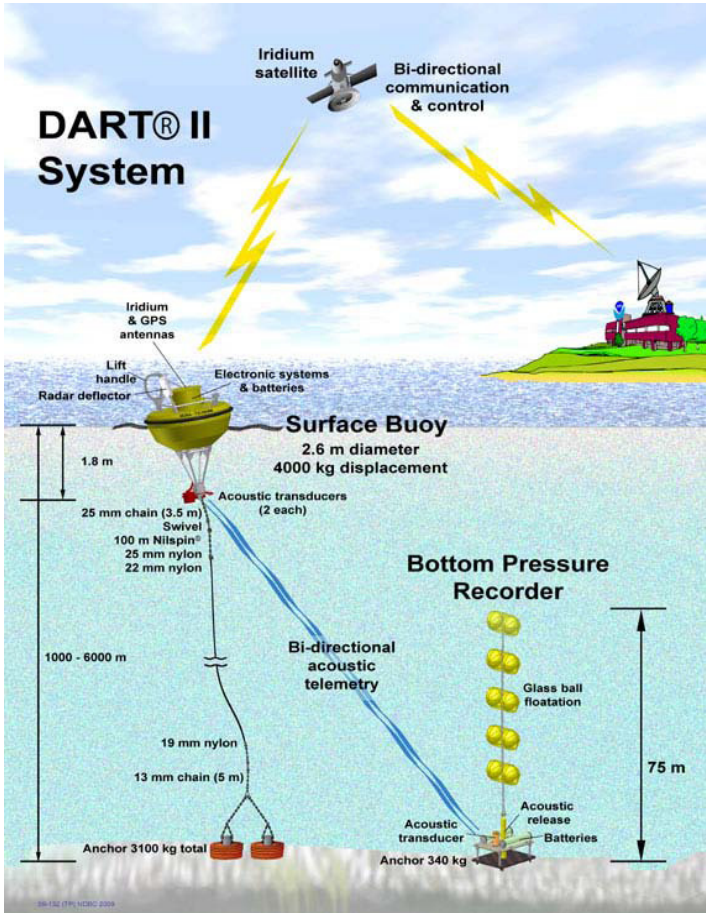



Fig. 2. DART complex tsunami warning station (Internet)

Such stations are deployed all over the Pacific (initially) and spread now in Atlantic and Indian oceans – Fig. 3.

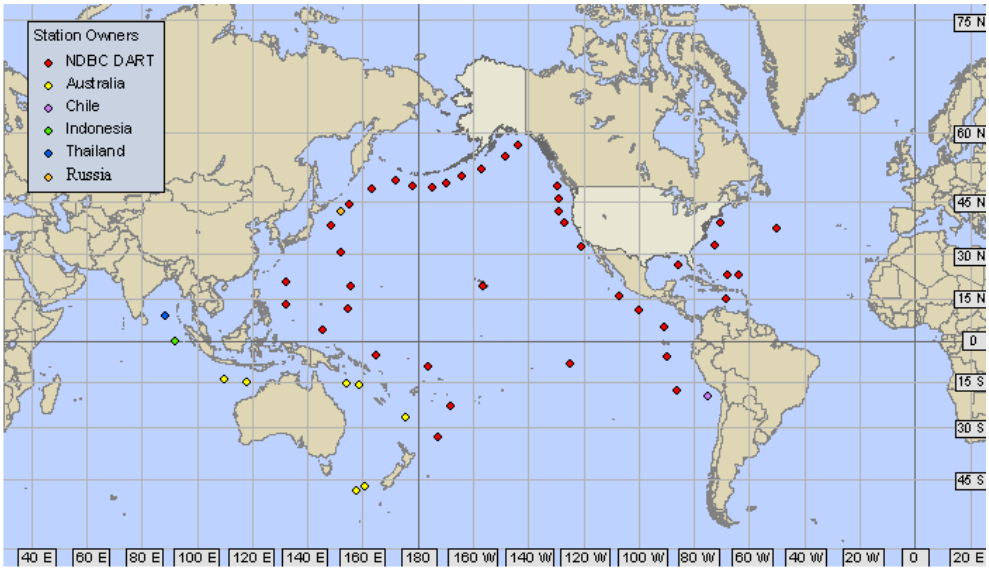



Fig. 3. World DART complex tsunami warning stations (Internet)

The experience and functioning of these systems have been proved during the Japan tsunami of 11 March, 2011. As the epicenter and the tsunami source have been off shore about 130 km from the east coast of Japan, there were about 30-40 minutes before the first arrivals of the tsunami wave reached the costal zone of Japan. During that time the tsunami warning has been announced by the JMA – the local Japan tsunami EWS. As a result a lot of people lives have been saved and several measures applied. Many boats enter the open sea and survive. Many other, which were not prepared to go in the open sea have been washed to the shore. A lot of debris and many smaller structures have been moved by the giant waves. The ocean level changed to 10-12 meters, in some places 9closed bays) – more then 15 -17 meters. This tremendous catastrophe created a lot of damages in the NPP's – Fukushima, oil refineries and metal production factories. The nearest airport was strongly affected. Many bridges, roads and other infrastructures have been heavy damaged. Despite the early warning many people were killed.

**Economical calculations and management process about future EWS in Bulgaria**

The model about EWS creation is applied to calculate the funds necessary about seismic and tsunamis EWS in Bulgaria. It is considered on simple and rough calculations on the prices of the equipment and the expenses of the staff, as well as the expenses about the maintenance process of the systems:

***Seismic EWS:***
If 1 Seismic station (SS) costs about 1 000 EUR – if it is a portable autonomic device (together with the installation), then 100 SS cost 100 000 EUR. The staff salaries and maintenance is about 100 000 EUR per year.

***Tsunami EWS:***
1 complex ocean station (COS) is about 100 000 EUR
10-15 COS are about 1 000 000 to 1 500 000 EUR.
A system of 10-15 GPS receivers is about 100 000 EUR (this is an advantage opportunity to get such stations incorporated in the system).
A system of 10-15 SSM devices also is about 100 000 EUR.
The staff salaries and maintenance is about 200 000 EUR per year.

If such model of calculations is accepted both systems will cost in total about 1.3 to 1.8 MEURO about the equipment and communications (GSM and satellite - doubled for safety reasons) and 0.3MEURO about the staff salaries and maintenance.

**Conclusions**

The paper deals with a modern and sophisticated tool about people protection and safety measures. EWS are the most advanced systems about people and infrastructure protection and are in use since several years in different countries and under different conditions. Bulgaria is a prone country to seismic and tsunami risk. Such investigations and models can help significantly to improve the safety measures about the population. As shown the EWS are not very expensive tools, but need high educational level of the decision makers and population and a safety use of the EWS. It can be proved only on the national basis and governmental support as well as good communication and coordination between the institutions responsible about the people safety.

The importance of the EWS is significant after the introduction of the new communication technologies – such as i-phones, smart phones, tablets, as they can be used as the very fast communication autonomic and automatic devices providing the necessary information in real time.

**Литература:**


1. F r a n t z o v a, A., G. M a r d i r o s s i a n, B. R a n g u e l o v, 2006, Remote sensing technologies used in risk management of natural hazards. Classification and analysis. Proc. 15th Intl. Conf. Electronics ET'2006., Sozopol, 20-22 September. vol.4, p.87-92.
2. G r a s s o, V., S i n g h A. Early Warning Systems: State-of-Art Analysis and Future Directions., UNEP Reports., 2008.
3. N i n o v a, N., B. K o s t o v a. Possible relevance of already developed earthquake early warning systems in Bulgaria. Proc. Ecologization 2011.
4. R a n g u e l o v, B., G. A l e x i e v, D. G o s p o d i n o v, St. S c h e e r, 2010. Natural hazards and preventive measures in Bulgaria., in "Bulgaria and Bulgarians in Europe"., (Ed. P. Petkov), "Faber", V.Turnovo, pp. 385-393.

5. R a n g u e l o v, B., 2011. Natural Hazards – nonlinearities and assessment., Acad. Publ. House (BAS), 327 pp.
6. R a n g u e l o v, B., B. P e t r o v a, E. H r i s t o v, A. G e o r g i e v, E. S p a s s o v, 2006, Early warning systems for some natural hazards and their effectiveness., In Proc. “Universitaria SIMPRO’2006”, Petrosani, 13-14 October, p.3-8.
7. R a n g u e l o v, B., A. G e o r g i e v, E. S p a s s o v, 2006, Natural hazards and early warning systems. Ann M&G University, vol.49, part I, Geology and Geophysics, p. 209-212.
8. Р а н г е л о в, Б., 2012, Разгневената Земя – природните бедствия., изд.БАН, С., 294 с.

**S E S 2 0 1 1**
*Seventh Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria*

# RETROSPECTION ON THE CONNECTIONS BETWEEN ANCIENT MACEDONIAN MEDICINE AND MEDICINE OF MODERN TIMES

**Stojan Velkoski**

*Institute for Geobiology, Archeology, Underground water and Ecology, R.Macedonia*
*e-mail: contact@igape.edu.mk; www.igape.edu.mk*

***Abstract:*** *It is hard to talk about any science without sufficiently knowing its rebirth and knowing even less about its beginnings. Today, when we talk about medicine, without referring to its development and existence in the other social periods of human existence, the first association that comes to our mind is the one of modern medicine.*
*It is known that the ancient medicine is a basis to modern one, but little has been researched about what this ancient medicine is and where it originates from. It is also known that in the ancient civilizations there were both medical research and medical practice. Especially in the IV century BC in the Macedonian ancient state, philosophy and medicine were on the highest level in that period. There were several philosophical and medical schools like, for example: Pythagorean, Miletus, Stoics, Epicurean, etc. According to the sources from ancient scripts, Aristotle, Asclepius, Hippocrates, Plato and other Macedonian philosophers from that period succeeded in incorporating medicine and pharmacy into philosophy. So the knowledge of anatomy and treatment were on a high level and in conformity with philosophical and scientific knowledge. Diagnostics, Surgery, pharmacy and medical therapy existed in that period, which is evident by various scripts, medical equipment and accessories.*
*Talking about Macedonia, I do not refer to the present day Republic of Macedonia, but that notion involves all the present-day Balkan states which were part of that empire in the past, with exception of Athens and Sparta who at that time were city states.*

## Introduction

Aristotle was born in the period when Aminta was in power. Aminta's father, Nicholas, was a royal physician at Pella, and grew up together with Philip II. In those times, Olint, the city of his mother, and Stagira, the city of his father were very insecure due to the frequent ravages by the Athenian pirates. The education of Aristotle (Fig. 1) was in the empire libraries throughout Macedonia and the knowledge in natural science and medicine were passed on to him as they had previously been passed from father to son. He was a descendant from an aristocrat family of doctors, who had, through generations, served the Macedonian kings and introduced him with science, medicine and tradition. At that time, philosophers had royal descent, as was the case with Pythagoras, Heraclites, Democritus, Hippocrates(Fig. 2), and many others, who were presented on the coins and on the statues with royal ribbons on their head, same as Philip II and the other emperors, as well as the gods: Apollo, Asclepius, Artemis, Orpheus, Heracles etc. This proves that Aristotle was in close relations not only with the royals but also with the gods who were of great importance for Macedonia. So he had great support for many scientific and research projects which yielded considerable contribution for the development of world science and medicine. He was directly supported by Phillip II and by Alexander afterwards. The archeological findings prove that the ancient Macedonians used to lay wet ceramic utensils in the ground, and than used the mold as penicillin, they used the bark of the birch tree as aspirin; the opium, obtained from the poppies, was used to soothe pains and as a symbol of the passage from consciousness towards unconscious dying; opium was also used to reduce the pains of childbirth.
Alexander's royal doctors were members of the phalange; thus Macedonian science was spread throughout the world, from Babylon to Tibet. The Macedonian influence in medicine survived all through the 18$^{th}$ century Europe, when science came out of the monasteries and when hospitals were built, similar to the asclepiads in the ancient Macedonian cities. Deceases are identical in all people on all continents, and each new method was accepted quickly. World medicine paid homage to Macedonian medicine by accepting some of its insignia. One of them is the symbol of pharmacy: a snake around Asclepius' cane (Fig. 3), as well as the oath of Hippocrates, that he wrote as a royal doctor on the courts of the Macedonian emperors.

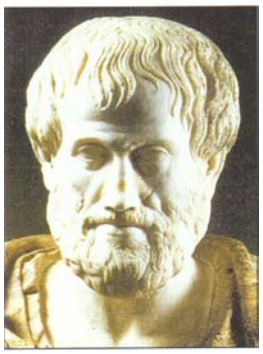


Fig. 1. Aristotle

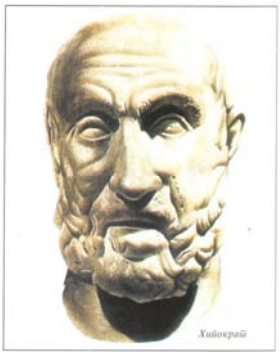


Fig. 2. Hippocrates

Fig. 3. Asclepius

The Hippocrates's oath spread throughout from Hippocrates' family: his son Tezel, and his son-in law Polib, who were all eminent doctors in the phalange. Hippocrates is the author of the age-old oath; in medicine, he is as remarkable as Aristotle in philosophy, as instructor of Philip and of Alexander. All eminent figures succeeded one another to contribute in the development of the scientific achievements. Many important people of that time cooperated with Aristotle and with Hippocrates. Many of them found their place at Alexandria, which was the scientific treasury of the Macedonian culture, under direct support by the Macedonian royal dynasty of Ptolemy over three hundred years.
It is known that Hippocrates was born on Kos 460 BC; he lived and worked on the territory of Macedonia and died in Larissa in 370 year BC. His grandfather Hippocrates and his father Heraclites passed on the medical tradition that originated from the royal dynasties of Philip and Alexander, of Cleopatra VII, Ptolemy, Constantine the XIII and other Macedonian royal dynasties, spreading throughout thousands of years. Hippocrates was always surrounded by eminent people as Democritus at Abdera, the sophist and orator Georges at Larissa etc. It is a fact that he spent 10 years in Pella in the times of Perdika, Archeleas and Aminta; there, he wrote the famous oath. His close friends were Euripides and Agathon; he knew Socrates very well too. Thus his personality was built within the family of royal families and the Macedonian intelligence from the end of the V and the first half of the IVth century BC. He was healing royal families and was from a royal family himself; he was allowed to have his face engraved in the coins. During the Peloponnesus wars, Pythagoras, Anaxagoras, Democritus, Heraclitus and all important Macedonian philosophers were far enough from Athens, working on issues which were important not only for Macedonia but for the world in general. At that time, the Macedonian philosophers who went to Athens were either executed or exiled. Such was the case with Fido, Socrates, Protagoras, who were exiled. Many others stayed and worked in Macedonia. (Markus, 2005).

**Materal and Methods**

Hippocrates wonderfully incorporated philosophy into medicine; he wrote 50 books including notes that he classified by individual principles. His medical treatment was according to rational approach and in conformity with the knowledge about the natural laws of that time. The philosophical attitude referring to cosmic interconnections in the world impressed him. On he basis of the four elements he built his medical interpretations. His written works included histories of deceases, drafts on various topics and other written medical material. Some of them have been lost or destroyed in order to conceal their importance; Asclepius hospital was burnt together with the documentation and the medical library of Hippocrates on Kos, as well as the Alexandrian library. One of the more prominent Hippocrates' works refer to the so-called "sacred disease" (epilepsy), and others of his works include references to "air, water and soil", and their importance for people's health. He wrote a book on epidemic diseases, warning about the spreading on cholera and other diseases through the air, water and food. His works among which are: Prognostic, Dietetics, Laconic and Fractures as well as a collection of aphorisms as a breakthrough of the restrained and limited ideas, led to quick development of science and medicine. He introduced symptom observation in order to be able to exactly determine, to estimate and prescribe the right therapy against a certain disease by logical analysis. He observed 42 diseased people on the island of Thasos, examined the psycho-physical constitution of people who had contracted malaria, night blindness, acute fever and other diseases in Macedonia and Thessaly. He was deeply inclined towards science and medicine. Maybe three of his

debates are especially interesting for surgery. They refer to diagnostics, the surgery intervention and the type of fracture or displacement.
His surgery methods of treatment have been finding their application for over 1000 years. His instruments were in use even longer. Today they are exhibited at many museums in the world (Fig. 4).

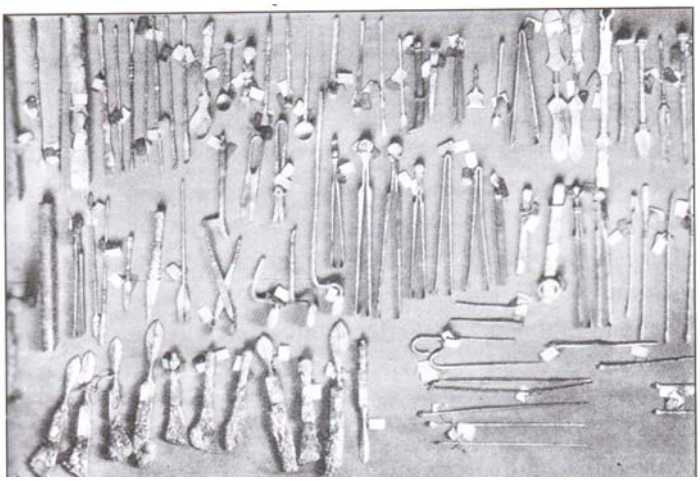


Fig. 4. Medical and surgery instruments from Hippocrates' times

Hippocrates paid more attention to studying of external organs, like the bones and the muscles, which could be treated by surgical interventions in wounded and diseased people with obvious symptoms. He gave good descriptions of the functioning of the heart, the splint, the liver but not of the blood vessels, the nerves and the brain. In his times dissection did no exist, the forecast, as well as the history of the disease, was formed, by observations at hospitals where the hygiene was on high level of organization. According to him, life is sustained by warmth which resides in human heart. He transcends food into body fluids. Warmth depends on air supply (supply of oxygen) into blood through movements. The centers of thinking, feelings and wishes are located in the brain, whereas the senses and the movement orders are transferred pneumatically. He considered the heart as the center of life. Aristotle's ideas about the heart were similar. Hippocrates explained diseases in conformity with his opinions about the disturbed harmony of the body fluids which stabilize by themselves in a couple of days or recede. The power and the value of Hippocrates' medicine lies in clinical practice. Every disease is estimated by all senses, and the diagnosis is an individual statement and different for each person. There were three main factors in that process: the disease, the patient and the doctor: if they are in the same place at the same time, the disease will be overwhelmed, but only if the patient confronts the disease, and the doctor is here only to help the organism re-establish the previous equilibrium by means of proper medical treatment.
There are lists of diseases encountered in medical practice, as pneumonia, Plevritis, malaria, tetanus, paralysis, apoplexy, rheumatism, cysts, hysteria and other diseases which were present in Macedonia at those times. There are excellent descriptions which help in the recognition of those diseases. Some phenomena still bear the name of Hypocrites: Hippocratic, Digiti Hippocratica, Facies Hippocratica, Neo- Hyppocratism as a movement in the twentieth century, dedicated to that medical science.
About 300 medicines are mentioned, although they were used less than in our days. Physical therapy was less prominent. Baths, massage, sun-taking, blood release, weak narcotics, as well as light food consisting of soups, honey, wine, milk and diet were applied as well.

The surgical therapy was excellent. The same methods and techniques of amputation, skull opening, ankle fixing, immobilization and bandaging are preserved to this day. The same holds in dentistry, with its methods of treating and extraction of teeth.

This rich theoretical and practical medicine material, applied at the Asclepius before and after Hippocrates, emphasizes the morality and ethics of the doctors as well.

The Macedonian tradition of imperial doctors, as well as of travelling doctors was preserved and continued in Rome, where there was no previous tradition of medical treatment. There was no important experience in Athens either. The decisions on the life of the weak newborn babies were brought by the City Council, most frequently by throwing them from the highest city walls.

Normally, it was impossible for a city with so many hatters to grow further in population. What is more, they improved poisoning instead of healing. Xenophon and Plato described the killing of Socrates by means of Cucuta. That thick yellow liquid, made of a plant, numbed his legs and his tongue very quickly; he was losing consciousness but nonetheless expressed his attitude that he was not afraid of death when it is brought about by judges and law. Hippocrates' oath obliges the doctor not to give poison to the patient. The Macedonian laws protected the patient, the patient's family and the people. The travelling doctors reached every corner of the country, alone or in company of their helpers. They carried their medicaments and instruments. First, they took care of the hygienic conditions. Warm water, clean towels, aeration, fire to sterilize the instruments, all was ready and available. The principle was the same one, according to which disease spreads through air, is overwhelmed by fire and extinguished and washed away by water. Only delivery was assisted by a midwife, because it was not considered as a disease and no travelling doctors were called to assist. Home visits by nurses after delivery has always existed. Even animals were treated by experienced people, most frequently by shepherds. To become an imperial doctor, one needed to be from a family of doctors, and to be the best and the prominent in medical profession.

The muses, the Nereids, and the common Macedonian mothers are the link between the gods and the people, giving births to heroes and emperors, gifted to perform celestial medicine, music and all kinds of celestial art which was transformed into science within the Macedonian reality. The idea that the emperors were once gods is present in Homer's epic. All tribes on the Aegean shores were led by god-originating kings. Agamemnon, Achilles, Odysseus, Paris-Alexander, Hector fought for ten years to conquer Troy and Helen, sister of the Pleiades, who were stars in the sky near to the gods. Zeus transformed many mortal gods into immortal ones. The most numerous among them were the ones treated by gods, the ones who were doctors themselves and treated their army and were also accompanied by imperial doctors. The Mycenaeans Menelaus and Agamemnon were treated by Machaon and Podalirius, sons of Asclepius. Patroclus was treated by Achilles. Achilles was treated by Machaon.

He had a scar that was healed by the Parnassus imperial doctors. Meiciun itself is interwoven by the connections of the ancient tribes. Different emperors were treated by the same doctors. The Mycenaeans were not Achaeans. They were Achilleans and their common origin is the Macedonian Arg dynasty. The dynasty spread to Peloponnesus and was maintained as a monarchy at Sparta and Thebe.

The Macedonians from Pella outlived both them and Athens at Achaia and in Achillea. Therefore the Iliad kings had the same imperial doctor.

All who came from the foot of the mountain Olympus save the same Macedonian origin: Menelaus, Achilles, Odysseus and Hector.

The longevity of the first Macedonian kings is due to the appropriate application of medicine at the royal courts. The imperials doctors lived even longer. Thus Hippocrates and his family healed the Macedonian kings Perdica II, Archeleas I, Orestes, Europ, Aminta III.

The doctors of Aminta III were also the ancestors of the Aristotle's family: his father Nicolas, his grandfather Machaon, his great-grandfather…

These doctors were the predecessors of Hippocrates' medicine, especially at the royal court of Aege and Pella in the times of Archelleas, back to the first Macedonian kings. The royal continuity of the Macedonian science and medicine goes as far back in time as to the mythological figures. There, among the first doctor deities of Apollo and Asclepius are the roots of the Macedonian medicine. From those times is the tradition of the emperors to have their own doctors, a healing school and medical practice.

In the times of Philip and Alexander, in the Fourth Macedonian century, the development of the philosophy and medical schools reached its peak. A whole guild of expert doctors healed the wounds of Philip II and the doctors that escorted Alexander were even more numerous.

The doctors of the two most famous doctoring families, the ones of Aristotle and Hippocrates, spread the healing of the wounded warriors of the phalange as well as to the states which neighbored Macedonia. It is interesting to mention that Alexander was the first to attempted to heal the wounds of Philip and gave the best forecasts saying: Do not be sorry, Philip, for one wound in the leg, but turn back to remember your successful battles; soon, your horse will soar to new victories." In the phalange as well, Alexander was the first to see the wounds and to recommend the healing later performed by Thessal, Philon and other doctors.

Antipatar and Kassander in Pella succeeded the doctors of Philip and Alexander to Philip V and Perseus.

Macedonian medicine in Alexandria developed as a continuation of Aristotle's knowledge of physics. The Chaldees and the Magi from Babylon and Egypt, than known as Misir, found their place in the Alexandria library, beside Theophrastus and Meno, the disciples of Aristotle. Their knowledge and scripts about the plants, cures, healing as pharmaceutical knowledge, sublimed the medical

knowledge of Macedonia and continued the tradition of schools and imperial doctors. A principal medical school was founded in Alexandria, and doctors from all regions and islands went there. Erasistratus studied the heart and the nerves, Cleombarat and Media were the doctors of Seleucus I at Antioch.
Ptolemy healed Chrysippus, who had his own school, like Phylline, Serapion, Heraclites from Tarent, Apollonius, Ber who worked fro Antioch Soter at Babylon. In the course of as long as three hundred years the Ptolemy dynasty at Alexandria were improving philosophy, medicine, astronomy and other sciences. Scientists fro Sicily, through Macedonia to Babylon and Miser, were educated at Alexandria. Philo from Larissa, Ptolemy and Antioch carefully chose the head of the Alexandrian library. Those famous heads of the library were Theophrastus, Callimachus, Eratosthenes, Oregon, Apolodoro, Xenodot, Aristophanes, Apollonius of Pergamum and others. Many imperial doctors originated from Alexandria to continue their careers in both Alexandria and in Rome. Cleopatra's doctor was Apolodoro, and her educator was Nicholas.
The doctor of Marc Anthony, and of Cicero before, from 124 to 60 BC was Asclepius from Bethany.
In the times of Nero, Trajan, Marcus Aurelius and others emperors, the doctors originated from the Alexandrian schools of medicine. They were Galen, Sore, Dioclus and others.
The names of the Roman gods also originated from Alexandria, but the name of Apollo, the deity of medicine remained unchanged. What also arrived to Alexandria from Rome was the program of Dionysus wherefrom Varo and Marcus Terentius learned about the Latin language, as a continuator of the rich Macedonian culture. The Romans did not know about hygiene, pharmacy or medicine. The scarce knowledge from the Etrurians was suffocating. The Etrurians understood their close link to Macedonia and they introduced science, literacy and education through Alexandria.
Soren from Ephesus is among the popular doctors who originated from the Alexandrian Macedonian medicine and he came to Rome in the times of Hadrian and Trajan. His specialty was gynecological diseases although medicine requires broad education in order to identify the causes of a certain disease.
In the first fifty years of our millennium doctor Athenaeus arrived in Rome from Cilicia. Some time later Aretaeus arrived from Cappadocia. He applied the books on pneuma we they were left by Hippocrates in his times.
Ruphus from Ephesus named the parts of the body. He treated renal diseases and strictly observed medical ethics.
The famous doctors of Pergamum were Asclepius and Galen. Pergamum was constituted as a Macedonian city by the generals of Alexander, and therefore medicine was applied at the Asclepiad as an imperial hospital. Claudius Galen (in 129 to 200 BS) went to Alexandria to upgrade his knowledge. He specialized surgery and was called to Rome to be a doctor of gladiators. He was very much respected there. He spread medical science by lecturing. He was also a travelling doctor, until he was appointed by Marcus Aurelius as imperial doctor of his son Commodus. But he soon returned to Pergamum. He wrote books on medicine in 150 tomes. The medical discipline that he studied most deeply was anatomy which helped him be successful in medicine. Like Hippocrates, he considered that the best doctor is a philosopher dedicated to medical ethics. As in philosophy and in history, in medicine too, most of the works are lost, copied, modified before they appeared under the names of other authors. Galen died in 200 BC and it can not yet be established which are his original books and which books are allegedly his, as is the case with Hippocrates.
Another doctor, named Onesander (Alexander) appeared in Pergamum. The emperor Justinian incited him to make an encyclopedia of medicine, from the works of Hippocrates and Galen. The book was to be used in Rome. Thirty-two books are preserved out of 72 and they were copied and used for centuries. There were also four medical handbooks.
Dioscorides made a textbook and a handbook on pharmacy as a compilation of the already existing scripts. Afterwards, Menon and Theophrastus, upon the request of Aristotle, made a list of all plant and medicaments, and the said handbook remained in use in the Roman Empire for a long period of time.
It is necessary to mention Philon who came to Rome to teach ascetism, spiritual purification, repentance and other principles which through ethics came to be applied in Christianity. All these places, Bethany, Caria, Cilicia, Cappadocia, Ephesus, Pergamum and Alexandria were Macedonian at those times.
The Macedonian state was spreading, lands were conquered, armies fought supported by medicine. Dedicated works, devoted imperial doctors an medicine for the people filled with paganism, magic, curses and respect for the deities of the agricultural tradition. The Macedonian schools of Pergamum, Alexandria and the islands gave a lot of doctors. None of them was from Athens or from Rome. Macedonian medicine served all nations, east and west from Macedonia.
In the East from Armenia to Alexandria, Aristotle's works remained preserved for about a thousand of years in original, to be used for medical needs. From Aristotle's scripts about nature the Arabian

philosophers and doctors compiled handbooks on medicine, same as the medical handbooks compiled from Hippocrates' books in Rome.
Avicenna, Averroes and Maimonides are the missing link which spread the ancient Macedonian medicine through Spain into mediaeval Europe. This medicine was applied until the nineteenth century.

## Conclusion

It can be concluded from the above that medicine existed and was studied in antiquity on the territory of Ancient Macedonia to be spread later throughout the rest of the world.
We should not permit that science and medicine become subject of falsification by present-day politicians because this will turn our human population into a bunch of losers.

## References:


1. М а р к у с, А. Македонската древна медицина, Макформ-Скопје 2004, 123; 5-36 стр.
2. М а р к у с, А. Македонските древни ковани пари, Макформ-Скопје 2009, 100; 40-45 стр.
3. Превод од староантички (Томовска-Митровска В.) Платон Кратил Магор ДОО -Скопје 2006; 127,33-34 стр.
4. Превод од староантички (Бузалковска Алексоска М. Аристотел за Душата, Магор ДОО-Скопје 2006, 121, 108-110.
5. М а р к у с, А. Аристотел Македоницот,Макформ-Скопје, 147, 67-71 стр.
6. С т е ф а н о с к и, Б. Кратка описна историја за потеклото на Армн Македоните, Casa Gramosta Тетово 2005, 110, 73-74 стр.